

## Forschung zu transparenten Schallschutzwänden

Jenny Böhm<sup>1</sup>, Sebastian Eggers<sup>2</sup>, Folkard Hänisch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, 01219 Dresden,  
E-Mail:BoehmJ@dzsf.bund.de

<sup>2</sup> Lärmkontor GmbH, 22767 Hamburg

### Einleitung

Zum Schutz vor Bahnlärm werden im Rahmen der Lärmvorsorge und des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms des Bundes häufig Schallschutzwände (SSW) errichtet. Sie bieten einen effektiven Schutz, wirken sich jedoch auf das Stadt- und Landschaftsbild aus. SSW sind in der Regel mit blickdichten Aluminium- oder Betonelementen ausgeführt. Anwohnende äußern häufig den Wunsch nach transparenten SSW, da diese weniger verschattend wirken und sich besser in die Umgebung einfügen.

Diese naheliegend scheinende Lösung birgt einige technische Herausforderungen, die sowohl akustischer als auch nicht-akustischer Art sind. Transparente Materialien sind schallhart, an Schienenwegen werden jedoch fast ausschließlich hoch absorbierende SSW eingesetzt. Ein vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) vergebenes Forschungsprojekt hat sich mit der Frage beschäftigt, wie transparente und gleichzeitig hoch absorbierende SSW, die für den Einsatz an Schienenwegen des Bundes geeignet sind, realisiert werden können. Der Beitrag stellt die Methodik und die wesentlichen Projektergebnisse vor und geht auf grundlegende Anforderungen an bahntaugliche SSW ein.

### Grundlagen

In den Grundlagen werden die akustischen Anforderungen an SSW an der Schiene erläutert und es wird auf die Zulassung eingegangen, die beim Design neuer SSW stets mitgedacht werden muss.

#### Zulassungsverfahren bei der Schiene

Neben der akustischen Wirksamkeit muss ein sicherer Eisenbahnbetrieb gewährleistet sein. Bei der Vorbeifahrt eines Zugs treten hohe Druck-Sog-Beanspruchungen auf, die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der SSW gegen einwirkende dynamische Lasten bedingen. Daher müssen Nachweise zu Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Ermüdungssicherheit erbracht werden. Die verwendeten Materialien müssen korrosionsbeständig und resistent gegenüber Steinwurf und Feuer sein. [1, 2]

An der Schiene treten höhere Beanspruchungen als an der Straße auf, weshalb die nicht-akustischen Anforderungen höher sind und Bauweisen nicht einfach übertragen werden können. Damit eine SSW im Bereich der DB InfraGO AG (ehemals DB Netz AG) gebaut werden darf, müssen zum Einbauzeitpunkt folgende Dokumente vorliegen: eine gültige Zulassung des Eisenbahn-Bundesamts (EBA), ein gültiger akustischer Prüfbericht der DB Systemtechnik und eine Anwendererklärung der DB InfraGO AG [1].

Der EBA-Leitfaden für die Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen für Wandelemente von Lärmschutzwänden [2] beschreibt Versuche und Nachweisverfahren für nicht-akustische Eigenschaften. Er enthält einen Teil, der sich speziell auf transparente SSW bezieht und ein Verfahren zur Untersuchung von Lärmschutzwandelementen aus PMMA (Plexiglas). Ein Abschnitt, der die Untersuchung von Elementen aus Verbundsicherheitsglas (VSG) beschreiben soll, wurde zurückgestellt. Da es für VSG keine Nachweisverfahren gibt, kann es zum aktuellen Zeitpunkt nicht bei SSW verwendet werden, die direkt an der Bahnstrecke stehen.

VSG hat einige positive Eigenschaften wie eine hohe Steifigkeit und eine hohe physikalische und chemische Resistenz, sodass es gut gereinigt werden kann. Um den Einsatz von VSG an Bahnstrecken zu ermöglichen, wurde vom DZSF ein weiteres Forschungsprojekt vergeben. Das Projekt, welches derzeit läuft, hat zum Ziel ein Verfahren für die Zulassung von VSG für den EBA-Leitfaden zu entwickeln. Es wird von der MFPA Leipzig durchgeführt und soll Ende April 2025 abgeschlossen sein. [3]

#### Akustische Anforderungen

Der Beurteilungspegel entlang von Schienenwegen wird mit der Schall 03 [4] berechnet. Die Schall 03 berücksichtigt die Abschirmung durch Hindernisse mit einer flächenbezogenen Masse von mindestens 10 kg/m<sup>2</sup>. Der Schalldurchgang wird als vernachlässigbar klein gegenüber der Schallbeugung angenommen. Die Abschirmwirkung ist von den absorbierenden Eigenschaften der Oberfläche des Hindernisses abhängig. Bei einer reflektierenden Oberfläche verringert sie sich, wenn der Abstand zwischen SSW und Schallquelle < 5 m beträgt. Grund dafür sind Mehrfachreflexionen zwischen dem reflektierenden Wagenaufbau und der reflektierenden SSW-Oberfläche. Der Mindestabstand von SSW zur Gleismitte beträgt 3,80 m [5], weshalb die Verringerung der Abschirmung durch reflektierende Oberflächen relevant ist. Eine SSW in weiterer Entfernung zum Gleis zu bauen ist nicht sinnvoll, da ihre Wirkung mit zunehmender Entfernung zur Schallquelle abnimmt.

Auf der Gegenseite der SSW führen Reflexionen zu einer Erhöhung des Schalldruckpegels. Reflexionen werden in der Schall 03 über Spiegelschallquellen berücksichtigt. Die Schall 03 teilt Wandoberflächen in verschiedene Kategorien mit verschiedenen Absorptionsverlusten ein. SSW, die in die Kategorie absorbierend fallen, haben einen pauschalen, frequenzunabhängigen Absorptionsverlust von 4 dB, der vom Schalleistungspegel der Spiegelschallquelle abgezogen wird. Für SSW der Kategorie hoch absorbierend wird ein Absorptionsverlust von 8 dB angesetzt.

Die Annahmen in der Berechnungsvorschrift müssen in konkrete Produkthanforderungen übersetzt werden. Diese sind in der DB Richtlinie Modul 804.5501 [1] festgelegt. Die Richtlinie gibt Mindestspektren in Oktavbändern von 100 Hz bis 5000 Hz für das Schalldämmmaß und den Schallabsorptionsgrad vor. Die Messung der Luftschalldämmung ist nach DIN EN ISO 10140-2 durchzuführen, die Messung der Schallabsorption nach DIN EN ISO 354 im Hallraum.

### Projekt hoch absorbierende, transparente SSW

Im DZSF-Projekt „Gutachten zu transparenten Schallschutzwänden mit hoher akustischer Wirksamkeit“ wurden Lösungsmöglichkeiten für den Zielkonflikt transparent und hoch absorbierend untersucht. Es wurde zunächst der Sachstand zu transparenten SSW im Bahnbetrieb zusammengefasst und verschiedene Wirkmechanismen zur Erreichung transparenter und gleichzeitig absorbierender SSW recherchiert und bewertet. Die akustische Wirksamkeit vielversprechender Wirkmechanismen wurde numerisch untersucht und ihre Bahntauglichkeit geprüft. Daraus wurden Ideen für Prototypen abgeleitet. Das Projekt wurde von einem Konsortium unter der Leitung der Lärmkontor GmbH mit den Projektpartnern Novicos GmbH und R. Kohlhauer GmbH durchgeführt. Der Abschlussbericht wurde 2022 veröffentlicht. [5]

#### Review der Wirkmechanismen

Es wurde eine umfangreiche Recherche und Bewertung zu Möglichkeiten der Gestaltung transparenter und gleichzeitig hoch absorbierender SSW durchgeführt. Im Folgenden werden einige davon vorgestellt.

Eine Möglichkeit besteht in der Gestaltung absorbierender Oberflächen. Darunter fallen die Verwendung des Prinzips periodischer Absorber, die Belegung einer transparenten SSW mit Helmholtz- oder  $\lambda/4$ -Resonatoren aus transparentem Material sowie das Vorsetzen einer transparenten mikroperforierten Folie oder eines Panels (Lochplattenabsorber).

Periodisch angeordnete Absorptionsflächen können eine höhere Gesamtabsorption bewirken als sie aus dem bloßen Flächenanteil berechnet werden würde. Eine geeignete Anordnung transparenter reflektierender und nicht-transparenter hoch absorbierender Elemente könnte eine mögliche, teiltransparente, bahntaugliche Lösung sein.

Die Belegung einer transparenten Fläche mit Resonatoren oder das Vorsetzen mikroperforierter Folien/Paneele mindert deren Transparenz und die Konstruktion könnte anfällig für Verschmutzungen sein. Die Realisierung der Bahntauglichkeit von SSW mit verklebten Resonatoren wurde als unsicher eingeschätzt. Vor der Verwendung neuer Materialien und Materialformen sind aufwändige Zulassungsversuche notwendig. Diese Ansätze wurden im Projekt daher nicht weiterverfolgt.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Umlenkung des Schalls durch geometrische Gestaltung der SSW. Der Schall kann nach oben außerhalb des relevanten Immissionsbereichs gelenkt werden oder nach unten, wo er im Schotterbett absorbiert werden kann. Eine Kombination transparenter

Materialien und blickdichter absorbierender Materialien im Elementrahmen, auf horizontalen Flächen oder auf dem Sockel der SSW ist möglich.

Die einfachste Form sind geneigte SSW, die den Schall je nach Neigungswinkel nach oben oder unten ablenken. Gekrümmte SSW funktionieren ähnlich, ihre Konstruktion und die Erreichung der Bahnzulassung wäre jedoch aufwändiger. Eine Reflektion von Teilen des Schalls ins Schotterbett kann auch durch polygone Bauformen erreicht werden.

Teiltransparente hoch absorbierende Lösungen könnten mit einer z-Struktur mit schrägen, transparenten Flächen und horizontalen, blickdichten absorbierenden Flächen oder durch absorbierende Lamellen, die vor eine gerade, transparente Scheibe gesetzt werden erreicht werden. Die Bahnzulassung vorgesetzter, absorbierender Lamellen wurde als realistisch eingeschätzt.

Von den beschriebenen Wirkmechanismen wurden einige ausgewählt, um ihre akustische Wirksamkeit mittels Simulation zu untersuchen. Auswahlkriterien waren die grundsätzliche Simulierbarkeit mit der gewählten Methode sowie die Bahntauglichkeit.

#### Modellierung der Wirkmechanismen, Parametrisierung und Auswertemethodik

Zur Untersuchung der Wirkmechanismen wurde ein 2D-BEM Modell erstellt. Das heißt, es wurde ein Querschnitt von Wagenaufbau, Gleis und jeweiliger SSW modelliert. Die Höhe und das Spektrum der Schallquellen orientieren sich an der Schall 03. Die modellierten Quellen sind in Abbildung 1 dargestellt.

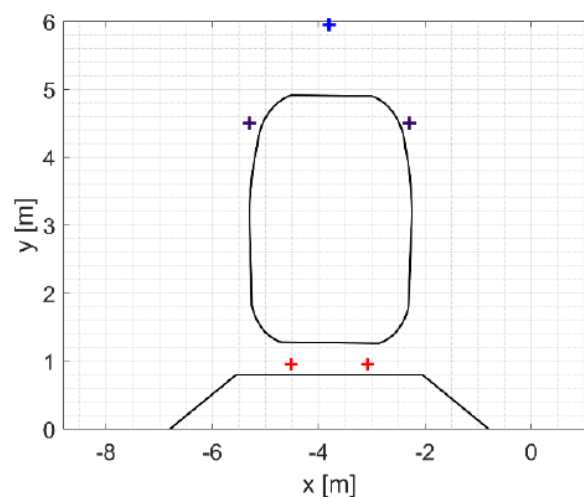
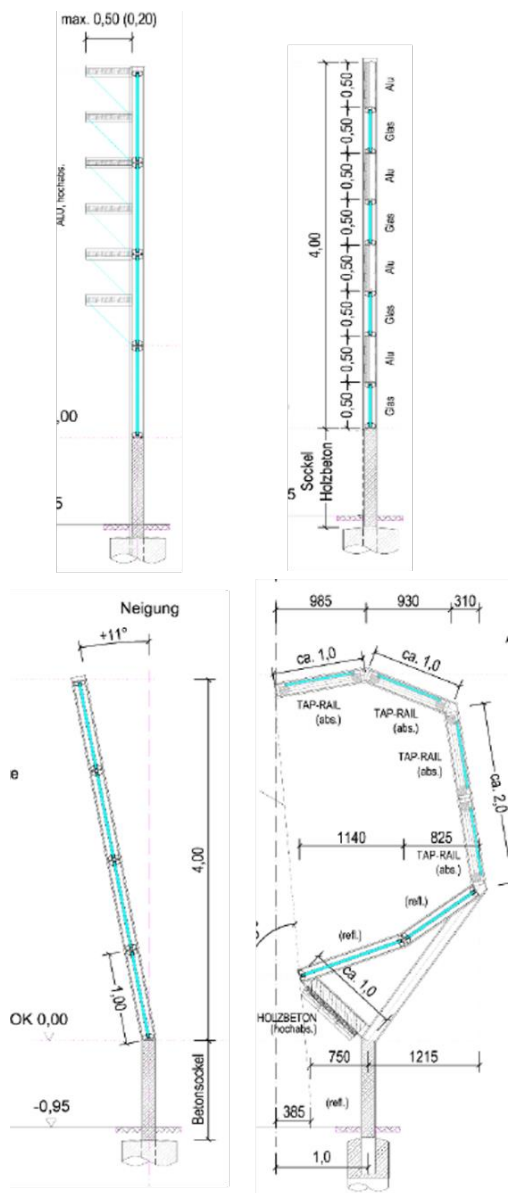


Abbildung 1: Position der berücksichtigten Schallquellen; aus Projektabschlussbericht [5].

Es wird ein ICE bei einer Geschwindigkeit von 300 km/h modelliert, um die Wirkmechanismen auch bei Schallquellen in größerer Höhe zu untersuchen. Die Wagenbegrenzung und der Boden außerhalb des Schotterbetts sind schallhart. Der Wagenkasten wird nur bei der Berechnung des Schallfelds auf der Wandseite verwendet, um Mehrfachreflexionen zwischen Zug und SSW abbilden zu können. Die Berechnung des Schallfelds auf der Wandgegenseite erfolgt mit denselben Quellpositionen aber ohne Wagenkasten. Aufgrund des

begrenzten Projektumfangs konnte nur eine Anregungsart untersucht werden.

Zur Beurteilung, ob in der Simulation eine hoch absorbierende Wirkung erreicht wird, werden zwei senkrechte Referenz-SSW modelliert: eine reflektierende und eine hoch absorbierende SSW. Sie haben einen Abstand von 3,8 m zur Gleismitte und eine Höhe von 4 m oberhalb der Schienenoberkante. Für die Optimierung der untersuchten Wirkmechanismen werden vollfaktorielle Parametervariationen durchgeführt. Abbildung 2 zeigt die verschiedenen untersuchten Wirkmechanismen.



**Abbildung 2:** Verschiedene Formen der untersuchten Wirkmechanismen: vorgesetzte Lamellen (links oben), periodische Absorber (rechts oben), geneigte Wand (links unten), Polygon (rechts unten); Abbildung zusammengestellt aus Projektabschlussbericht [5].

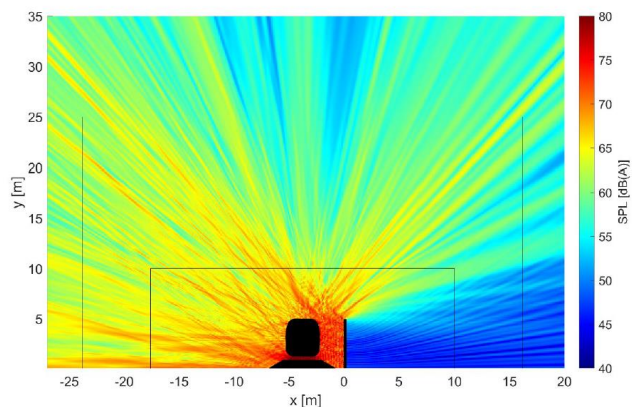
Die geneigten SSW haben unabhängig vom Neigungswinkel eine Höhe von 4 m, der Mindestabstand zum Zug bleibt erhalten, weshalb bei Neigung zum Gleis der Sockel verschoben werden muss. Die Neigungswinkel werden zwischen  $-45^\circ$  und  $+45^\circ$  in  $2^\circ$ -Schritten variiert.

Für die vorgesetzten, hoch absorbierenden Lamellen hat eine Voruntersuchung ergeben, dass eine Schrägstellung keine Vorteile bringt. Daher werden horizontale vorgesetzte Lamellen modelliert mit einer Breite von 0,2 m und 0,5 m. Der vertikale Abstand der Lamellen wird zwischen 0,5 m und 1 m in 0,05 m-Schritten variiert. Daraus ergibt sich eine Anzahl von vier bis sechs Lamellen.

Bei den periodischen Absorbern werden 0,5 m breite Absorberelemente modelliert. Die Breite der transparenten Fenster ist 0,5 m und 1 m. Diese Varianten sind konstruktiv einfach umsetzbar. Der Sockel der SSW wird mit absorbierendem Holzbeton modelliert.

Es werden vier verschiedene Typen von polygonal geformten SSW in verschiedenen Varianten untersucht. Sie werden jeweils mit einer äquivalenten geneigten SSW verglichen, deren Beugungskante dieselbe Position wie die Beugungskante des Polygons aufweist. Zwei der untersuchten Polygone haben eine geringere Höhe als 4 m (2,85 m und 3,50 m). Eines der 4 m hohen Polygone hat einen unteren Bereich aus absorbierendem Holzbeton. Auch der Sockel wird zum Teil als absorbierender Holzbeton modelliert. Die Scheiben werden zum Teil volltransparent und zum Teil mit einem absorbierenden Rahmen modelliert.

Für die Auswertung wird der Schalleistungspegel berechnet, der auf ein Linienarray trifft, welches sich in dem nach Schall 03 für die Abschirmung relevanten Bereich befindet. Die Linienarrays auf der Wand- und der Wandgegenseite sind jeweils 25 m hoch und haben einen Abstand von 20 m zur Gleismitte. In der Regel werden die Mittenfrequenzen der 1/12-Oktaven zwischen 63 Hz und 4 kHz berechnet. Sie werden im Abschlussbericht sowohl als Spektren dargestellt als auch zu einem Einzahl-Schalleistungspegel addiert. Abbildung 3 zeigt die Lage der Linienarrays als schwarze, senkrechte Striche und beispielhaft die berechnete Schalldruckpegelverteilung bei schallharter Referenzwand.



**Abbildung 3:** Schalldruckpegelverteilung bei schallharter Referenzwand und Lage der Linienarrays; aus Projektabschlussbericht [5].

### Ausgewählte Ergebnisse

Im Folgenden wird eine Auswahl der Ergebnisse zusammenfassend dargestellt, eine detaillierte Beschreibung findet sich im Abschlussbericht [5].

Eine zum Gleis geneigte, reflektierende SSW vermindert die Schallleistung im Vergleich zu einer senkrechten reflektierenden SSW, kann die Wirkung einer hoch absorbierenden SSW aber nicht erreichen.

Bei vorgesetzten Lamellen hängt die Wirkung vom Lamellenabstand ab. Für die betrachtete Quellkonfiguration kann ein optimaler Abstand berechnet werden, der sich jedoch für andere Quellkonfigurationen und Abstände der SSW zum Gleis unterscheiden kann. Breitere Lamellen erzielen eine bessere Wirkung. Wandseitig ist die Wirkung etwas besser als die einer hoch absorbierenden Wand, wandgegenseitig etwas schlechter.

Periodische Absorber zeigen bei beiden untersuchten Varianten (0,5 m bzw. 1 m hohe transparente Scheiben) eine ähnliche Wirkung, obwohl unterschiedlich viel hoch absorbierendes Material eingesetzt wird. Die Wirkung ist wandseitig vergleichbar einer hoch absorbierenden Wand, wandgegenseitig ist sie etwas schlechter.

Die niedrigen polygonen Bauformen zeigen wandseitig eine schlechtere Wirkung als die reflektierende Referenzwand. Sie sind somit keine Alternative zu höheren, geraden SSW. Die untersuchten 4 m hohen Polygone erzielen wandseitig eine bessere Wirkung. Diese kann im Bereich einer hoch absorbierenden SSW liegen, wenn zusätzlich absorbierende Materialien eingesetzt werden. Wandgegenseitig erreichen sie die geforderte Wirksamkeit nicht. Die komplexe, polygonale Bauform zeigt gegenüber einer äquivalenten geneigten Wand nur teilweise Vorteile.

## Fazit

Im vorgestellten DZSF-Forschungsprojekt zu hoch absorbierenden, transparenten SSW [5] konnten folgende Ergebnisse erzielt werden: Neben der Zusammenfassung der für die Schiene zugelassenen transparenten SSW-Typen wurde erstmalig eine umfangreiche Review potentieller Wirkmechanismen von transparenten und gleichzeitig absorbierenden SSW durchgeführt. Ausgewählte Wirkmechanismen wurden numerisch untersucht und wichtige Gestaltungsparameter wurden variiert. Daraus wurden Ideen für Prototypen abgeleitet, deren Bahntauglichkeit systematisch geprüft wurde. Ein vielversprechender Ansatz sind vorgesetzte, absorbierende Lamellen mit geeignetem vertikalem Abstand. Auch periodische Absorber zeigen eine hohe Wirksamkeit und können konstruktiv einfach umgesetzt werden. Wandgegenseitig konnte in allen Prototypen die Wirkung einer hoch absorbierenden SSW nicht ganz erreicht werden.

Die im Projekt erarbeiteten Ideen können von Herstellern verwendet werden, um transparente, absorbierende SSW zu entwerfen. Je nach Wirkmechanismus müsste die akustische Wirksamkeit der Prototypen dann in einer Laborumgebung oder im Realbetrieb erprobt werden. Für derartige Untersuchungen baut das DZSF das LärmLab auf [6]. Fragestellungen nicht-akustischer Art, die für die Umsetzung neuer Schallschutzmaßnahmen relevant sind (z.B. zu Zulassungsverfahren), sollen auch zukünftig in Auftragsforschungsprojekten untersucht werden. Damit leistet das DZSF einen Beitrag zur Entwicklung neuer, einsatzfähiger Schallschutzmaßnahmen an der Schiene.

## Literatur

- [1] DB Richtlinie 804.5501: Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik - Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten - Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken
- [2] Eisenbahn-Bundesamt: Leitfaden für die Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen für Wandelemente von Lärmschutzwänden im Anwendungsbereich der Eisenbahnen des Bundes im Rahmen des Zulassungsverfahrens beim Eisenbahn-Bundesamt, Vorabzug 01/2023
- [3] DZSF-Website: Lärmschutzwandelemente aus Verbundsicherheitsglas an Schienenwegen, Zugriff: 25.03.2024  
URL: [https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Standardartikel/DZSF/Projekte/Projekt\\_100\\_VGS.html](https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Standardartikel/DZSF/Projekte/Projekt_100_VGS.html)
- [4] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) - Anlage 2 (zu § 4) - Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)
- [5] F. Hänisch, S. Eggers, S. Dietze, O. Zaleski, C. Gillner, H. Lohmann, V. C. Falk, R. Kohlhauer und L. Bäuerle, „Gutachten zu transparenten Schallschutzwänden mit hoher akustischer Wirksamkeit,“ Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Bericht 25, 2022.
- [6] H. Brick, J. Böhm: „Entwickeln und Erproben innovativer Maßnahmen für den Schall- und Erschütterungsschutz an Schienenwegen“, DAGA 2024