

IBP-Bericht B-AK 5/2022

Klimaneutraler Lärmschutz
Nachhaltige Optimierung und ganzheitliche Bilanzierung
von Lärmschutzbauwerken

Durchgeführt im Auftrag
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Mark Koehler
Alassane Braun
Korbinian Czirwitzky
Peter Brandstät

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

IBP-Bericht B-AK 5/2022

Klimaneutraler Lärmschutz

Nachhaltige Optimierung und ganzheitliche Bilanzierung von Lärmschutzbauwerken

Durchgeführt im Auftrag
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Geschäftszeichen VM4-8826-30/2/3
Laufzeit: 01.10.2021 – 30.09.2022

Der Bericht umfasst
65 Seiten Text
8 Tabellen
31 Abbildungen

M.BP. Dipl.-Ing (FH) Mark Koehler
B. Sc. Alassane Braun
Korbinian Czirwitzky
Dr. Peter Brandstät

Stuttgart, 19. Dezember 2022

Institutsleiter



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Philip Leistner

Abteilungsleiter



Dr.
Peter Brandstät

Bearbeiter

i.V. 

M.BP. Dipl.-Ing (FH)
Mark Koehler

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangssituation	4
1.2	Ziel und Ausrichtung	4
2	Grundlagen	5
2.1	Varianten von Lärmschutzwänden und Konstruktionsmerkmale	5
2.2	Akustische Anforderungen an Lärmschutzwände	8
2.3	Weitere Anforderungen an Lärmschutzwände	10
2.4	Grundlagen Photovoltaik	11
3	Methodik und Vorgehensweise	13
3.1	Varianten LSW ohne und mit PV	13
3.2	Workshops	15
3.3	Akustische Messungen – Grundlagen	15
3.3.1	DIN EN 1793-1 Messung der Schallabsorption im Hallraum	15
3.3.2	DIN EN 1793-5 Messung der Schallreflexion im Halbfreifeldraum	15
3.3.3	Messung des Schalldruckpegels gegenüber der Wand	16
3.4	Akustische Simulationen	16
3.5	Ökobilanzierung	17
4	Workshops – Durchführung und Ergebnisse	19
4.1	Workshop 1: Voraussetzungen und Systempotenziale	19
4.2	Workshop 2: Technische Umsetzbarkeit	21
4.3	Impulsgespräch: Genehmigung und Betrieb	24
4.4	Fazit	25
5	Akustische Messungen – Durchführung	25
5.1	Schallabsorption im Hallraum	25
5.1.1	Einfluss periodischer Anordnung von PV-Modulen	28
5.2	Schallabsorption im gerichteten Schallfeld	30
5.3	Messungen mit Vergleichsschallquelle	33
5.4	Simulationen des Schalldruckpegels	34
5.5	Fazit	37
6	Durchführung und Ergebnisse der Ökobilanzierung	38
6.1	Vorgesehener Verwendungszweck	38
6.2	Systemgrenzen	38
6.2.1	Gebäudebestandteile	38
6.2.2	Lebenszyklusphasen	38

6.2.3	Wirkungsabschätzung	40
6.2.4	Datenerfassung	40
6.2.5	Ökobilanz-Modell	42
6.3	Ergebnisse	42
7	Zusammenfassung	45
8	Ausblick	46
A.1	Protokoll: 1. Workshop im Projekt »Klimaneutraler Lärmschutz«	49
A.2	Protokoll: 2. Workshop im Projekt »Klimaneutraler Lärmschutz«	56
A.3	Impulsgespräch Genehmigung und Betrieb	59
A.4	Anhang Ökobilanz	61
A.4.1	Bauteilkatalog mit Bauteilmengen	61
A.4.2	Bauteilkatalog mit referenzierten Ökobaudat-Datensätzen	64

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Der Ausbau von Photovoltaik (PV) an Lärmschutzwänden und -wällen (LSW) ist eines der Ziele des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg auf dem Weg zur Erreichung der Klimaneutralität. Stationäre Lärmschutzbauwerke in unterschiedlichsten Konstruktionsarten bieten große Flächen für die Anbringung von PV-Kollektoren an. Zunächst müssen jedoch Potenzialanalysen erstellt und dabei die rechtliche und technische Umsetzbarkeit geprüft werden. Zusätzlich sind weitere wichtige Aspekte wie z. B. Planbarkeit, Ausrichtung und Verschattung, Montage und Inspektion sowie elektrische Anschlussfähigkeit zu berücksichtigen. In Siedlungsnähe oder für Ladestationen können frühzeitig mögliche Energieverbraucher vor Ort einbezogen werden. Von zentraler Bedeutung bleibt bei all dem natürlich die Erhaltung oder gar Steigerung der Lärmschutzwirkung durch die Konstruktion.

Mit Hilfe von akustischen Messungen in den Laboren des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik wird der Einfluss verschiedener Montageoptionen von PV-Modulen auf die akustischen Funktionen von LSW untersucht. Dabei wird das Ziel einer möglichst effizienten Ausnutzung der Sonneneinstrahlung verfolgt, ohne die Primärfunktion »Lärmschutz« negativ zu beeinträchtigen.

Durch die Aufstellung ganzheitlicher Ökobilanzen für verschiedene LSW werden die CO₂-Emissionen beim Bau, Unterhalt sowie bei der Entsorgung objektiv ermittelt und den Potenzialen durch die Erzeugung von elektrischer Energie gegenübergestellt.

In strukturierten Workshops mit Fachpersonal aus öffentlichen Institutionen, Straßen- und Trassenbautechnik, Wirtschaft und Wissenschaft, sollen die wesentlichen Voraussetzungen und mögliche Hindernisse bei der Ausrüstung von LSW mit PV festgestellt werden.

1.2 Ziel und Ausrichtung

Mit dem Ziel, das Systempotenzial klimaneutraler Lärmschutzbauwerke auszuschöpfen, widmet sich das Projekt der fachübergreifenden Zusammenführung von Fachliteratur, Standards und Praxiserfahrungen sowie der Erweiterung der dafür erforderlichen Daten, Modelle und Methoden. Im Vordergrund steht die Aufgabe, eine jeweils fallspezifisch abgestimmte, funktionale Lärmschutzwirkung nachhaltig zu gewährleisten. Dazu müssen Ressourceneinsatz (Material, Bau, PV-Komponenten usw.), Umweltindikatoren (GWP, Flächenverbrauch usw.) sowie natürlich die »CO₂-Gewinne« durch erneuerbare Energie in einer Gesamt-Ökobilanz behandelt werden können. Mit dem geschaffenen Wissen lassen sich konkrete Systempotenziale beschreiben sowie neue, innovative Lösungsansätze entwickeln und bewerten.

2 Grundlagen

Mit Hilfe von Lärmschutzbauwerken soll die Ausbreitung von unerwünschten Schallereignissen, wie zum Beispiel dem Straßenlärm, in die Umgebung reduziert werden. Diese Primärfunktion der LSW dient dem Schutz der Gesundheit von Anwohnern und Bürgern, die dem Lärm sonst in unzulässigem Maße ausgesetzt wären. Die Anforderungen an den Lärmschutz sind durch das BImSchG [1] genau festgelegt. Wichtig ist deshalb, dass durch die zusätzliche Befestigung von PV-Modulen die erreichbare Lärminderung von Lärmschutzbauwerken nicht negativ beeinträchtigt wird.

2.1 Varianten von Lärmschutzwänden und Konstruktionsmerkmale

Es existieren verschiedene Varianten von Lärmschutzwänden und -wällen, die in ihrem Aufbau unterschiedlich sein können. Dabei können verschiedene Materialien zum Einsatz kommen, dennoch folgen die Aufbauten meist bestimmten Konstruktionsmerkmalen. Folgende Konstruktionen beschreiben die am häufigsten vorkommenden LSW an Straßen und Schienen.

Lärmschutzwand bestehend aus Betonsockel, Stahlpfosten und Elementen aus Blechkassetten, Holz, Kunststoff oder Kunstglas

Der Aufbau von LSW aus Blech- oder Kunststoffkassetten, Holz oder transparenter LSW aus PMMA oder Polycarbonat ist meist recht ähnlich. Sie bestehen aus einem Betonfundament, in das in regelmäßigen Abständen von ca. 4 m Stahlpfosten vom Typ HEA oder HEB 160 nach EN 10034 [2] eingelassen sind. Die LSW-Module werden am Bau von oben in die Stahlpfosten eingelassen und meist mit Elastomerstreifen »schalldicht« abgedichtet. Schallabsorbierende LSW-Module bestehen meist aus Kassetten mit einer geschlossenen, schalldämmenden Rückwand und einer Abdeckung aus Lochblech oder Holzlatten. In den Kassetten befindet sich das Absorptionsmaterial, welches oft zusätzlich durch eine Vlieskaschierung vor Witterungseinflüssen geschützt ist. Bild 1 zeigt Fotos von Lärmschutzwänden, jeweils mit Sockel und Trägern mit Blechkassetten, Holzkassetten und aus transparentem Kunstglas.



Bild 1:
Lärmschutzwände Links: Blech; Mitte: Holz; Rechts: Kunstglas.

Mauer (Beton, Mauersteine, Ziegel)

Lärmschutzwände aus Mauersteinen und Ziegeln sind äußerst selten und meist nur abschnittsweise z.B. in Kombination mit einer Hangbefestigung eingesetzt und werden hier nicht weiter betrachtet. Lärmschutzwände aus Beton können als Fertigteile oder vor Ort gegossen werden. Je nach Bauweise können sie mit Beton oder Stahlträgern oder als durchgehende rasterlose Wand errichtet werden. Beton an sich ist grundsätzlich schallreflektierend. Damit LSW aus Beton schallabsorbierend wirken, muss eine absorbierende Schicht vorgesetzt werden. Eine Strukturierung der Oberfläche der Betonwand ist dabei nicht auszeichnend. Oft besteht die vorgesetzte Schicht aus Formteilen aus gebundenen haufwerksporigen Materialien, die ähnliche Eigenschaften wie Beton aufweisen (Granulat aus Porenbeton, Blähton, Bims, etc.) oder anderen schallabsorbierenden Materialien. Bild 2 zeigt links eine LSW aus Beton mit Stahlträgern, in der Mitte eine schallabsorbierende Bekleidung und rechts eine Lochblechabdeckung einer Metallkassette, hinter der sich das Absorptionsmaterial befindet.



Bild 2:

Links: reflektierende Lärmschutzwand aus Beton; Mitte: Schallabsorbierende Bekleidung; Rechts: Lochblechabdeckung einer Blechkassette.

Erdwälle (in der Regel mit Bewuchs)

Erdwälle bestehen üblicherweise aus Erdaushub, der ohne zusätzliche Befestigung bis zu einem Winkel von etwa 45° aufgeschüttet werden kann. Um die erforderliche Höhe zu erreichen benötigen sie deshalb deutlich mehr Platz als vertikale Lärmschutzwände. Sie können durchgehend ohne Raster errichtet werden und sind in der Regel mit Gräsern und kleinen Büschen bewachsen. Es ist außerdem möglich auf einen Erdwall noch eine vertikale LSW aufzusetzen, um die Gesamthöhe bei festgelegter Breite zu steigern. Erdwälle werden in den meisten Fällen aus Aushub in der unmittelbaren Umgebung hergestellt und haben auch mit Vegetation keine ausreichende Schallabsorption. Aus diesen Gründen werden sie bei den akustischen Untersuchungen und Ökobilanzen nicht berücksichtigt. Bild 3 zeigt einen Erdwall mit Bewuchs und aufgesetzter Lärmschutzwand.



Bild 3:
Erdwall mit aufgesetzter Lärmschutzwand.

Gabionen

Als Gabionen werden Drahtgitterkörbe bezeichnet, die mit verschiedenen Schüttungen gefüllt werden. Während Gabionen zum reinen Sichtschutz nur mit einer einzigen, quasihomogenen Schotterschüttung gefüllt werden, sind Gabionen als Lärmschutzwand und damit lärmindernder Funktion, deutlich komplexer aufgebaut. Sie bestehen meist aus einem massiven Kern z.B. aus Beton oder verdichtetem Sand, einer schallabsorbierenden Schicht wie z.B. Mineralwolle und abschließend einer Schicht aus Gesteinsschotter die bei hochabsorbierenden Gabionenwänden meist aus porösem Lava-Schotter besteht. Gabionenwände können durchgehend ohne Stützpfeiler errichtet werden und eignen sich unter anderem auch zur Hangbefestigung als Stützwände von Erdwällen. Bild 4 zeigt links eine Lärmschutzwand aus Gabionen mit dahinterliegendem schalldämmendem Betonkern und rechts eine Gabionenwand ohne schalldämmenden Kern, die noch nicht vollständig befüllt ist.



Bild 4:
Links: Lärmschutzwand aus Gabionen mit dahinterliegendem, schalldämmendem Betonkern; Rechts: Wand aus Gabionen während der Bauphase.

Begrünte Systeme ohne zentrale Konstruktionsmerkmalen

Hervorgerufen durch die steigende Nachfrage existiert inzwischen eine Vielzahl an innovativen LSW-Konstruktionen, die platzsparender als Erdwälle und häufig zusätzlich vertikal begrünbar sind. Die Akzeptanz in der Bevölkerung ist bei diesen Konstruktionen besonders hoch, da sie nicht so bedrückend wirken, wie z.B.

eine graue Betonwand. Da diese begrünbaren LSW Spezialsysteme einzelner Hersteller sind, somit keine einheitlich vergleichbaren Konstruktionsmerkmale haben und sich die Funktion der vertikalen Begrünung mit der Integration von PV-Anlagen nur schwer vereinbaren lässt, wird in diesem Bericht nicht weiter darauf eingegangen. Bild 5 zeigt verschiedene Systeme von begrünbaren Lärmschutzwänden.



Bild 5:
Links: Begrünbare Lärmschutzwand mit Stahlpfosten; Rechts: Rasterlose begrünbare Lärmschutzwand.

2.2 Akustische Anforderungen an Lärmschutzwände

Die akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwänden bemisst sich im Wesentlichen an der Luftschalldämmung, die ausschlaggebend für die Lärminderung zwischen der lauten und der leisen Seite ist. Nicht selten werden zusätzliche Anforderungen an das Schallabsorptionsvermögen von Lärmschutzwänden gestellt. Dadurch soll vermieden werden, dass der Schall an der Oberfläche der Lärmschutzwand reflektiert wird und somit zu einer Pegelerhöhung in gegenüberliegenden Bereichen beiträgt. Neu geplante Lärmschutzwände an Straßen und Bahntrassen sind gleis- bzw. fahrbahnseitig regelmäßig schallabsorbierend ausgeführt.

Um die Ausbreitung von Lärm mit Hilfe von LSW zu reduzieren ist es notwendig, dass das Lärmschutzbauwerk eine bestimmte Luftschalldämmung nicht unterschreitet. Das Mindestmaß der Luftschalldämmung von LSW ist dabei so ausgelegt, dass ausschließlich die Schallenergie, die über die LSW hinweg gebeugt wird, für den resultierenden Schalldruckpegel hinter der LSW verantwortlich ist. Die pegelreduzierende Wirkung auf die Bereiche dahinter ergibt sich dabei quasi ausschließlich über die Höhe der LSW sowie deren Abstand zu Quelle und Empfänger. Die erreichbare Lärminderung und die erforderliche Höhe der LSW können gemäß verschiedener Regelwerke (RLS-19 [3], DIN ISO 9613-2:1999 [4]) oder nach computergestützten, numerischen Modellen berechnet werden.

Die Luftschalldämmung wird in der Regel dadurch erreicht, dass möglichst viel Schallenergie von der Lärmschutzwand reflektiert wird. Dieser Effekt führt einerseits dazu, dass es hinter der Wand leiser wird. Allerdings wird es auf der gegenüberliegenden Seite der Schallquelle, durch die Überlagerung von Direktschall der Quelle und der Reflexionen am Lärmschutzbauwerk, lauter. Um dies zu verhindern werden LSW heutzutage in aller Regel zusätzlich mit einer schallabsorbierenden Schicht, welche zur Schallquelle ausgerichtet ist, ausgestattet. Hierbei

wird Schallenergie, meist in porösen Materialien, per Dissipation in Reibungsenergie umgewandelt. Das Mindestmaß der Luftschallabsorption ist dabei so ausgelegt, dass es auf der gegenüberliegenden Seite durch die Reflexionen nicht lauter wird.

Die Anforderungen an die Luftschalldämmung und die Luftschallabsorption sind für LSW an Straßen in den ZTV-Lsw 06 [5] und für LSW an Schienen in DB Richtlinie 804.5501 [6] festgelegt. Der Nachweis erfolgt dabei im Labor nach vergleichbaren Rahmenbedingungen nach DIN EN 1793-1 [7] sowie DIN EN 1793-2 [8]. Die Anforderung, ob eine LSW absorbierend ausgeführt werden muss oder nicht, wird nach RLS-19 ermittelt. Da es zwischen den Aufbauten für die Labormessungen und den tatsächlich ausgeführten LSW zu konstruktiven Abweichungen kommen kann, gibt es zusätzliche Überprüfungsverfahren der akustischen Parameter am Bau (in-Situ) mit DIN EN 1793-4, -5 und -6 [9-11]. Diese sind allerdings aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen nicht für den Nachweis der Eignung geeignet und dienen nur der Überprüfung der korrekten Ausführung des Bauwerks.

Die Funktion einer Lärmschutzwand an einer Straße ist in Bild 6 dargestellt.

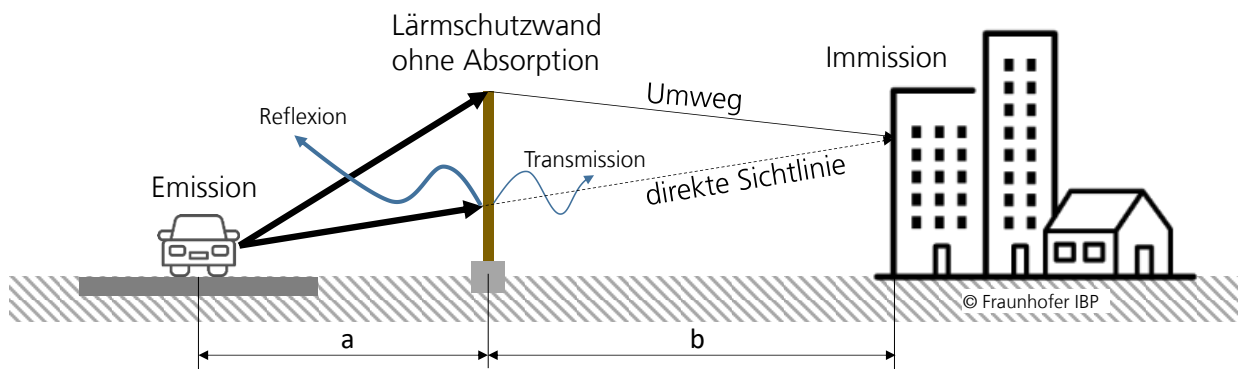


Bild 6:
Schematische Funktion einer reflektierenden Lärmschutzwand.

Die Luftschalldämmung einer Lärmschutzwand muss nach ZTV-Lsw 06 der Gruppe B3 nach DIN EN 1793-1 – DLR > 24 dB entsprechen.

Die akustischen Anforderungen an die Schallabsorption von LSW an Straßen gemäß ZTV-Lsw 06 sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1:
Akustische Anforderungen an die Schallabsorption von LSW an Straßen nach ZTV-Lsw 06.

Gruppe	Absorption DL_a [dB] ($DL_{\alpha, NRD}$ nach DIN EN 1793-1:2017)	
A 1	< 4	nicht absorbierend
A 2	4 – 7	absorbierend
A 3	8 – 11	hochabsorbierend
A 4	> 11	

Nach RLS-19 wird inzwischen für die absorbierenden Eigenschaften der Begriff »reflexionsmindernd« verwendet. Er wird nach DIN EN 1793-5 nachgewiesen und es wurde die folgende Eingruppierung festgelegt:

- Stark reflexionsmindernd: Reflexionsverlust ≥ 5 dB
- reflexionsmindernd: Reflexionsverlust = 3 bis 5 dB
- nicht reflexionsmindernd: Reflexionsverlust ≤ 3 dB

2.3 Weitere Anforderungen an Lärmschutzwände

Neben den akustischen Anforderungen werden noch weitere Anforderungen an Lärmschutzwände gestellt, die primär der Sicherheit und Beständigkeit dienen. Auch diese müssen bei der Nachrüstung durch PV-Module berücksichtigt und dürfen nicht negativ beeinträchtigt werden. In ZTV-Lsw 06 sind für LSW an Straßen Anforderungen an folgende Eigenschaften näher definiert:

- Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit
- Windlasten
- Seitenstoßwiderstand
- Verankerungen
- Alterungs- und Korrosionsbeständigkeit
- Steinwurfresistenz
- Farbtongenauigkeit und -beständigkeit
- Feuerresistenz
- Servicetüren
- Instandhaltungsfähigkeit

Da all diese Anforderungen konstruktionsbedingt sehr unterschiedliche Lösungen erfordern, die ihrerseits aber in der Regel lösbare Probleme darstellen, wird in diesem Bericht nicht näher auf die konkreten Anforderungen eingegangen. Teilweise wurden die genannten Anforderungen und mögliche Lösungen mit Herstellern und Betreibern von LSW in den Workshops diskutiert.

2.4 Grundlagen Photovoltaik

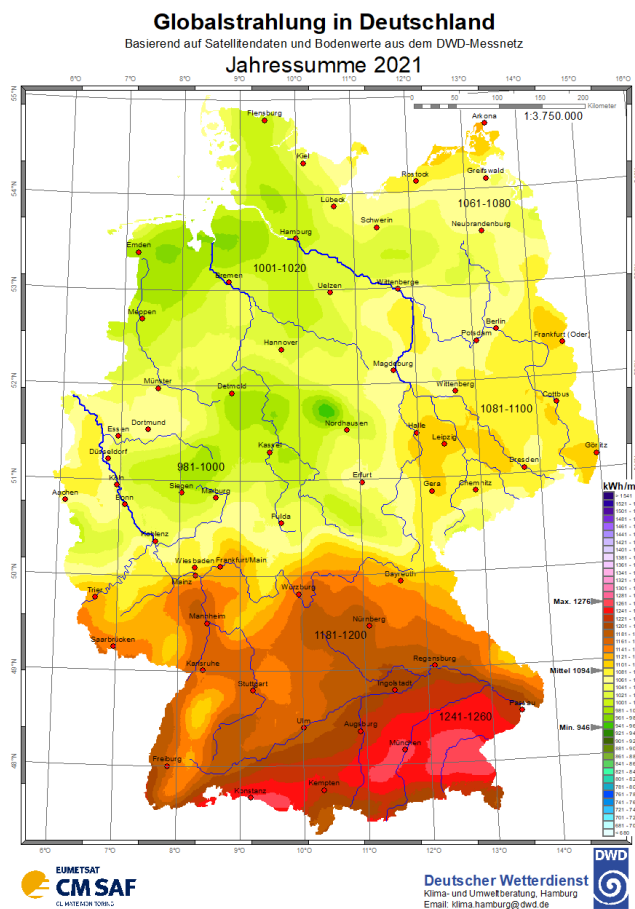
Photovoltaik (PV) beschreibt ein technisches Verfahren zur Erzeugung von Strom. Als Energiequelle dient Lichtstrahlung, die in der Praxis hauptsächlich in Form von Sonnenenergie genutzt wird. Die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom geschieht mithilfe von Solarzellen, die an Gebäuden ebenso angebracht werden können, wie an freien Flächen in der Landschaft, zum Beispiel auf einer Wiese oder eben an Lärmschutzwänden. Die Solarzellen werden dabei meist in Modulen bestehend aus einem Aluminiumrahmen mit einer schützenden Glasscheibe zusammengefasst. Durch die modulare Bauweise können vergleichsweise große Flächen mit wenig Montageaufwand zur Stromerzeugung verbunden werden. Ein Nachteil in Bezug auf die Montage an Lärmschutzwänden ist, dass die Module, insbesondere der Aluminiumrahmen sowie die schützende Glasscheibe, quasi vollständig luftschallreflektierend wirken. Der Flächenanteil einer Lärmschutzwand, der durch PV-Module verdeckt wird, ist anschließend als reflektierend anzusetzen, wodurch die Anforderungen an die schallabsorbierende Wirkung der LSW ggf. nicht mehr eingehalten werden können. Diesen Nachteil gilt es möglichst zu reduzieren.

Ein großer Vorteil von PV Modulen ist eine gleichbleibende Spannungserzeugung pro Modul, die für die Verwendung des erzeugten Stroms essenziell ist. PV-Module erzeugen dabei üblicherweise eine Gleichspannung (DC), die für die Verwendung im deutschen Niederspannungs-Stromnetz in 240/400V Wechselspannung umgewandelt werden muss. Daher wird generell mindestens ein Wechselrichter benötigt. Bei direkter Einspeisung ins Stromnetz ist kein Zwischenspeicher notwendig. Diese Vorgehensweise setzt allerdings voraus, dass der erzeugte Strom auch nahezu gleichzeitig mit der Erzeugung verbraucht wird. Eine hohe PV-Anlagendichte in einem Niederspannungsnetz kann an sonnigen Tagen wegen des hohen Gleichzeitigkeitsfaktors dazu führen, dass die Stromproduktion den Stromverbrauch lokal übersteigt. Transformatoren können dann Leistung zurück in das Mittelspannungsnetz leiten. Große PV-Kraftwerke oder lokale Häufungen von Anlagen in dünn besiedelten Gebieten erfordern stellenweise eine Verstärkung des Netzes, der Trafostationen oder den Aufbau von Speicherkapazitäten. Eine gleichmäßige Verteilung der PV-Installationen über die Netzabschnitte verringert den Netzausbaubedarf.

Der Ertrag von PV-Anlagen ist vor allem abhängig von der Sonneneinstrahlung, sowie der Ausrichtung der Anlage zur Sonne. Die Sonneneinstrahlung wird unter anderem als Globalstrahlung in kWh/m² vom Deutschen Wetterdienst ermittelt. Bild 2 zeigt eine Karte der mittleren Globalstrahlung in Deutschland aus dem Jahr 2021. Physikalisch bedingt erfolgt die optimale Umwandlung von Solarstrahlung in Strom durch PV-Anlagen bei senkrechter Ausrichtung der Module

zur Strahlungsrichtung. Abhängig von verschiedenen Neigungswinkeln können Wirkungsfaktoren abgeschätzt werden.

In Bezug auf PV an LSW ist also die Geometrie und Lage der LSW von Bedeutung, die Lage der Module zur Wand (flächenintegriert, aufgesetzt, vorgesetzt) und ihr Neigungswinkel. Da die Sonne im Winter tiefer steht als im Sommer, kann pauschal keine optimale Ausrichtung für PV Module angegeben werden. Soll das Ziel ein möglichst hoher Gesamtjahresertrag sein, wird dieser bei ca. 35° Neigung zum Boden bei südlicher Ausrichtung erreicht. Ist das Ziel eine möglichst gleichmäßige Stromerzeugung über den zeitlichen Tagesverlauf, kann eine Kombination aus östlicher und westlicher Ausrichtung bei vertikaler Ausrichtung sinnvoller sein.



also vertikal an einer LSW kann sich der Wirkungsgrad je nach geografischer Ausrichtung noch einmal um 30-70 % reduzieren, da keine optimale Sonneneinstrahlung gegeben ist. Einziger Vorteil einer möglichst steilen Ausrichtung ist, dass sich die Module bei Regen selbst reinigen, wohingegen sich an horizontal ausgerichteten Modulen Schmutz sammeln kann, was früher oder später zu Verschattungen der Solarzellen führt.

3 Methodik und Vorgehensweise

3.1 Varianten LSW ohne und mit PV

Lärmschutzwände im Bestand, die sonst keine weitere Funktion haben, bestehen in den meisten Fällen, unabhängig vom Typ, aus einer schalldämmenden und einer schallabsorbierenden Schicht, wobei letztere zur Schallquelle gerichtet ist. Für die weiteren Untersuchungen zum Einfluss von PV-Modulen auf die Akustik und zur Beantwortung der Frage, ob es möglich ist die Bauwerke durch solare Energiegewinne klimaneutral werden zu lassen, wird diese Konstruktion als Referenzaufbau verwendet. Bild 8 links zeigt schematisch das Beispiel einer hochabsorbierenden Lärmschutzwand an einer Straße und rechts eine reflektierende LSW, bei der 100 % der Fläche mit PV-Modulen belegt ist.

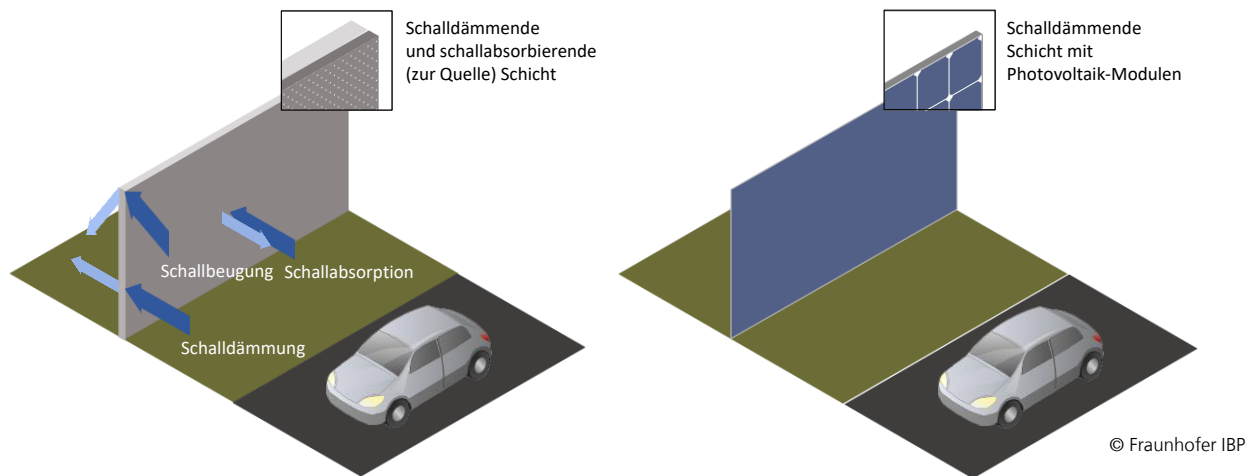


Bild 8:

Links: hochabsorbierende LSW, rechts: reflektierende LSW mit bzw. aus PV-Modulen.

Die Variante, bei der 100 % der Fläche mit PV-Modulen belegt ist, kommt nur für LSW in Frage, welche reflektierend ausgeführt werden. Alternativ könnte aber natürlich auch nur ein Teil der Fläche belegt werden. Es gilt dabei zu untersuchen, bei welchem Anteil der Belegung die LSW in welche Gruppe der Schallabsorption nach ZTV-Lsw 06 eingruppiert würde. Bild 9 zeigt links eine Variante mit Teilbelegung und rechts eine hochabsorbierende LSW mit Vegetation. Hier stellt sich die Frage, in welchem Verhältnis die CO₂ Reduktion zu den solaren Energiegewinnen steht.

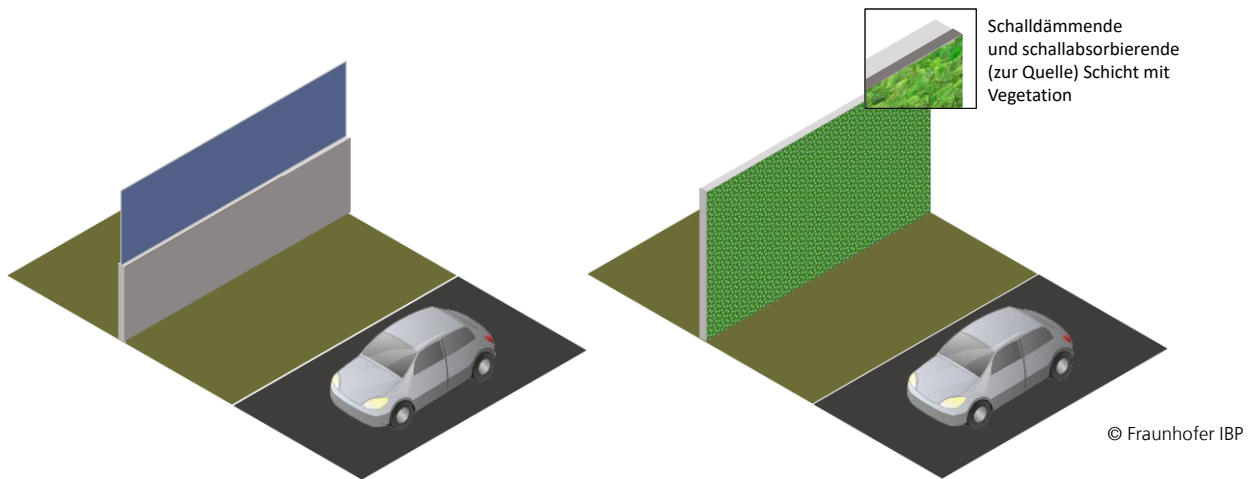


Bild 9:

Links: LSW zur Hälfte hochabsorbierende und zur Hälfte mit reflektierenden PV-Modulen, rechts: hochabsorbierende, begrünte Lärmschutzwand.

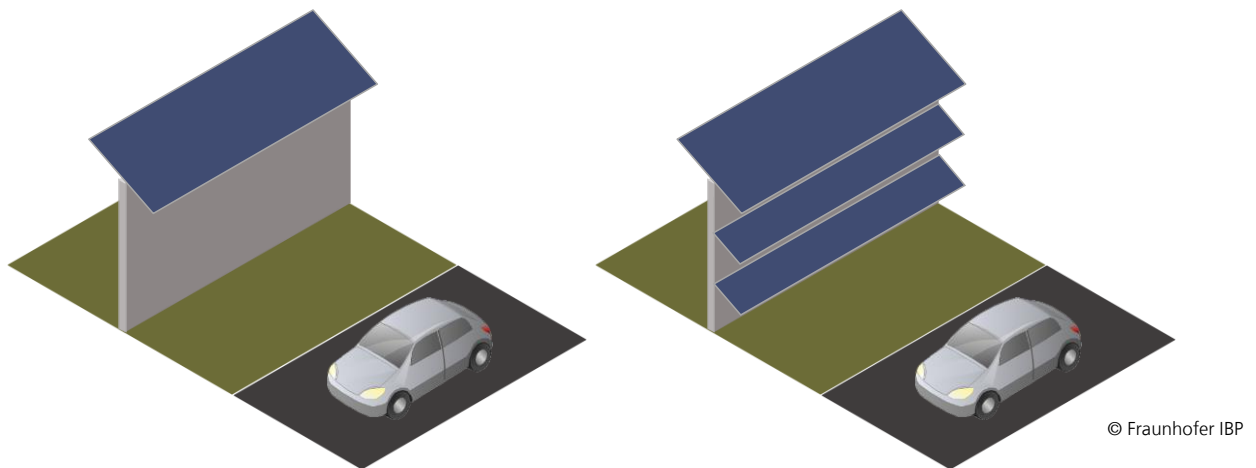


Bild 10:

Links: hochabsorbierende LSW PV-Modulen auf der Schirmkante, rechts: hochabsorbierende LSW mit schräg ausgerichteten, vor- und aufgesetzten PV-Modulen (Shed-Konstruktion).

Die flächenbündige Integration der PV-Module ist konstruktionstechnisch die einfachste Möglichkeit und es gibt bereits Anbieter, die solche Produkte in ihrem Programm haben. Soll jedoch an einer hochabsorbierenden LSW PV-Module integriert werden, darf die Sichtlinie zwischen der Schallquelle und der schallabsorbierenden Schicht nicht durch die Module unterbrochen werden. Hier könnten auf- oder vorgesetzte Varianten eine Lösung sein. Weitere Vorteile wären eine Verbesserung der Schirmwirkung sowie eine effektivere Stromerzeugung durch die bessere Ausrichtung zur Sonne, vor allem bei südlicher Ausrichtung der Wand. Bild 10 zeigt zwei mögliche Varianten mit vor- oder aufgesetzten PV-Modulen im 45 ° Winkel.

3.2 Workshops

Im Projektverlauf wurden die zwei geplanten Workshops durchgeführt. In einem ersten Workshop wurde mit dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, zusammen mit Stakeholdern aus den Bereichen Betrieb von Verkehrswegen, der Energieerzeugung und Netzbetreibern, aber auch möglichen Interessenten wie Gemeinden erörtert, welche Potenziale der flächendeckende Ausbau von PV an LSW birgt und welche Hemmnisse dem aktuell gegenüberstehen.

In einem zweiten Workshop wurden mit dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP zusammen mit Herstellern von Lärmschutzwänden und Vertretern aus Gemeinden Lösungen und Konstruktionsvorschläge diskutiert, mit denen der schnelle, flächendeckende Ausbau von PV an vornehmlich hochabsorbierenden LSW umgesetzt werden kann.

3.3 Akustische Messungen – Grundlagen

Zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften der LSW mit und ohne PV wurden verschiedenste Messungen in den Laboren des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik durchgeführt. Die Montage von PV-Modulen an LSW hat vor allem einen Einfluss auf die Schallabsorption. Die Luftschalldämmung wird bei sachgerechter Montage nicht beeinflusst und wird daher hier auch nicht weiter betrachtet. Zur Analyse des Einflusses auf die Schallabsorption gibt es verschiedene Ansätze.

3.3.1 DIN EN 1793-1 Messung der Schallabsorption im Hallraum

Zur Analyse des Einflusses der PV-Anordnung auf die Schallabsorption gibt es verschiedene Ansätze. Der Nachweis der Eignung einer LSW bzw. einer schallabsorbierenden Beschichtung einer LSW wird durch das Verfahren im akustischen Diffusfeld nach DIN EN 1793-1 für LSW an Straßen und DB Richtlinie 804.5501 für LSW an Bahnstrecken durchgeführt. Beide Verfahren beziehen sich auf die Messnorm DIN EN ISO 354 zur Messung der Schallabsorption im Hallraum.

3.3.2 DIN EN 1793-5 Messung der Schallreflexion im Halbfreifeldraum

Zusätzlich kann das in-Situ Verfahren nach DIN EN 1793-5 («Adrienne-Verfahren») im gerichteten Schallfeld angewendet werden, um verschiedene Anordnungen miteinander zu vergleichen. Da hier Modellversuche im Labor und keine Messungen an bestehenden LSW durchgeführt werden, wäre es möglich das Verfahren im reflexionsarmen Halbraum (Halbfreifeldraum) anzuwenden. In diesem Labor herrschen akustische Bedingungen wie im Außenbereich (reflektierender Boden, absorbierender Himmel/Horizont), nur ohne Einfluss durch Witterungsbedingungen. Allerdings ist dieses Verfahren nur für gleichmäßig ebene, hochabsorbierende Flächen validiert. Es muss zunächst durch Vergleichsmessungen bestätigt werden, ob dieses Verfahren für die Untersuchung des Einflusses durch reflektierende PV-Module vor einer hochabsorbierenden LSW geeignet ist.

3.3.3 Messung des Schalldruckpegels gegenüber der Wand

Zweck der schallabsorbierenden Oberfläche einer LSW ist, dass es durch Reflexionen, die als Spiegelschallquellen im gerichteten Schallfeld betrachtet werden können, auf der gegenüberliegenden Seite nicht lauter wird. Es besteht also auch die Möglichkeit den Einfluss durch verschiedene Anordnungen von PV-Modulen zu bestimmen, indem der Schalldruckpegel gegenüber einer Lärmschutzwand bei Geräuschanregung mit einer Schallquelle mit bekannter Schallleistung gemessen wird. Hierzu kann eine Vergleichsschallquelle eingesetzt werden, wie sie bei Schallleistungsmessungen von Schallquellen eingesetzt wird. Die Vergleichsschallquelle strahlt eine zeitlich konstante Schallenergie ab. Wird der reflektierende/absorbierende Anteil an einer Schirmwand in der Nähe der Quelle verändert, kann an einem Referenzpunkt festgestellt werden, welchen Einfluss die Veränderung auf den Schalldruckpegel am Immissionsort, z.B. an einer gegenüberliegenden Gebäudefassade, hat.

3.4 Akustische Simulationen

Die schallabsorbierende Schicht von Lärmschutzwänden verhindert Reflexionen und damit die Erhöhung des Schalldruckpegels auf der gegenüberliegenden Seite der Wand. Dieser Effekt wird bei der Erstellung konventioneller Lärmkarten, die auch zur Bemessung und Auslegung von LSW verwendet werden, nicht ausreichend berücksichtigt. Die zum Großteil älteren Verfahren zur Auslegung von LSW nach RLS-19 beruhen auf der Annahme, dass eine Wand über die gesamte Fläche gleichmäßig reflektierend, absorbierend oder hochabsorbierend ausgeführt wird.

Mit Hilfe moderner, computergestützter Simulationsprogramme ist es inzwischen möglich, den Schalldruckpegel vor einer gedachten Gebäudefassade gegenüber einer Straße mit LSW zu berechnen und dabei die vor- und aufgesetzten Varianten von PV-Modulen zu berücksichtigen. Durch den 45° Winkel der PV-Module haben sie einen Einfluss auf den Schalldruckpegel, der zusätzlich von der Position der Schallquelle abhängig ist. Dieser Effekt kann allein durch Labormessungen der Schallabsorption nach Norm (im Hallraum, Diffusfeld) nicht berücksichtigt werden. Während bei der Messung der Schallabsorption im Hallraum nur der schallabsorbierende Anteil der Prüffläche bestimmt wird, kann mit Hilfe der Simulation auch der Einfluss des reflektierten Anteils durch die Montage von PV-Anlagen und damit auf den Schalldruckpegel an einer Fassade rechnerisch abgeschätzt werden.

Hierzu wird zunächst anhand eines Modells einer Referenzkonstruktion aus einer hochabsorbierenden LSW ohne PV-Module, der Schalldruckpegel vor einer Gebäudefassade berechnet. Anschließend werden im Modell PV-Module flächenbündig integriert sowie vor- bzw. aufgesetzt und jeweils die Berechnung wiederholt. Die Parameterstudie dient als Validierung der in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Messungen.

3.5 Ökobilanzierung

Mit Hilfe von ganzheitlichen Ökobilanzierungen soll das Verhältnis zwischen der »verbrauchten« Energie, die für die Errichtung verschiedener Lärmschutzkonstruktionen benötigt wird und der möglichen Erzeugung regenerativer Sonnenenergie durch die Kombination mit Photovoltaik ermittelt werden. Ein Ziel dabei ist, die LSW mit PV in möglichst kurzer Zeit klimaneutral werden zu lassen, ohne dabei die Primärfunktion Lärmschutz und sicherheitsrelevante Parameter negativ zu beeinflussen.

Hierzu wird von drei verschiedenen Lärmschutzwandkonstruktionen und vier verschiedenen Montagevarianten für PV-Module jeweils eine vergleichende Ökobilanz gemäß DIN EN ISO 14040:2021 [12] und 14044:2021 [13] erstellt. Dabei werden die potenziellen Umweltauswirkungen über dem gesamten Lebensweg inklusive Recyclierbarkeit »cradle to cradle« berücksichtigt. Die meisten gebauten Lärmschutzwände in der Praxis bestehen aus Betonsockel, Stahlpfosten und verschiedenen eingesetzten Elementen (siehe Abschnitt 2.1). Aus diesem Grund wird jeweils eine solche Konstruktion mit Blechkassetten, eine mit Betonelementen und eine mit Holzelementen verglichen. Da Erdwälle in der Regel aus Aushub aus der unmittelbaren Umgebung der Baustelle bestehen, ist es für eine vergleichende Ökobilanz schwierig, sinnvolle Parameter für den Energieverbrauch anzusetzen. Lärmschutzwände aus Gabionen sind in der Praxis relativ selten und erfüllen gelegentlich noch Zusatzfunktionen wie z. B. Hangbefestigung und werden daher ebenfalls nicht betrachtet.

Die drei Konstruktionen von Lärmschutzwänden werden jeweils mit vier Varianten von möglichen PV-Kombinationen bilanziert. Als Referenz dient eine hochabsorbierende LSW ohne PV (Bild 8, links) eine LSW mit flächenintegrierter PV-Anlage mit 100 % Belegung (Bild 8 rechts) eine LSW mit flächenintegrierter PV-Anlage und 50 % Belegung (Bild 9 links) und eine LSW mit PV-Anlage als Satteldachausführung (Bild 10, links).

Bei einer Ökobilanzierung ist es notwendig Randbedingungen festzulegen. Bei einer klassischen Ökobilanz werden die potenziellen Umweltwirkungen nach Bild 11 von der Wiege bis zur Bahre betrachtet, d.h. von der Rohstoffgewinnung über die Produktion sowie die Nutzung des Produktes bis hin zur Abfallbehandlung und zum Recycling bzw. zur endgültigen Beseitigung (DIN EN ISO 14040:2021). In dieser vergleichenden Ökobilanz finden, bezogen auf das Ziel der Studie, die folgenden Lebenswegphasen Berücksichtigung:

- Gewinnung/ Herstellung aller notwendigen Inputmaterialien
- Transport zur Baustelle und Aufwendungen zur Montage Vor-Ort für alle Alternativen und zusätzliche Aufwendungen für Materialaustausch
- Demontageaufwendungen für alle Alternativen und zusätzliche Aufwendungen für Materialaustausch

- Transport der Lärmschutzwände zur End-of-Life Anlage und entsprechende Behandlungsprozesse

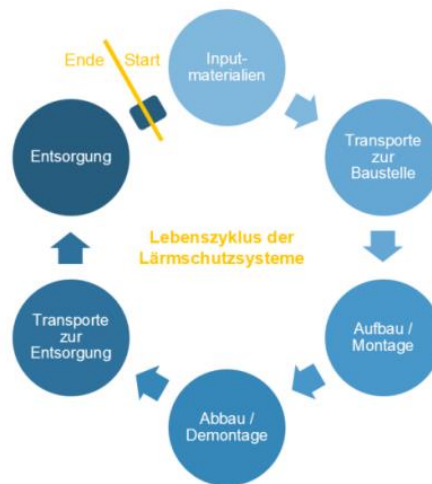


Bild 11:
Schematische Darstellung des Produktsystems mit den betrachteten Lebenswegphasen und den Systemgrenzen.

Aufgrund des definierten Ziels der Studie und der Datenverfügbarkeit werden bestimmte Lebenswegabschnitte in dieser Studie nicht berücksichtigt. Bei allen Ausschlüssen ist jedoch davon auszugehen, dass diese die Gesamtaussage nicht signifikant verändern. Folgende Lebenswegphasen wurden nicht berücksichtigt:

- Notwendige Infrastruktur und Arbeitsleistung zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Lärmschutzwände, d.h. Herstellung von Maschinen, Anlagen etc.
- Angelieferte Inputmaterialien werden ohne Verpackungsmaterial betrachtet, da hier die meisten Materialien unverpackt geliefert werden und die verbleibenden Verpackungsmaterialien einen sehr geringen Teil der Gesamtmasse ausmachen
- Produktionsphase der Lärmschutzwände, da die Inputmaterialien direkt zur Baustelle geliefert und zusammengesetzt werden
- Bei der Montage anfallende Kunststoffabfälle (ca. 10kg Plastikbänder pro Produktsystem) aufgrund der geringen Masse
- Nutzenphase der Lärmschutzsysteme, da während der Nutzung keine Umweltauswirkungen anfallen
- Instandhaltung aufgrund der langen Lebensdauer der Komponenten
- Materialseparation bei der Demontage, sowie evtl. Wiedernutzung der Lärmschutzwände

Laut DIN EN ISO 14040: 2021 wird die funktionelle Einheit als »quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit« (DIN EN ISO 14040: 2021, S.11) definiert. Damit bildet die funktionelle Einheit die mathematische Bezugsgröße, auf die alle Flüsse, welche die Systemgrenzen überschreiten, normiert werden. Demnach wird in dieser Studie die funktionelle Einheit definiert als »Nutzung von 400 m² Lärmschutzwand in Deutschland über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren inkl. aller vor- und nachgelagerten Prozesse«. In Abschnitt 6 wird das hier vorgestellte Modell weiter detailliert sowie an die vorhandenen Berechnungsgrundlagen und Datenbestände angepasst.

4 Workshops – Durchführung und Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden zwei Workshops und ein Impulsgespräch durchgeführt. Die Ausführlichen Protokolle befinden sich in den Anhängen A.1 bis A.3.

4.1 Workshop 1: Voraussetzungen und Systempotenziale

Der erste Workshop fand am Dienstag den 1. Februar 2022 von 13:00 bis 16:00 Uhr als online Veranstaltung über MS-Teams statt. Anlass und Ziel des Workshops war, mit Stakeholdern aus öffentlichen Institutionen, Wissenschaft und Energieunternehmen die Voraussetzungen, Hürden und das Systempotenzial für den klimaneutralen Lärmschutz praxisnah zu ermitteln. Teilnehmer waren Vertreter folgender Institutionen:

- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
- Gemeindetag Baden-Württemberg
- Autobahn GmbH des Bundes AdB
- Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung DZSF/EBA
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Während der Durchführung des Workshops wurde mit Hilfe des online verfügbaren Whiteboards Conceptboard® die wesentlichen Ergebnisse dokumentiert und anschließend zu einem Protokoll zusammengefasst. Bild 12 zeigt Ausschnitte des Conceptboards, in dem positive (Sunny Skies) und negative (Stormy Clouds) Aspekte beim Ausbau von PV an LSW angezeigt werden. Bild 13 zeigt Umstände, die den Ausbau begünstigen (Hot Air) bzw. behindern (Sandbags) an.

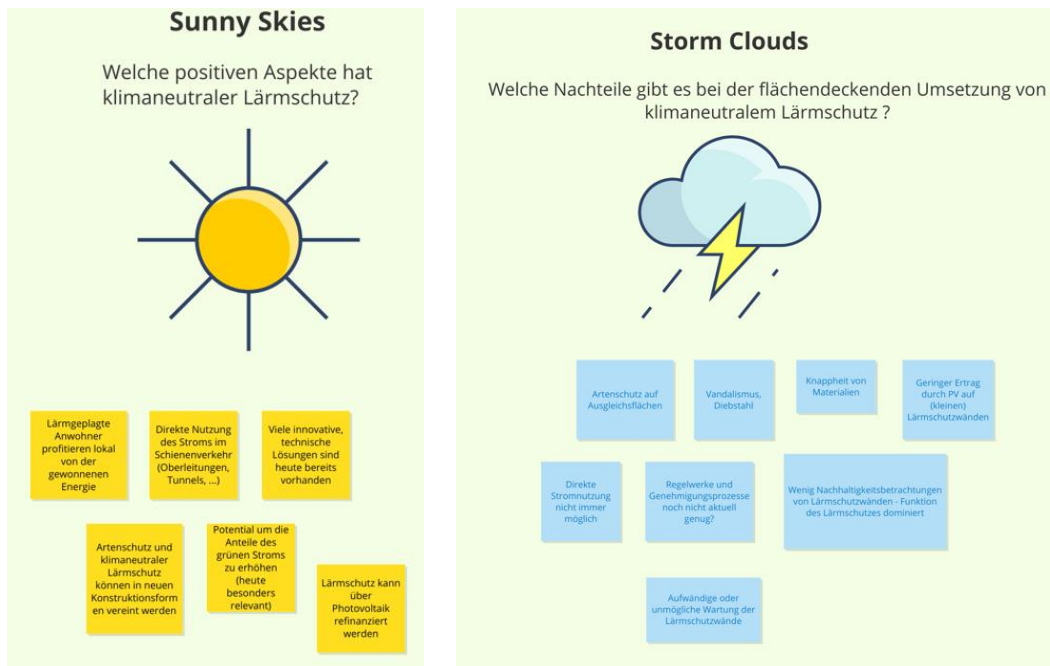


Bild 12: Ergebnisse des ersten Workshops, Ausschnitt des Conceptboards. Links: Positive Aspekte des klimaneutralen Lärmschutzes. Rechts: Nachteile bei flächendeckender Umsetzung.

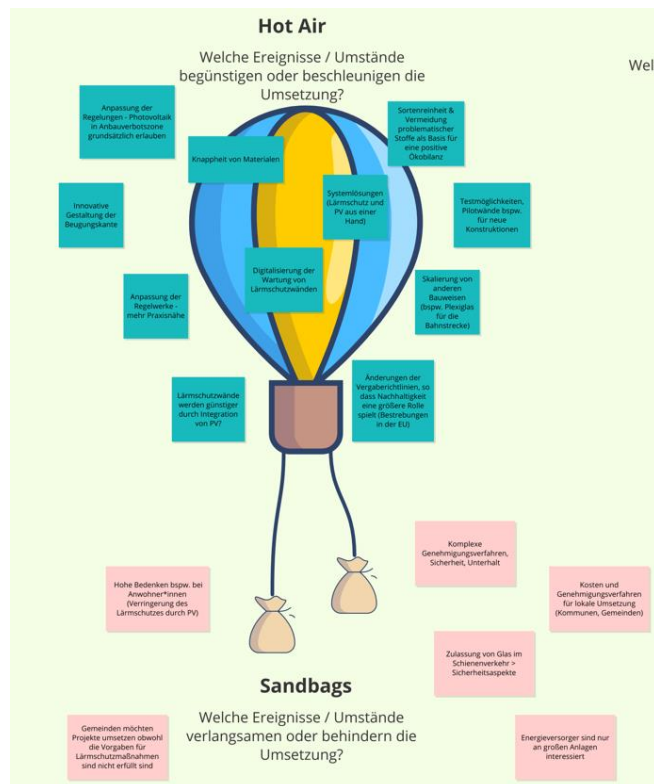


Bild 13: Ergebnisse des ersten Workshops zu begünstigenden und hindernden Umständen für PV an LSW, Ausschnitt des Conceptboards.

Das vollständige Conceptboard wurde als PDF-Datei an alle Teilnehmer des Workshops versendet. Das Protokoll mit Teilnehmerliste, Agenda und stichpunktartiger Zusammenfassung der Diskussionen befindet sich in Anhang 1 zu diesem Bericht. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dem ersten Workshop lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Integration von Photovoltaik an Lärmschutzbauwerken wird sich in der Praxis vor allem an Neubauten umsetzen lassen, da für eine Nachrüstung des Bestands oft die Planunterlagen unzureichend sind und wichtige Informationen zum Beispiel zur Statik fehlen. Neue LSW sind allerdings fast immer hochabsorbierend ausgeschrieben, was dazu führt, dass eine flächenbündige Integration von PV-Modulen nicht oder nur in stark begrenztem Umfang möglich ist, da sonst die schallabsorbierenden Eigenschaften unzureichend wären. Technisch lässt sich das unter anderem durch vor- oder aufgesetzte PV-Module lösen.
- Bei Lärmschutzwänden an Autobahnen gibt es weitreichende rechtliche Unsicherheiten. Betreiber der Verkehrswege und LSW ist die Autobahngesellschaft des Bundes. Diese kann aber den Strom nur eingeschränkt selbst abnehmen und nutzen. Es wäre also notwendig, dass eine andere Instanz dies übernimmt. Die AB-GmbH ist aber für die Sicherheit und den Betrieb der LSW zuständig und muss festgelegte Monitoring-Prozesse zur Instandhaltung durchführen, bei denen sie durch eine PV-Anlage eines gesellschaftsfremden Besitzers beeinträchtigt wäre.
- Es existiert eine Anbauverbotszone gemäß § 9 Abs. 1 FStrG und § 22 Abs. 1 StrG. 40 m längs von Autobahnen, gemessen ab Rand der befestigten Fahrbahn. Innerhalb dieser Zone dürfen keine Bauwerke von Dritten, die nicht zur Bundesfernstraße gehören, errichtet werden, egal wem die Flächen gehören. Ausnahmen können nur unter besonderen Voraussetzungen durch das Fernstraßenbundesamt erteilt werden. Bei Bundes- und Landesstraßen beträgt der Abstand 20 m. Für die Erteilung von Ausnahmen sind hier die Regierungspräsidien zuständig.
- An Bahnstrecken gibt es diesen Interessenkonflikt so nicht, da im Prinzip die komplette Verantwortung bei der Bahn AG liegt. Einzelne technische Hindernisse sind hier die fehlende Zulassung für das Material Glas als Abdeckung der Solarzellen, sowie die wesentlich höhere dynamischen Anforderungen an LSW durch Druck-Sog-Belastungen von vorbeifahrenden Zügen.

4.2 Workshop 2: Technische Umsetzbarkeit

Der zweite Workshop fand am Donnerstag den 19. Mai 2022 von 10:00 bis 12:00 Uhr als online Veranstaltung über MS-Teams statt. Anlass und Ziel des Workshops war, die baulichen und konstruktiven Ausprägungen und Möglichkeiten, sowie die Hürden und das Systempotenzial aus Sicht der Industrie und der Energieversorger praxisnah für diesen klimaneutralen Lärmschutz zu ermitteln. Teilnehmer waren Vertreter folgender Institutionen:

- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
- FUCHS Fertigteilewerke Süd GmbH
- Grünwand GmbH & Co. KG
- Flordesign Wand GmbH
- Virtusol (RUZ-Mineralik)
- R. Kohlauer GmbH
- 4SilenceBV
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Während der Durchführung des Workshops wurde mit Hilfe des online verfügbaren Whiteboards Conceptboard® die wesentlichen Ergebnisse dokumentiert und anschließend zu einem Protokoll zusammengefasst. Bild 14 zeigt Ausschnitte des Conceptboards, wobei positive (Sunny Skies) und negative (Stormy Clouds) Aspekte beim Ausbau von PV an LSW anzeigen. Bild 15 zeigt Umstände, die den Ausbau begünstigen (Hot Air) bzw. behindern (Sandbags).

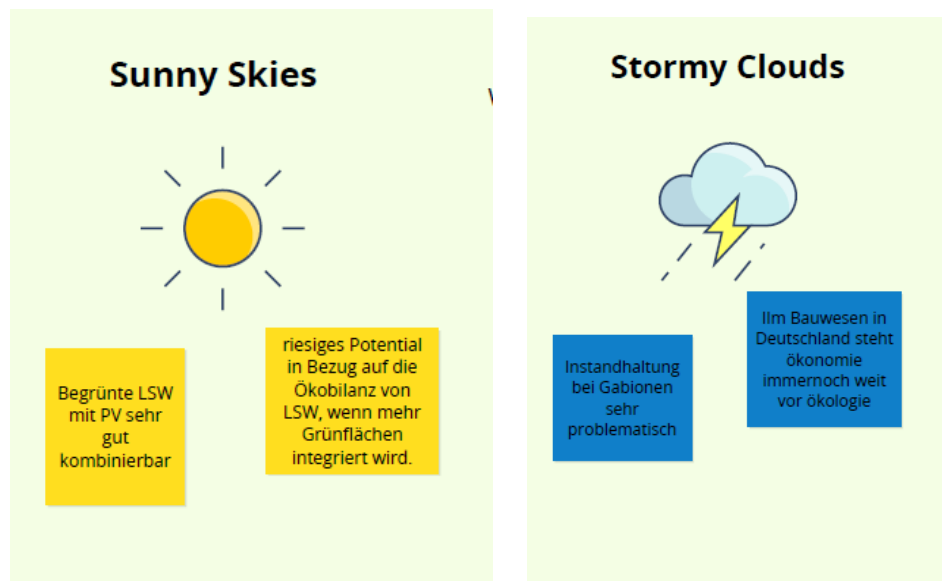


Bild 14:
Ergebnisse des zweiten Workshops, Ausschnitt des Conceptboards.
Links: Positive Aspekte des klimaneutralen Lärmschutzes. Rechts: Nachteile bei flächendeckender Umsetzung.

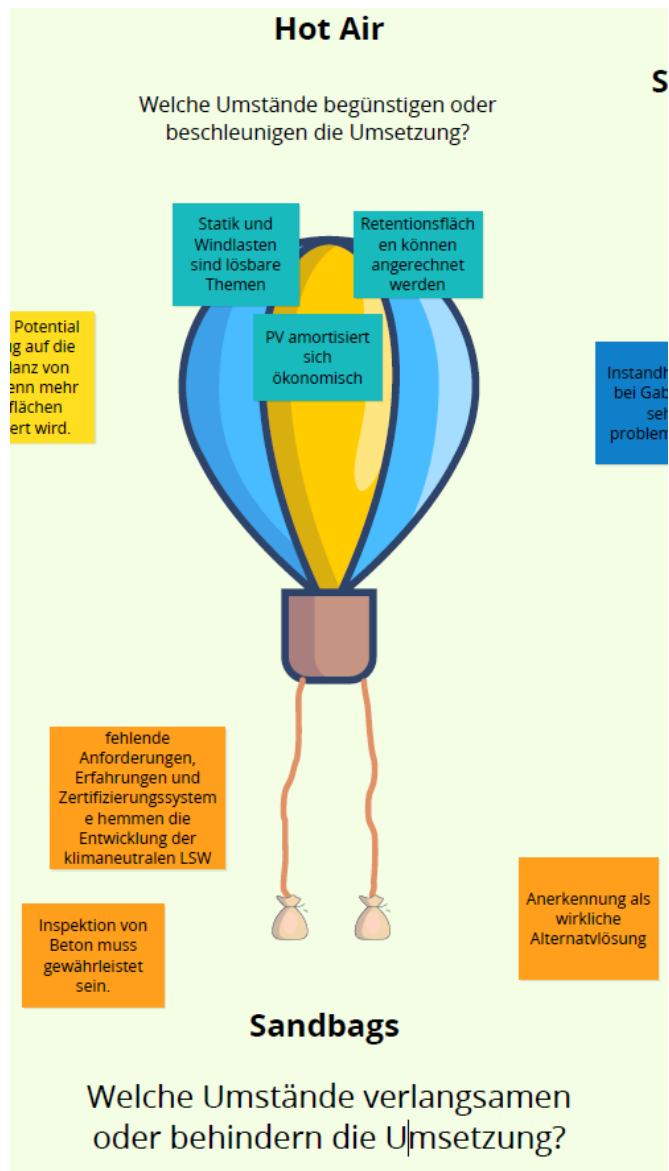


Bild 15: Ergebnisse des zweiten Workshops zu begünstigenden und hindernden Umständen für PV an LSW, Ausschnitt des Conceptboards.

Das vollständige Conceptboard wurde als PDF-Datei an alle Teilnehmer des Workshops versendet. Das Protokoll mit Teilnehmerliste, Agenda und stichpunktartiger Zusammenfassung der Diskussionen befindet sich in Anhang 2 zu diesem Bericht. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dem zweiten Workshop lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Lärmschutzbauwerke aus Beton sind in den meisten Fällen auch für die nachträgliche Ausrüstung mit PV-Anlagen geeignet, auch wenn die Befestigung durch zusätzlich Bohrlöcher mit Hilfe von Dübeln ausgeführt wird.

- Lärmschutzwände aus Blech- oder Kunststoffkassetten sowie Holzlärm-schutzwände werden in der Regel mit einbetonierten Stahlträgern aufge- stellt. Eine Befestigung von PV-Anlagen sollte auch hier bei gleichzeitiger Einhaltung der Anforderungen an Statik und Windlasten möglich sein.
- PV-Anlagen, die als Satteldach auf die LSW aufgesetzt werden, verbes- sern unter Umständen den Schallschutz durch die Vergrößerung der Beu- gungskante und bieten gleichzeitig einen zusätzlichen Schutz vor Witte- rungseinflüssen wie Niederschlag.
- Das Klimapotenzial, wie es in diesem Forschungsprojekt im Fokus steht, kann ein Anreiz sein. In der Praxis stehen jedoch, nach Erfahrungen der Teilnehmer, wirtschaftliche Interessen im Vordergrund.
- Es gibt nach wie vor rechtliche Hürden. Der Willen der Politik und Gesell- schaft zur Umsetzung ist vorhanden, es müssen aber für Anlagenbauer und -betreiber Gesetze und Vorgaben angepasst werden, damit diese bei der Umsetzung keine unvorhersehbaren (rechtlichen) Risiken eingehen.

4.3 Impulsgespräch: Genehmigung und Betrieb

Das Impulsgespräch fand am Donnerstag den 25. Mai 2022 von 11:00 bis 13:00 Uhr als online Veranstaltung über MS-Teams statt. Anlass und Ziel des Gesprächs war, die Möglichkeiten und Hindernisse aus den Workshops zu identifizieren und Vorschläge für eine mögliche Pilotanlage zu erarbeiten. Teilnehmer waren Ver- treter folgender Institutionen:

- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
- Autobahn GmbH des Bundes AdB
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Das Protokoll mit vollständiger Teilnehmerliste und stichpunktartiger Zusammen- fassung der Diskussionen befindet sich in Anhang 3 zu diesem Bericht. Die we- sentlichen Erkenntnisse aus dem Impulsgespräch lassen sich wie folgt zusam- menfassen:

- Die größten Schwierigkeiten bei einer flächendeckenden Umsetzung werden vor allem bei der Rechtslage sowie der verschiedenen Zuständig- keiten gesehen. Für ein Pilotprojekt muss ein Standort gefunden werden, bei dem alle Verantwortlichen zustimmen. Dazu können unter anderem Städte und Gemeinden, Landratsämter, Stromnetzbetreiber, Verkehrsbe- triebe, Anlagenhersteller aber auch Anwohner sein, da letztere vom Lärm, vor dem die LSW schützen soll, betroffen sind. Ein Vorschlag war, die Anwohner in die Abnahme des produzierten Stroms einzubeziehen, um die Akzeptanz in der Bevölkerung zu erhöhen.

- Für die zuständigen Baubehörden und Verantwortliche bei Vergabeprozessen wäre es hilfreich, wenn LSW und PV-Anlage aus einer Hand angeboten wird. Die meisten LSW-Hersteller bieten aktuell nur flächenintegrierte Lösungen aus einer Hand an. Diese eignen sich nicht zum Nachrüsten und haben im Neubau nicht die notwendige Schallabsorption.

4.4 Fazit

Die meisten identifizierten technischen Probleme sind lösbar. So ist z. B. die Statik der meisten LSW-Konstruktionen ausreichend dimensioniert, um auch nachträglich PV-Anlagen daran zu befestigen. Trotzdem werden LSW mit PV in der Praxis aktuell so gut wie gar nicht umgesetzt.

Die Gründe dafür sind organisatorischer und gesetzlicher Art. So werden z. B. Institutionen zu Energieerzeugern, wenn sie selbst eine PV-Anlage in Betrieb nehmen. Betreiber von Verkehrswegen mit Lärmschutzwänden, wie die Autobahngesellschaft des Bundes, haben kein Interesse daran, rechtlich zum Energieerzeuger zu werden. Wenn eine fremde Institution die PV-Anlage an einer LSW betreibt, kann das zu unvorhergesehenen Interessenkonflikten z. B. bei Instandhaltungsarbeiten führen. Bei Bundes-, Land-, und Kreisstraßen existieren viele verantwortliche Behörden, die sich über Errichtung und Betrieb der Anlagen einig sein müssen.

Energieerzeugende Unternehmen sind eher an kompakten Flächen für den Betrieb von PV-Anlagen interessiert. Das Klimapotenzial mag zwar ein Anreiz für die Umsetzung sein, ist aber derzeit wirtschaftlichen Interessen untergeordnet.

Aus diesen Gründen soll zusammen mit dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg und der Stadt Stuttgart eine Pilotanlage errichtet werden. In diesem Projekt werden Möglichkeiten und Hindernisse identifiziert und anschließend auf Gesetzgeberebene adressiert.

5 Akustische Messungen – Durchführung

5.1 Schallabsorption im Hallraum

Die Nachweisverfahren für die Schallabsorption von LSW an Straßen und Schienen beruhen auf den Messverfahren nach DIN EN ISO 354 in einen akustischen Diffusfeld. Entsprechende Eigenschaften bietet der Hallraum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP in Stuttgart. Dabei wird die Lärmschutzwand mit der absorbierenden Seite (die der Straße/Lärmquelle zugewandten Seite) nach oben auf dem Hallraumboden gelegt. Gemessen wird die Nachhallzeit in Terzen von 50 bis 5000 Hz jeweils im leeren Hallraum und anschließend im Hallraum mit Prüfobjekt. Durch die Differenzen der Nachhallzeiten kann die äquivalente Absorptionsfläche des Prüfobjekts ermittelt werden. Teilt man das Ergebnis durch die sichtbare Oberfläche der LSW, erhält man den frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrad der Konstruktion. Die Werte können mit Hilfe des standardisierten Verkehrslärmspektrums in die Einzahlangabe zur Schallabsorption nach DIN EN

1793-1 DL_a (bis 2017) bzw. $DL_{\alpha,NRD}$ umgerechnet und mit den Anforderungen aus ZTV-Lsw 06 verglichen werden.

Damit der Einfluss durch auf- oder vorgesetzte PV-Module vor einer hochabsorbierenden Wand messtechnisch ermittelt werden kann, muss zunächst ein Muster einer solchen LSW als Referenz erstellt werden. Hierzu wurden 50 mm dicke Platten eines schallabsorbierenden Materials auf dem Hallraumboden verlegt und gemäß der Messnorm mit einem schallreflektierenden Rahmen umrandet. Die Abmessungen der Musterfläche betragen 3 m x 4 m. In der Praxis bestehen Lärmschutzwände meist aus einem vergleichbaren schallabsorbierenden Material wie z.B. Mineralwolle mit einer zusätzlichen Abdeckung aus Vlies und Lochblech. Bei der Referenzmessung wurde auf die Abdeckung verzichtet, was allerdings einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Aussagekraft der Messergebnisse hat. Da nicht der Absolutwert, sondern die Differenz durch die Abdeckung durch PV-Module untersucht werden soll, sind durch die Vereinfachung keine Interpretationsfehler zu erwarten.

Bild 16 zeigt ein Foto vom Messaufbau im Hallraum (links) und die gemessene Schallabsorption im Vergleich zu den Anforderungen (rechts). Der Einzahlwert der Schallabsorption beträgt $DL_a = 9$ dB und entspricht damit den Anforderungen an eine hochabsorbierende LSW. Die Sollkurve nach DB RIL 804.5501 wird mit Ausnahme der 125 Hz Oktave im gesamten Frequenzbereich eingehalten.

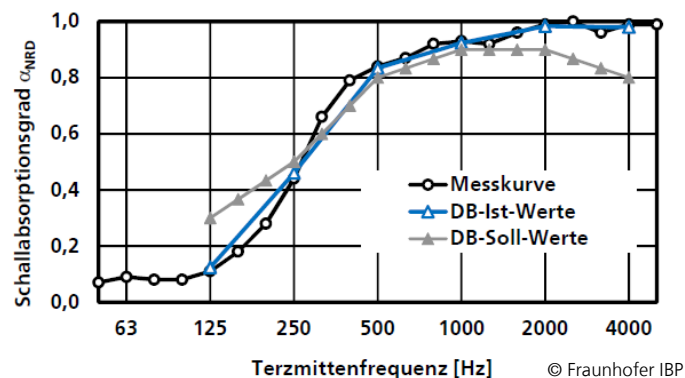
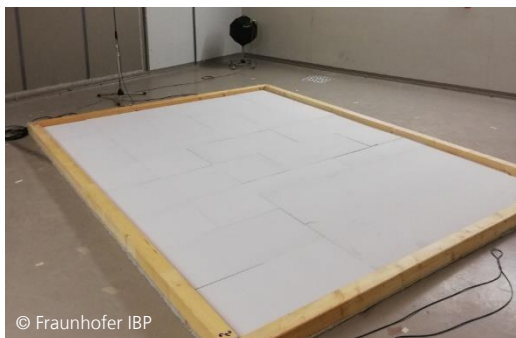


Bild 16:

Muster einer schallabsorbierenden LSW (links) und gemessene Schallabsorption im Vergleich zu den Anforderungen nach DB RIL 804.5501 (rechts).

Anschließend wurde ein Teil der schallabsorbierenden Fläche flächenbündig mit einem PV-Modul belegt und die Messung wiederholt. Der Anteil der belegten Fläche betrug 12%. Bild 17 zeigt ein Foto vom Messaufbau im Hallraum (links) und die gemessene Schallabsorption im Vergleich zu den Anforderungen (rechts). Der Einzahlwert der Schallabsorption beträgt $DL_a = 7$ dB und entspricht damit anstelle einer hochabsorbierenden nur noch einer absorbierenden LSW.

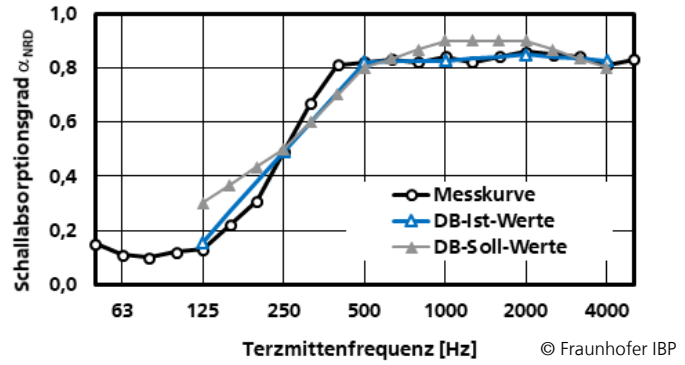


Bild 17:
Links: Muster einer schallabsorbierenden Lärmschutzwand. Rechts: gemessene Schallabsorption im Vergleich zu den Anforderungen nach DB RIL 804.5501.

Im nächsten Schritt wurde, wie in Bild 18 zu sehen, die Anzahl der PV-Module, die auf die absorbierende Fläche lose aufgelegt waren, schrittweise erhöht.

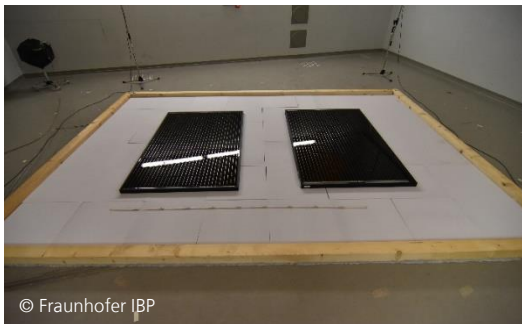


Bild 18:
Muster einer schallabsorbierenden LSW aus absorbierender Fläche. Links: mit 2 PV-Modulen entsprechend einer Belegung von 24%. Rechts: mit 3 PV-Modulen entsprechend einer Belegung von 36%.

Die Ergebnisse aller Messungen des Schallabsorptionsgrades der Musterfläche eine LSW mit unterschiedlicher Belegung mit PV-Modulen, sind in folgendem Bild 19 einander gegenübergestellt.

Der Einzahlwert der Schallabsorption beträgt $DL_a = 5$ dB bei Belegung von 24 % der Fläche und 4 dB bei Belegung von 36 % der Fläche. Es ist also davon auszugehen, dass einer normalen hochabsorbierenden LSW ab einer flächenbündigen Belegung mit reflektierenden PV-Modulen von ca. 40 % der Gesamtfläche nach ZTV-Lsw 06 als reflektierend eingestuft würde.

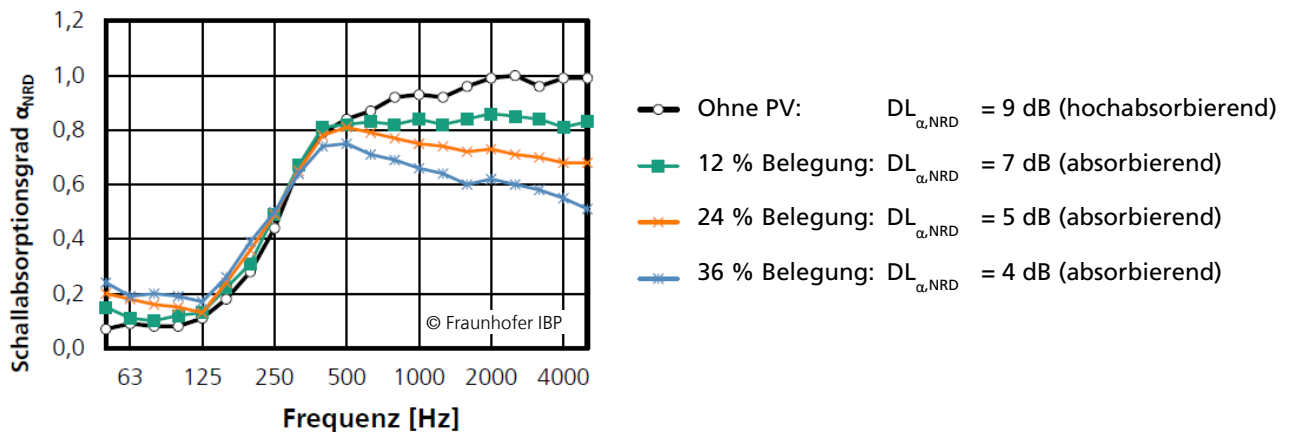


Bild 19:

Übersicht der Messergebnisse der Schallabsorption der Lärmschutzwand bei unterschiedlicher flächenbündiger Belegung mit PV-Modulen von 12% (1 Modul), 24% (2 Module) und 36% (3 Module). In der Legende sind die Einzahlwerte $DL_{\alpha, NRD}$ und die daraus resultierende Klassifizierung (in Klammern) angegeben.

Es besteht die Möglichkeit, dass Lärmschutzwände im Ausgangszustand eine höhere Schallabsorption haben, wodurch sich der Flächenanteil der möglichen Belegung bis zur Abstufung in der Klassifizierung von hochabsorbierend nach absorbierend erhöhen könnte. Allerdings ist in Bild 19 gut zu erkennen, dass sich die Schallabsorption der LSW durch die Abdeckung mit PV-Modulen vor allem hochfrequent deutlich verringert, was maßgeblichen Einfluss auf die Bewertung der Konstruktion hat. Die Schallabsorption der LSW ohne PV (schwarze Kurve) ist im Frequenzbereich von 500 Hz aufwärts allerdings mit Werten von 0,9 - 1,0 bereits nahezu maximal, sodass eine grundsätzliche Verbesserung der Absorptionseigenschaften nur noch tieffrequent zu erreichen wäre. Das bedeutet, dass auch eine LSW, die im Ausgangszustand ohne verdeckende PV-Module ein optimales DL_a von > 10 dB hat, durch das Verdecken oder Aussparen der Absorptionsschicht eine zu geringe Schallabsorption im Frequenzbereich oberhalb von 500 Hz hätte, um noch als hochabsorbierend eingestuft zu werden.

5.1.1 Einfluss periodischer Anordnung von PV-Modulen

Aus früheren Untersuchungen zur Anordnung von Schallabsorbern in schallharten Oberflächen [14] ist bekannt, dass die gemessene Schallabsorption bei gleichbleibender anteiliger Flächenbelegung alleine durch Optimierung der systematischen Anordnung von schallharten und absorbierenden Flächen verbessert werden kann. In einem weiteren Versuch wurde daher untersucht, ob eine Segmentierung und systematische Anordnung der PV-Module einen positiven Einfluss auf die gemessene Schallabsorption haben kann.

Da es nicht möglich war die vorhandenen PV-Module zerstörungsfrei zu segmentieren, wurden ersatzweise Module aus schallreflektierenden Spanplatten verwendet, die beliebig geteilt werden konnten und denselben Schallreflexionsgrad wie die echten PV-Module hatten. Es wurden zunächst zwei Spanplattenmodule in original PV-Modulgröße erstellt, der Einfluss auf den Schallabsorptionsgrad der LSW im Hallraum gemessen und mit der Messung der Originalmodule verglichen.

Der Unterschied der Messergebnisse war weit unterhalb der Messtoleranz. Es kann also davon ausgegangen werden, dass weitere Messungen mit Spanplattenmodulen dieselben Ergebnisse liefern, wie echte PV-Module.

Anschließend wurden die Spanplattenmodule in der Mitte durchgesägt und die nun vier halbierten Module einmal gleichmäßig und einmal konzentriert auf der Fläche der Lärmschutzwand verteilt. Bild 20 zeigt ein Foto vom Messaufbau im Hallraum mit den segmentierten, reflektierenden Spanplatten bei gleichbleibender Flächenbelegung von jeweils 24% der Gesamtfläche, was zwei der originalen PV-Module auf 12 m² Wandfläche entspricht.

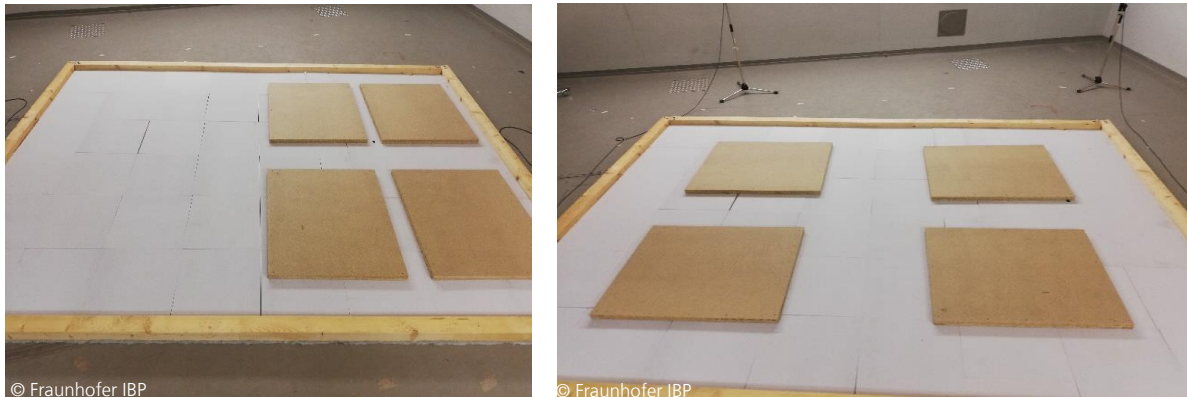


Bild 20: Messaufbau LSW mit Ersatzmodulen aus Spanplatten bei verschiedenen Anordnungen, Links: konzentriert; Rechts: gleichmäßig verteilt.

Anschließend wurden die Spanplattenmodule noch einmal halbiert und die nun acht Module mit der gleichen Fläche einmal gleichmäßig und einmal konzentriert auf der Fläche der Lärmschutzwand verteilt.

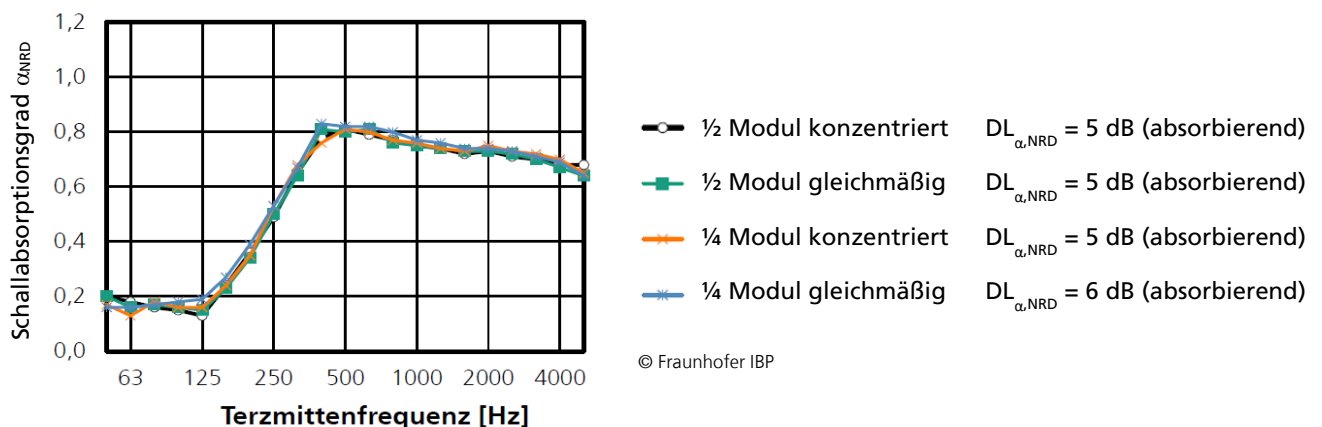


Bild 21: Vergleich der Messergebnisse der Schallabsorption einer grundsätzlich hochabsorbierenden Lärmschutzwand nach Belegung von 24% der Fläche mit verschiedenen Anordnungen der PV-Module auf der Absorberfläche.

Grundsätzlich ist in Bild 21 zu erkennen, dass die Unterschiede der Schallabsorption sehr gering sind. Tendenziell wirkt sich, wie aufgrund der Erkenntnisse aus [14] zu erwarten war, eine gleichmäßige Verteilung kleinerer Module tendenziell positiv auf die Schallabsorption der Gesamtläche aus. Die Abweichungen liegen allerdings innerhalb der Messtoleranz von Labormessungen nach DIN EN ISO 354. Da immer derselbe Messaufbau verwendet wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Messunsicherheiten bei dieser Untersuchung deutlich geringer sind, als bei Messungen nach Norm. Trotzdem steht die Summe der Verbesserungen durch die Maßnahme in der Praxis vermutlich nicht in Relation zum Aufwand.

5.2 Schallabsorption im gerichteten Schallfeld

Beim Messverfahren der Schallabsorption nach DIN EN 1793-1 in diffusen Schallfeldern wird die Nachhallzeit im leeren Raum und im Raum mit Prüfobjekt gemessen und daraus die äquivalente Schallabsorptionsfläche des Prüfobjekts ermittelt. Bei vorgesetzten Konstruktionen ist unabhängig vom Winkel oder der Art der Befestigung die äquivalente Schallabsorptionsfläche des Prüfobjekts nahezu unverändert. Trotzdem ist davon auszugehen, dass diese Parameter einen Einfluss auf den Schalldruckpegel auf der gegenüberliegenden Seite der Wand und der Schallquelle haben. Allerdings wird dieser Einfluss durch Reflexionen verursacht und kann daher mit dem Verfahren nach DIN EN 1793-1 nicht ermittelt werden.

Mit dem Verfahren nach DIN EN 1793-5 existiert praktisch ein zweites zugelassenes Verfahren, um die Schallabsorptionseigenschaften von Lärmschutzwänden zu messen. Ursprünglich wurde das Verfahren entwickelt, um zu überprüfen, ob die Schallabsorption von ausgeführten LSW in der Praxis bzw. »in-Situ« der entspricht, die am 10-12 m² kleinen Ausschnitt im Labor gemessen wurde. Es wird dabei davon ausgegangen, dass das Prüfobjekt auf einem ebenen, reflektierenden Boden steht und die Umgebung schallabsorbierend (reflexionsfreie Schallausbreitung in vertikaler und horizontaler Richtung) ist. Genau diese Bedingungen bietet der reflexionsarme Halbraum (akustischer Halbfreifeldraum) des Fraunhofer IBP in Stuttgart.

Beim Messverfahren nach DIN EN 1793-5 (»Adrienne-Verfahren«) wird eine Anordnung von insgesamt 9 Mikrofonen (Mikrofonarray) in Abstand zur Lärmschutzwand positioniert und bei Geräuschanregung mit einem speziellen Lautsprecher der von der Wand reflektierte Schallanteil gemessen. Im Vorfeld der Untersuchungen ist jedoch nicht sichergestellt, ob das Verfahren geeignet ist, um die Schallabsorption einer Kombination aus hochabsorbierenden und reflektierenden Flächen oder strukturierten Flächen fehlerfrei zu vermessen.

Zur Verifizierung wird daher zunächst ein 4 x 4 m großer Ausschnitt einer reflektierenden Wand im Halbfreifeldraum aufgebaut und jeweils der Reflexionsindex RI nach dem Adrienne-Verfahren gemessen. Der Schallabsorptionsgrad α ist als Kehrwert des Reflexionsindex RI definiert und kann im Anschluss daraus berechnet werden. Die Ergebnisse können anschließend mit den Ergebnissen aus dem Hallraum verglichen werden. Bild 22 zeigt links den Messaufbau und rechts die

frequenzabhängigen Messergebnisse. Im Diagramm ist zu erkennen, dass die Kurvenverläufe der Schallabsorption erst ab ca. 1000 Hz vergleichbare Werte liefern. Unterhalb von 1000 Hz ergeben sich durch das Messverfahren nach DIN EN 1793-5 deutlich niedrigere Werte, die auch zu einer um 3 dB ungünstigeren Beurteilung durch den Wert $DL_{\alpha, NRD}$ führen. Gemäß der angepassten Beurteilung nach RLS-19 wäre der Aufbau dennoch als stark reflexionsmindernd eingestuft.

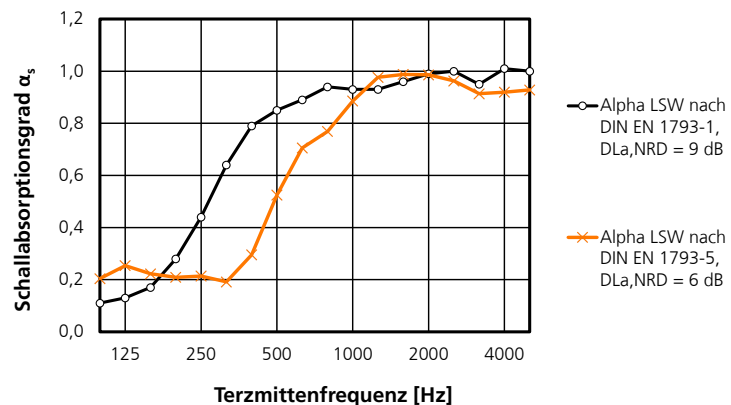
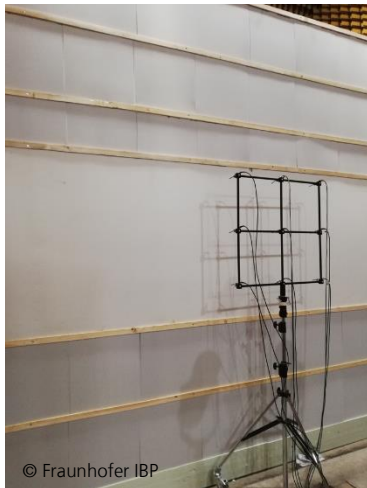


Bild 22:

Links: Messaufbau einer 4 x 4 m großen, hochabsorbierenden Lärmschutzwand mit Mikrofonarray im Halbfreifelraum nach DIN EN 1793-5. Rechts: Vergleich der Messergebnisse mit dem Verfahren nach DIN EN 1793-1 im Hallraum.

Anschließend wurde der Messaufbau aus dem Hallraum mit teilflächiger Belegung der hochabsorbierenden Lärmschutzwand mit PV-Modulen (bzw. Spanplatten) im reflexionsarmen Halbraum nachgebildet und ebenfalls die Messergebnisse miteinander verglichen. Bild 23 zeigt links den Messaufbau und rechts die Ergebnisse in Terzen nach DIN EN 1793-1 und 1793-5 im Vergleich. Auch hier sind die Kurvenverläufe ab ca. 1000 Hz ähnlich. Unterhalb von 1000 Hz verläuft die Kurve, die nach DIN EN 1793-5 ermittelt wurde, deutlich niedriger, wodurch die Einzulangabe $DL_{\alpha, NRD}$ 2 dB geringer ausfällt. Nach ZTV-Lsw 06 würde der Aufbau als absorbierend, nach RLS-19 als reflexionsmindernd eingestuft.

Mit Kenntnis der deutlich unterschiedlichen Messergebnisse durch die beiden Messverfahren an vergleichbaren Prüfobjekten, werden im Anschluss Messungen an LSW mit vor- und aufgesetzten PV-Modulen durchgeführt. Auch hier kamen zum Teil Ersatzmodule aus Spanplatten zum Einsatz, da ja nun bekannt war, dass die Reflexionseigenschaften mit PV-Modulen vergleichbar sind, sie sich aber einfacher anpassen und befestigen lassen. Bild 24 zeigt links den Messaufbau und rechts die Terzwerte der Schallabsorption.

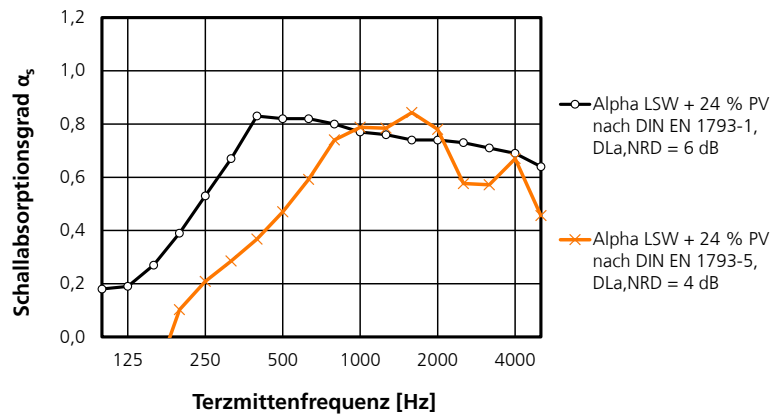


Bild 23:
Links: Messaufbau einer 4 x 4 m großen, hochabsorbierenden Lärmschutzwand mit vier PV-Modulen (24 % Flächenbelegung) mit Mikrofonarray im Halbfreinfeldraum nach DIN EN 1793-5. Rechts: Vergleich der Messergebnisse mit dem Verfahren nach DIN EN 1793-1 im Hallraum.

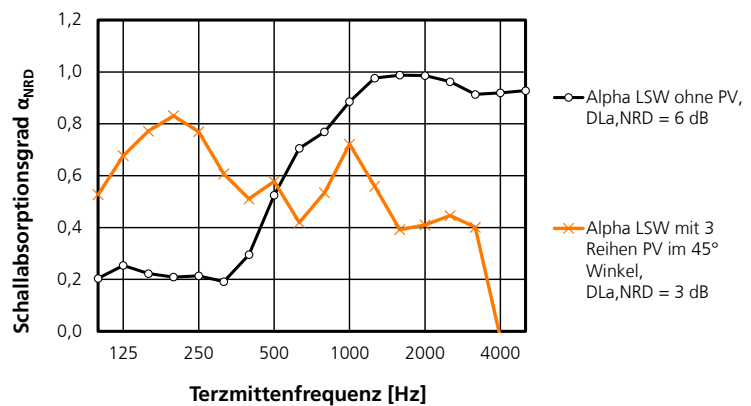


Bild 24:
Links: Messaufbau der LSW mit drei Reihen von PV-Modulen im Halbfreinfeldraum nach DIN EN 1793-5. Rechts: Vergleich der Messergebnisse mit denen der LSW ohne PV.

Obwohl der Anteil an schallabsorbierendem Material nicht verändert wurde und im Vergleich zur den flächenintegrierten PV-Modulen wenig Absorberfläche verdeckt wurde, zeigt die Messkurve einen nicht erwartungsgemäßen Verlauf, der ab 4000 Hz aufwärts gegen null geht. Demgegenüber stehen außergewöhnlich hohe Messwerte bei tiefen Frequenzen. Der Aufbau wäre nach RLS-19 als nicht reflexionsmindernd einzustufen. Das Ergebnis lässt sich physikalisch kaum erklären. Vermutlich sind die Mikrofone so nah an den reflektierenden Oberflächen positioniert, dass die Reflexionen im hohen Frequenzbereich überbewertet werden. Die Mikrofonpositionen sind allerdings durch das Messverfahren vorgege-

ben und sollten nicht verändert werden. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass das Messverfahren nach DIN EN 1793-5 nicht geeignet ist, um die Schallabsorption derart strukturierter LSW zuverlässig zu ermitteln und damit Produktentwicklung zu betreiben. Aufgrund der Ergebnisse ist zu vermuten, dass das Verfahren auch nicht geeignet ist, um Prototypen echter LSW mit PV Modulen in-Situ zu überprüfen.

Es wäre wünschenswert gewesen, ein Norm-Messverfahren für die Optimierung von LSW mit vor- oder aufgesetzten PV-Anlagen verwenden zu können. Da sich das Verfahren für diese Aufgabe als ungeeignet erwiesen hat, wurde ein alternatives Verfahren entwickelt.

5.3 Messungen mit Vergleichsschallquelle

Da die gängigen Messverfahren zur Bestimmung der Schallabsorption nicht geeignet sind um den Effekt durch vor- oder aufgesetzte PV-Module im 45° Winkel zu ermitteln (vgl. Kapitel 5.2), wurde der Schalldruckpegel als Summe des Direktschalls und des reflektierten Schalls auf der gegenüberliegenden Seite der LSW direkt gemessen und die Ergebnisse anschließend mit einer rechnerischen Simulation verifiziert. Als Schallquelle diente eine sogenannte Vergleichsschallquelle, welche eine konstante Schallenergie mit bekannter, konstanter Schallleistung abstrahlt. Diese Schallquelle wurde, vergleichbar mit einer Straßenlärmsituation, im Halbfreifeldraum in 3 m Abstand vor der Wand auf dem Boden platziert. In weiteren 5 m Abstand von der Schallquelle wurden Messmikrofone in 1,5 m, 3,0 m und 5,0 m Höhe über dem Boden platziert und der Schalldruckpegel in Terzen von 50 bis 5000 Hz gemessen. Die Messung wurde einmal mit der hochabsorbierenden Wand durchgeführt und anschließend mit der Wand mit zusätzlich 3 Reihen PV Module im 45° Winkel (Shed-Konstruktion, vgl. Bild 24) wiederholt. Der Messaufbau ist schematisch in Bild 25 dargestellt.

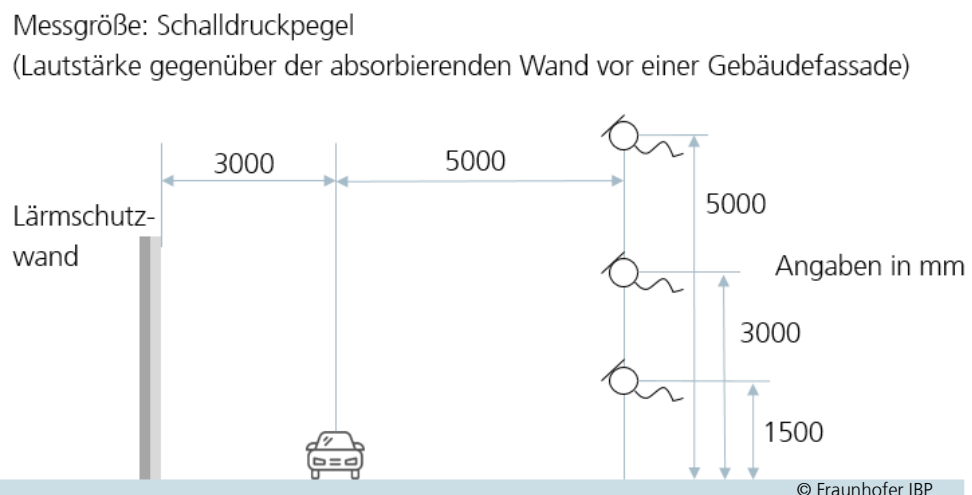


Bild 25:
Messaufbau zur Bestimmung des Schalldruckpegels gegenüber der LSW im Halbfreifeldraum.

In Bild 26 sind die Ergebnisse gegenübergestellt. Zum Vergleich ist jeweils der frequenzabhängige Schalldruckpegel ohne (schwarz) und mit PV-Modulen (grün) dargestellt. Es ist an den Kurvenverläufen zu erkennen, dass der Schalldruckpegel bei 1,5 m Höhe bei der Variante mit PV-Modulen niedriger ist, als bei der ursprünglichen hochabsorbierenden LSW. Bei einer Höhe von 3,0 m verlaufen die Kurven ungefähr gleich und bei einer Mikrofonhöhe von 5,0 m ist der Schalldruckpegel mit PV-Modulen höher als ohne. Betrachtet man die Summenschalldruckpegel, kommt es bei 1,5 m Höhe zu einer Reduzierung von 1,1 dB, bei 3,0 m Höhe zu 0,4 dB und bei 5,0 m Höhe zu einer Erhöhung von 0,8 dB.

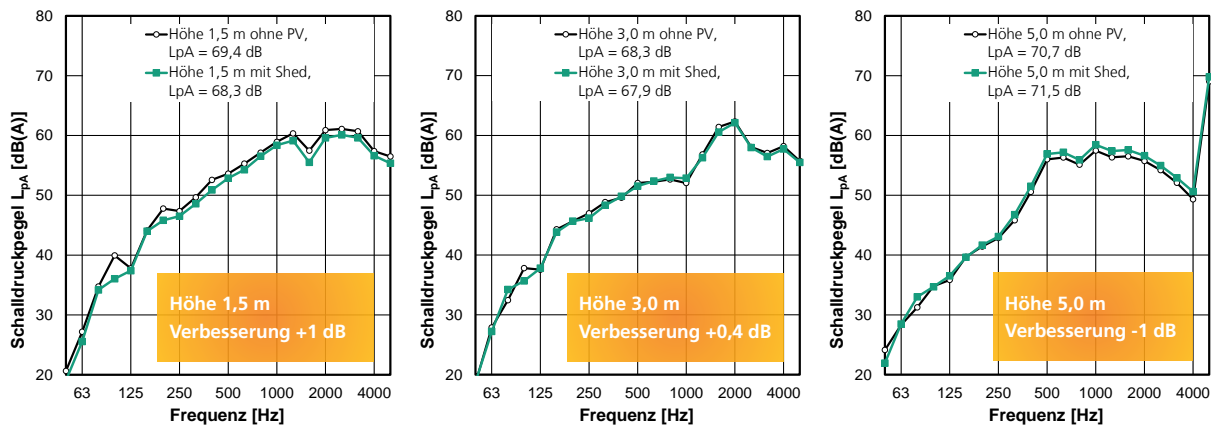


Bild 26: Vergleich Messergebnisse der Schalldruckpegel gegenüber der LSW mit und ohne PV-Module (Shed-Konstruktion), bei verschiedenen Mikrofonhöhen über dem Boden; links: 1,5 m; Mitte: 3,0 m; rechts: 5,0 m.

Daraus lässt sich folgern, dass die reflektierenden PV-Module, wenn sie in einem Winkel von 45° vor einer hochschallabsorbierenden Wand montiert werden, Schall von einer bodennahen Quelle von ihrer Unterseite in die schallabsorbierende Schicht und von ihrer Oberseite in Richtung »Himmel« lenken. Dadurch kommt es, je nach Entfernung von der Wand, bis zu einer bestimmten Höhe zu einer Verbesserung der Lärmsituation. Diese Verbesserung kann mit den genormten Prüfverfahren zur Schallabsorption von Lärmschutzwänden nicht ermittelt und nur direkt als sogenannte Einfügungsdämpfung mit einer konstanten Schallquelle gemessen werden. Oben beschriebenes Verfahren kann später auch zur Überprüfung der qualitativen Wirksamkeit von absorbierenden Lärmschutzwänden in der Praxis angewendet werden. Vor allem wenn sich gegenüber von Lärmschutzwänden schutzbedürftige Räumlichkeiten in Gebäuden befinden, kann so die Qualität der Lärmschutzmaßnahme beurteilt werden.

5.4 Simulationen des Schalldruckpegels

Das in Abschnitt 5.3 beschriebene Messverfahren ist allerdings nicht genormt und sollte daher für diesen Anwendungsfall validiert werden. Hierzu eignet sich eine numerische Simulation der Situation mit einem Computerprogramm zur Berechnung der Schallausbreitung. Für die folgenden Untersuchungen wurde die Finite-Elemente-Software für Multiphysik-Simulation Comsol® verwendet, da die

bekanntem Programme zur (normgerechten) Schallimmissionsprognose diese Möglichkeit nicht bieten.

Zunächst wurde eine Simulationsumgebung vergleichbar mit dem Messaufbau nach Bild 25 erzeugt. Für die Schallemission wurde eine Punktschallquelle in 0,5 m über dem Boden verwendet, welcher das standardisierte Verkehrslärmspektrum aus DIN EN 1793-3 [15] zugewiesen wurde. Da dieses Spektrum auf einen Summenpegel von 0 dB normiert ist, wurde der Summenpegel der Schallleistung bei gleichbleibender spektraler Verteilung auf 100 dB angehoben, was in etwa der Schallemission einer durchschnittlich befahrenen Bundesstraße entspricht. Da auch bei dieser Untersuchung lediglich Pegelunterschiede infolge der unterschiedlichen Maßnahmen bei gleichbleibender Schallquelle entscheidend sind, hat der Absolutwert der Schallemission keinen Einfluss auf die Interpretation der Ergebnisse.

Zusätzlich wurde bei der Simulation noch ein Gebäude auf der gegenüberliegenden Seite der LSW integriert, um die Situation so realistisch wie möglich zu gestalten. Anschließend wurden drei Simulationen durchgeführt, bei denen jeweils nur die Oberfläche der LSW variiert wurde:

1. hochabsorbierende Lärmschutzwand,
2. hochabsorbierende LSW mit 50% flächenintegrierter Belegung mit PV-Modulen,
3. hochabsorbierende LSW mit 3 Reihen PV-Module im 45° Winkel als Shed-Konstruktion.

Die Ergebnisse der Simulationen sind in den Bildern 27 – 29 dargestellt. Zusätzlich zu den farblich gekennzeichneten simulierten Schalldruckpegeln im Bereich zwischen der LSW und dem Gebäude wurde der Schalldruckpegel an einem Referenzpunkt vor der Gebäudefassade ausgegeben. Als maßgebend für die schallabsorbierende Wirkung wird der Schalldruckpegel an diesem Referenzpunkt betrachtet. Er beträgt für die hochabsorbierende Wand $L_{pA} = 83,2$ dB(A), für die Wand mit 50 % flächenintegrierter PV $L_{pA} = 86,5$ dB(A) und für die Wand mit der Shed-Konstruktion $L_{pA} = 82,6$ dB(A). Während es bei flächenintegrierter Belegung mit PV-Modulen zu einem ca. 3 dB höheren Schalldruckpegel infolge des zusätzlich reflektierten Schalleintrags (Spiegelschallquelle) kommt, tritt bei der Shed-Konstruktion ein ca. 0,6 dB geringerer Schalldruckpegel an der Gebäudefassade auf. Das Ergebnis der Simulationsberechnung bestätigt demnach die Ergebnisse der Messungen in Abschnitt 5.3, wonach durch eine Shed-Konstruktion die absorbierenden Eigenschaften der LSW zumindest erhalten bleiben, wenn nicht gar verbessert werden können.

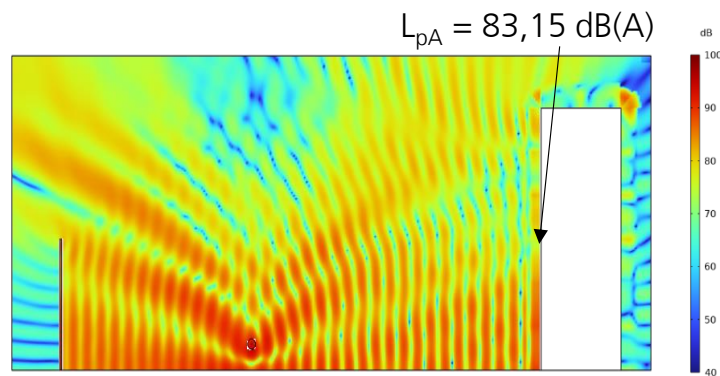


Bild 27:
Simulation der Schalldruckpegelverteilung zwischen einer hochabsorbierenden LSW (links im Bild) und einer schallharten Gebäudefassade (weißes Rechteck im Bild rechts) und Angabe des Schalldruckpegels L_{pA} am Gebäude.

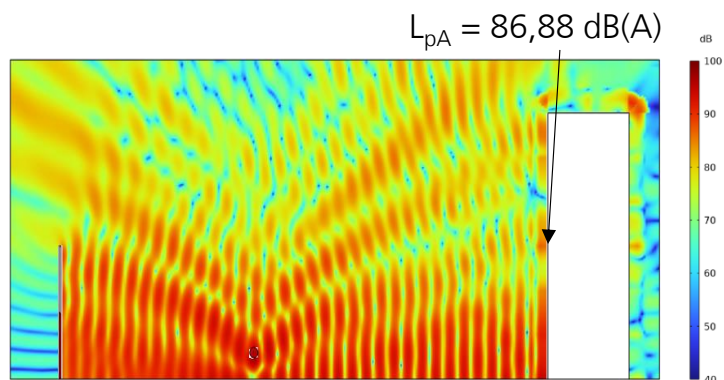


Bild 28:
Simulation der Schalldruckpegelverteilung zwischen einer hochabsorbierenden LSW mit 50% flächenintegrierter Belegung mit PV-Modulen (links im Bild) und einer schallharten Gebäudefassade (weißes Rechteck im Bild rechts) und Angabe des Schalldruckpegels L_{pA} am Gebäude.

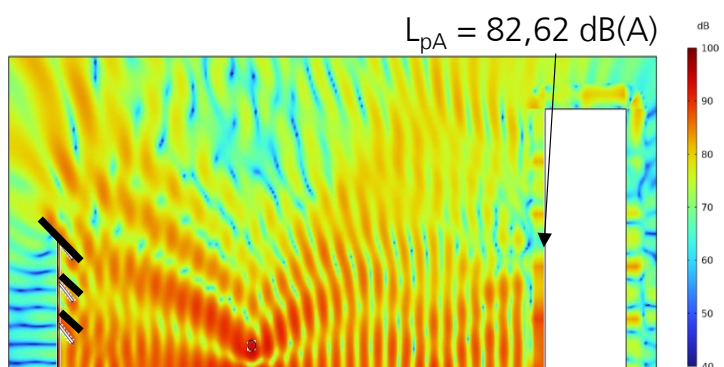


Bild 29:
Simulation der Schalldruckpegelverteilung zwischen einer hochabsorbierenden LSW mit 3 Reihen PV-Module im 45° Winkel (Shed-Konstruktion) und einer schallharten Gebäudefassade (weißes Rechteck im Bild rechts) und Angabe des Schalldruckpegels L_{pA} am Gebäude.

5.5 Fazit

Bei flächenintegrierter Montage von PV-Modulen an Lärmschutzwänden belegen oder verdecken diese Flächenbereiche, die für die Schallabsorption notwendig sind. In den meisten Fällen führt das bereits ab geringen Belegungen von 10% der Fläche dazu, dass hochabsorbierende LSW nur noch als absorbierend nach ZTV-Lsw 06 gelten würden und auch die Anforderungen an die DB Richtlinie 804.5501 nicht mehr eingehalten würden. Ab Belegungsrate von ca. 40% ist damit zu rechnen, dass die LSW nur noch als reflektierend eingestuft wird. Grundsätzlich bringt eine gleichmäßige Verteilung kleinerer Module über der Fläche der Wand im diffusen Schallfeld Vorteile für die Schallabsorption gegenüber einer konzentrierten Anordnung. Die Vorteile sind allerdings so gering, dass die nutzbaren Flächenanteile bei gleichbleibender akustischer Einstufung kaum gesteigert werden können.

Demgegenüber wurde experimentell im Labor und per Computersimulation nachgewiesen, dass vor- bzw. aufgesetzte Konstruktionen von PV-Anlagen, die reihenweise untereinander im 45° Winkel angebracht werden, sogar positiven Einfluss auf den Schallschutz haben können. Leider lässt sich dieser Effekt nicht mit den genormten Messverfahren für die Ermittlung der schallabsorbierenden Eigenschaften von LSW messtechnisch nachweisen. Es wurde aber ein Messverfahren gezeigt und validiert, mit dem dieser Nachweis im Labor und theoretisch auch in der Praxis möglich ist.

Die konstruktiven Anforderungen und auch der Platzbedarf ist bei der Shed-Konstruktion größer als bei flächenintegrierter Installation. Demgegenüber steht eine deutlich bessere Akustik und je nach Ausrichtung auch eine höhere Stromerzeugungsrate.

6 Durchführung und Ergebnisse der Ökobilanzierung

6.1 Vorgesehener Verwendungszweck

Die praktische Anwendung der Ökobilanzierung orientiert sich an den Vorgaben der DIN EN 15978 [16]. Es wird eine vereinfachte Ökobilanz durchgeführt. Die betrachteten Lärmschutzwände folgen der bereits beschriebenen und nachfolgenden noch einmal aufgeführten Grundkonstruktion, wobei die eigentlichen für den Lärmschutz verwendeten Elemente aus Beton, mit Holz oder mit Aluminium gefertigt sind. Die hier durchgeführte Ökobilanz bedient sich im Wesentlichen der Daten für Gebäude, so dass diese Ansätze aus dem Gebäudebereich für die Bilanz der LSW übernommen werden. Als funktionelle Einheit hat sich im Gebäudekontext die Bilanzierung bezogen auf einen m^2 NRF gem. DIN 277 für einen Zeitraum von einem Jahr etabliert. Die führenden Zertifizierungssysteme in Deutschland, das DGNB-System und das BNB-System, haben diesen Ansatz beispielsweise adaptiert [18, 19]. Aus diesem Grund werden auch die Ergebnisse der vorliegenden Ökobilanz auf einen m^2 NRF in einem Jahr bezogen.

6.2 Systemgrenzen

6.2.1 Gebäudebestandteile

Das Bilanzierungsmodell setzt sich aus den Schichtaufbauten der einzelnen Bauteile der Lärmschutzwand zusammen:

- Bohrpfahlgründung
- Betonsockel
- Stahlträger
- Lärmschutzwand, jeweils Beton, Holz oder Aluminiumelemente
- PV-Modul

6.2.2 Lebenszyklusphasen

Die Systemgrenze für die Ökobilanz folgt den empfohlenen Lebenszyklusphasen für die Ökobilanz, wie schematisch bereits in Bild 11 dargestellt, gemäß DIN EN 15978 [16] (Bild 30)]. Dabei fließen die Umweltwirkungen in der Herstellungsphase, der Nutzungsphase ohne die Module B6 und B7, der Entsorgungsphase sowie Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen in das Ökobilanz-Modell mit ein.

Den Maßgaben des DGNB-Systems folgend wurden Transporte zur Baustelle, Produkte, Prozesse und Aufwendungen, die sich nur auf den Baustellenbetrieb beziehen, vorbereitende Arbeiten und der Bodenaushub bei der Ökobilanz nicht berücksichtigt. [19, S. 62]

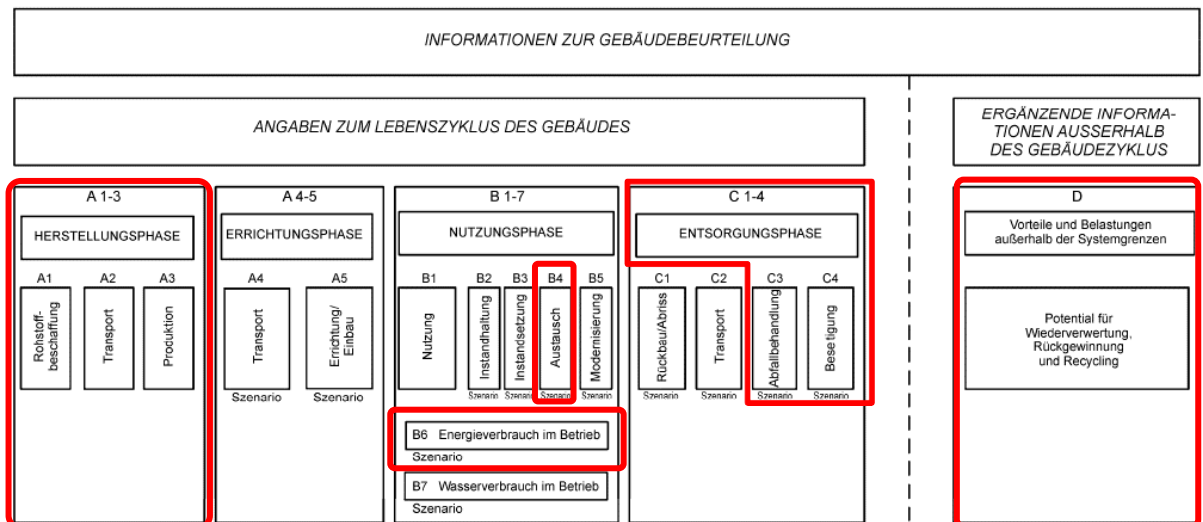


Bild 30:
Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978 [19, S. 21].

Herstellung: Da es sich hier um einen Neubau von Lärmschutzwänden handelt, werden für alle Bauprodukte die Umweltwirkungen aus der Herstellung (Modul A1 bis A3) berücksichtigt.

Nutzungsphase: Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre. Für die Berücksichtigung des Austausches von Bauteilen (Modul B4) werden die Lebensdauern der einzelnen Bauprodukte gemäß BBSR-Datenblatt für Bauprodukte der KG 300 und nach VDI 2067 Blatt 1 Tabelle A2 für Bauprodukte der KG 400 angesetzt [17, 18].

Bei Bauprodukten deren Lebensdauern unterhalb von 20 Jahren liegen wird die Anzahl der Austauschvorgänge über folgende Formel ermittelt:

$$n = \frac{\text{Lebensdauer Bauwerk}}{\text{Lebensdauer Bauprodukt}}$$

Der abgerundete Wert n ergibt die prognostizierte Anzahl an Austauschvorgängen.

Die Umweltwirkungen aus Modul B6 wurden aufbauend auf den Angaben im ÖKOBAUDAT-Datensatz für PV-Module mit einer jährlichen Solarstrahlungsenergie von 1.000 kWh/m²*a, was einem ungünstigen Standort in Deutschland, entspricht angenommen. Der ungünstige Wert wurde angenommen, da die PV-Module in den Varianten 2 und 3 senkrecht stehen und die Satteldachkonstruktion der PV-Module zu einer teilweisen Verschattung der tiefer liegenden Module führen kann.

Lebensende: Die Verwendung und Verwertung der Bauprodukte ist im Wesentlichen von ihrer Zusammensetzung abhängig. Für die Bauprodukte die über den

Lebenszyklus hinweg in das Gebäude eingebracht werden, sind die den verwendeten Datensätzen der ÖKOBAUDAT hinterlegten Wege am Lebensende zugeordnet worden. Im Wesentlichen sind hier zu nennen:

- Holz: thermische Verwertung in Müllverbrennungsanlage (MVA) in Modul C4 sowie Anrechnung von Gutschriften für Strom- und Wärmeproduktion (Modul D)
- Kunststoffe: thermische Verwertung in Müllverbrennungsanlage (MVA) in Modul C4 sowie Anrechnung von Gutschriften für Strom- und Wärmeproduktion (Modul D)
- Metalle: stoffliche Verwertung (in Modul C3) und Anrechnung von Gutschriften für vermiedenen Primärmaterialeinsatz (Modul D)
- Mineralische Baustoffe: stoffliche Verwertung (in Modul C3) und Anrechnung von Gutschriften für vermiedenen Primärmaterialeinsatz (Modul D)

6.2.3 Wirkungsabschätzung

Die Ergebnisse der ökologischen Lebenszyklusanalyse für die Lärmschutzwand werden im Hinblick auf die folgenden Umweltthemen ausgewertet:

- Beitrag zum Klimawandel bzw. globales Erwärmungspotenzial, ausgedrückt über die Umweltwirkungskategorie Treibhauspotenzial (engl. Global Warming Potenzial, GWP) angegeben in [kg CO₂-Äquivalente] und
- Nutzung von nicht erneuerbaren primärenergetischen Ressourcen (stofflich und energetisch), ausgedrückt über den Indikator Primärenergiebedarf nicht erneuerbar total (engl. primary energy non-renewable total, PENRT) angegeben in [MJ]. *Anmerkung: 3,6 MJ entsprechen 1 kWh*

6.2.4 Datenerfassung

Die Mengen und die Schichtaufbauten der einzelnen Bauteile wurden aus Literatur bzw. durch konstruktive Angaben der Hersteller und aus Prüfungen am IBP ermittelt. Die betreffenden Bauteile und die für die Modellierung zu Grunde gelegten Annahmen sind der folgenden Tabelle 2 zu entnehmen und komplettieren das als Gebäudemodell formulierte Modell der Lärmschutzwände. Alle Konstruktionsdaten und Daten aus der Ökobau.dat für die Ökobilanz finden sich im Anhang A.4.

Die Lärmschutzwände mit den betrachteten Varianten der Ausrüstung mit PV-Modulen sind in Bild 31 dargestellt. Mit der Ausführung jeder dieser Kombinationen in den drei konstruktiven Varianten Beton, Holz und Aluminium ergeben sich die neuen Kombinationen mit PV zu den drei Grundausführungen ohne PV als Referenz.

Tabelle 2:
Bauteile der Lärmschutzwand und PV-Moduldaten.

Bohrpfahl	
Abmessungen Tiefe: 4 m Durchmesser: 70cm	
Betonsockel	
Abmessungen: Höhe: 80 cm Sockelstärke: 14 cm	
Wandelement Beton	
Betonelement mit vorgesetztem Absorber Abmessungen: Höhe: 350 cm Wandstärke: 10 cm	
Wandelement Holz	
Holzrahmen mit Absorberfüllung und Abdeckung mit Holzleisten Abmessungen: Höhe: 350 cm Wandstärke: 10 cm	
Wandelement Aluminium	
Aluminiumkassette mit Absorberfüllung Abmessungen: Höhe: 350 cm Wandstärke: 10 cm	
PV Module	
Sonneneinstrahlung:	1.000 kWh/(m ² *a)
Wirkungsgrad:	13,3 %
Nennleistung:	165 Wp
Performance ratio:	0,75
Ertrag pro Jahr:	100,7 kWh/m ²

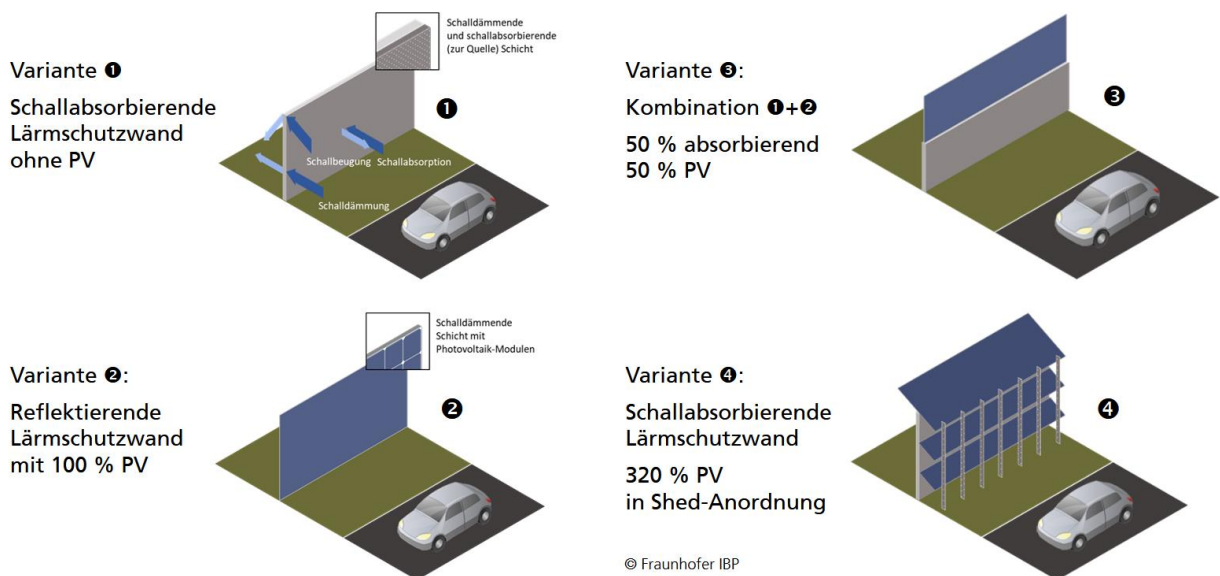


Bild 31:
Darstellung der vier Varianten von Lärmschutzwand mit/ohne PV-Modulen. Jede Variante wird in den 3 Ausführungen Beton, Holz und Aluminium betrachtet.

6.2.5 Ökobilanz-Modell

Die modellierten Schichten wurden anschließend mit den Datensätzen der ÖKO-BAUDAT, Version 2021/II [19] verknüpft. Stünden für Bauteile keine genau passenden Ökobilanzdaten zur Verfügung, wurde ein technisch naheliegender Ökobilanz-Datensatz verwendet. Falls mehrere ähnliche Datensätze zur Auswahl standen, wurde ein konservativer Ansatz gewählt (Worst-Case-Prinzip) [16]. Das Ökobilanz-Modell für die Optionen der energetischen Ertüchtigung wurde abschließend in der Software Generis® auf Basis der Informationen der Sachbilanz abgebildet [20]. Da bei der Modellierung im Wesentlichen generische Datensätze verwendet worden sind, kann die Ökobilanz keine Repräsentation des Ist-Zustandes darstellen.

6.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Ökobilanz der Bauteile der Lärmschutzwände für das Treibhauspotenzial (GWP) und den Einsatz von nicht-erneuerbarer Primärenergie total (PENRT) sind in Tabelle 4 und in Tabelle 5 aufgeführt. Die Umweltwirkungen werden nach ihrer Lebenszyklusphase sowie über den gesamten Lebenszyklus ausgewiesen. Da für die Bilanzierung im Wesentlichen auf generische Datensätze zurückgegriffen werden musste, können die Ergebnisse lediglich eine konservative Abschätzung der Umwelteinwirkungen wiedergeben und stellen keine präzise Darstellung der tatsächlichen Umwelteinwirkungen dar. Tabelle 6 gibt die Treibhauspotenziale GWP für die drei Ausführungsvarianten der Lärmschutzwand sowie den benötigten Stromertrag zur Neutralisierung wieder. In Tabelle 7 ist der prognostizierte jährliche Stromertrag der PV-Varianten zusammengestellt und Tabelle 8 zeigt schließlich die Amortisationsdauern für alle neun Kombinationen aus Lärmschutzwand-Ausführung mit der jeweiligen PV-Variante.

Die Flächenangaben in Tabelle 4 und in Tabelle 5 entsprechen den Prozentangaben in Bild 31. Damit sind 350 m² die Fläche der vollständigen Lärmschutzwand mit und ohne PV-Module (Varianten 1 und 2). Zusammen mit dem Sockel ergibt sich die betrachtete Bezugsgröße von 400 m². Die Flächenangabe 175 m² entspricht Variante 3 mit einer 50 % Belegung der Wand mit PV-Modulen. Die Shed-Anordnung führt zu einer deutlich größeren PV-Fläche von 320 % im Verhältnis zur Fläche der Lärmschutzwand und gibt Variante 4 wieder.

Tabelle 7 ist zu entnehmen, dass für die PV-Module ein sehr konservativer Ertrag von ca. 100,7 kWh/(m² a) berechnet wurde. Dennoch zeigt Tabelle 8, dass in nahezu allen Fällen mit einer Amortisationsdauer von unter 20 Jahren gerechnet werden kann, in denen der Stromertrag das GWP der gesamten Konstruktion inklusive der PV-Module aufwiegt. Die geringste Amortisationsdauer zeigen die Holz-Lärmschutzwände gefolgt von den aus Beton und den Aluminiumwänden mit den längsten Zeiten. Allerdings sind die Unterschiede insgesamt sehr gering, da die Konstruktionen der Lärmschutzwände im Verhältnis zu den PV-Modulen einen deutlich geringeren Beitrag zum GWP und PENRT liefern.

Tabelle 3: Treibhauspotenzial (GWP) der Bauteile in [kg CO₂-Äq./400m²-Sichtfläche] für den Betrachtungszeitraum von 20a.

Bauteile	Herstellung	Nutzung (Ersatz)	Lebensende	Gutschriften	Gesamt
	Modul A1 - A3 (Konstruktion)	Modul B4 (Konstruktion)	Modul C3 – C4 (Konstruktion)	Modul D (Konstruktion)	Gesamt (Konstruktion)
Werte bezogen auf 400 m ² Sichtfläche	[kg CO ₂ -Äq. / 400m ²]	[kg CO ₂ -Äq. / 400m ²]	[kg CO ₂ -Äq. / 400m ²]	[kg CO ₂ -Äq. / 400m ²]	[kg CO ₂ -Äq. / 400m ²]
Bohrpfahl	34,67	-	0,83	-0,03	35,48
Wand an Erdreich	9,41	-	0,92	-0,16	10,17
HEA/HEB Stahlstütze	23,86	-	-	-5,35	18,51
Lärmschutzwand Beton (350 m²)	71,97	-	1,65	-	73,62
Lärmschutzwand Beton (175 m²)	35,99	-	0,83	-	36,81
Lärmschutzwand Holz (350 m²)	-5,07	-	49,61	-22,61	21,92
Lärmschutzwand Holz (175 m²)	-6,25	-	29,43	-13,05	10,13
Lärmschutzwand Aluminium (350 m²)	97,93	-	1,13	-36,18	62,88
Lärmschutzwand Aluminium (175 m²)	48,96	-	0,57	-18,09	31,44
PV-Modul (350m²)	259,6	-	10,62	-31,68	238,54
PV-Modul (175m²)	129,80	-	5,31	-15,84	119,27
PV-Modul (1280m²)	949,40	-	38,84	-115,84	872,39

Tabelle 4: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PENRT) der Bauteile in [MJ / 400m²-Sichtfläche] für den Betrachtungszeitraum von 20a.

Bauteile	Herstellung	Nutzung (Ersatz)	Lebensende	Gutschriften	Gesamt
	Modul A1 - A3 (Konstruktion)	Modul B4 (Konstruktion)	Modul C3 – C4 (Konstruktion)	Modul D (Konstruktion)	Gesamt (Konstruktion)
Werte bezogen auf 400 m ² Sichtfläche	[MJ / 400m ²]	[MJ / 400m ²]	[MJ / 400m ²]	[MJ / 400m ²]	[MJ / 400m ²]
Bohrpfahl	198,76	-	15,03	-0,38	213,38
Wand an Erdreich	100,46	-	10,37	-2,41	108,41
HEA/HEB Stahlstütze	263,77	-	-	-40,47	223,29
Lärmschutzwand Beton (350 m²)	397,07	-	32,01	-	429,08
Lärmschutzwand Beton (175 m²)	198,54	-	16,00	-	214,54
Lärmschutzwand Holz (350 m²)	510,49	-	-2,85	-367,31	140,33
Lärmschutzwand Holz (175 m²)	261,15	-	-0,33	-209,25	51,58
Lärmschutzwand Aluminium (350 m²)	1.114,63	-	8,74	-482,98	640,39
Lärmschutzwand Aluminium (175 m²)	557,32	-	4,37	-241,49	320,19
PV-Modul (350m²)	3.423,51	-	63,89	-351,41	3.135,99
PV-Modul (175m²)	1.711,76	-	31,95	-175,71	1.568,00
PV-Modul (1280m²)	12.520,27	-	233,67	-1.285,16	11.468,77

Tabelle 5:

Treibhauspotenziale (GWP) ohne Gutschriften der Varianten in [kg CO₂-Äq./400m²-Sichtfläche] und der benötigte Stromertrag der Lärmschutzwand zur Amortisation für den Betrachtungszeitraum von 20 a.

	Beton		Holz		Aluminium	
	GWP (Modul A-C)	Umrechnung in Strom ¹	GWP (Modul A-C)	Umrechnung in Strom ¹	GWP (Modul A-C)	Umrechnung in Strom ¹
Werte bezogen auf 400 m ² Sichtfläche	[kg CO ₂ -Äq./400m ²]	[kWh / 400 m ²]	[kg CO ₂ -Äq./400m ²]	[kWh / 400 m ²]	[kg CO ₂ -Äq./400m ²]	[kWh / 400 m ²]
Variante 1	143,33	255,94	114,24	204,00	168,76	301,36
Variante 2	413,55	738,48	384,46	686,54	438,98	783,89
Variante 3	214,63	431,48	228,00	407,13	-254,34	454,18
Variante 4	1137,54	2031,33	1102,48	1968,71	1.156,99	2066,06

¹ Umrechnungsfaktor nach GEG Anl. 9: 560g CO₂-Äq./kWh Strom

Tabelle 6: Prognostizierter jährlicher Stromertrag und das Äquivalent an eingespartem Treibhauspotenzial in [kg CO₂-Äq./400m²-Sichtfläche] sowie dem eingesparten Primärenergiebedarf nicht erneuerbar nach GEG.

	Stromertrag nach ÖKOBAUDAT 2021/II	Einsparung Treibhauspotenzial ¹	Einsparung nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf ²
	[kWh/a]	[kg CO ₂ -Äq./a]	[MJ/a]
Bezogen auf 1m² PV-Modul	100,68	56,38	652,41
Variante 1	-	-	-
Variante 2	88,09	49,33	570,86
Variante 3	44,05	24,67	285,43
Variante 4	322,18	180,42	2087,71

¹ Umrechnungsfaktor nach GEG Anl. 9: 560g CO₂-Äq./kWh Strom

² Umrechnungsfaktor nach GEG Anl. 4: 1,8 kWh PE_{ne}/Kwh Strom

Tabelle 7: Amortisierungsdauern in Jahren für einen Stromertrag in Höhe von 100,68 kWh/m² PV-Modul *a.

	Beton		Holz		Aluminium	
	Amortisierung GWP ¹	Amortisierung PENRT ²	Amortisierung GWP ¹	Amortisierung PENRT ²	Amortisierung GWP ¹	Amortisierung PENRT ²
Werte bezogen auf 400 m ² Sichtfläche	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]	[a]
Variante 1	-	-	-	-	-	-
Variante 2	8,38	7,89	7,79	8,03	8,90	9,11
Variante 3	9,80	8,92	9,24	9,08	10,31	10,14
Variante 4	6,30	6,63	6,11	6,63	6,41	6,93

¹ Umrechnungsfaktor nach GEG Anl. 9: 560g CO₂-Äq./kWh Strom

² Umrechnungsfaktor nach GEG Anl. 4: 1,8 kWh PE_{ne}/Kwh Strom

7 Zusammenfassung

Im Rahmen des durchgeführten Forschungsprojekts wurden die Möglichkeiten analysiert, Lärmschutzbauwerke an Verkehrswegen durch Kombination mit Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung »klimaneutral« werden zu lassen. Dabei wurden unter anderem mit Hilfe von Ökobilanzen die klimatechnischen Potenziale ermittelt, indem das »Global Warming Potenzial GWP«, das zwangsläufig beim Bau der Lärmschutzwände entsteht, den solaren Energiegewinnen durch die Stromerzeugung aus PV-Anlagen gegenübergestellt wurde. Daraus lässt sich die notwendige Betriebszeit ermitteln, nach der sich die Klimaneutralität der Gesamtkonstruktionen einstellt.

In zwei Workshops und einem Impulsgespräch mit dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, zuständigen Behörden und Herstellern und Betreibern von Lärmschutzkonstruktionen wurden Hindernisse und mögliche Lösungen bei der Umsetzung besprochen. Grundsätzlich wurden die meisten technischen Probleme als lösbar eingestuft. Die größten Hindernisse existieren aktuell bei der rechtlichen Situation, die durch die Kombination von Lärmschutz und Energieerzeugung entsteht.

Da Lärmschutzbauwerke an Verkehrswegen aktuell in den meisten Fällen hochabsorbierend ausgeführt werden müssen, können die schallreflektierenden PV-Module nicht flächenintegriert in bzw. vor die LSW montiert werden, da ansonsten die schallabsorbierenden Eigenschaften nicht mehr den Anforderungen genügen. Es würde auf der gegenüberliegenden Seite der Wand zu unerwünschten Pegelerhöhungen kommen, was nach RLS-19 nicht zulässig ist. Es wurden daher neue Montagemöglichkeiten erforscht und erprobt, um sowohl die akustische Funktion als auch die solaren Energiegewinne zu optimieren. Eine Lösung ist, PV-Module reihenweise mit genügend Abstand zueinander zur Vermeidung von Verschattung und in einem für optimalen Stromertrag günstigen Winkelbereich von z. B. 45° vor die absorbierende Seite der Lärmschutzwand zu montieren. Unter der Voraussetzung, dass die Schallquelle wie beim Straßenverkehr bodennah abstrahlt, werden die unerwünschten Schallwellen durch die vorgesetzten PV-Module in die absorbierende Schicht bzw. nach oben reflektiert. Bei einer typischen Straßensituation wird auf der gegenüberliegenden Seite der Wand (z. B. an einer Gebäudefassade), je nach Abstand und bis zu einer Höhe von mindestens 3 m, eine Erhöhung des Schalldruckpegels infolge der montierten PV-Module verhindert. Die Anordnung bietet weiteres Optimierungspotenzial sowohl hinsichtlich des Stromertrags als auch der lärmindernden Wirkung. Die messtechnischen und rechnerischen Werkzeuge dafür liegen nun in validierter Form vor.

Mit den akustisch untersuchten Anordnungen wurden Ökobilanzen hinsichtlich des GWP und PENRT erstellt, die auf bekannten Verfahren aus dem Gebäudebereich beruhen. Dabei kamen im Wesentlichen Datensätze aus der Ökobau.dat zum Einsatz, die mithilfe des am IBP entwickelten Softwaretools GENERIS® für die Ökobilanzen verarbeitet wurden. Bei Verwendung konservativer Annahmen für den Stromertrag und realistischen Angaben für das GWP der gesamten Konstruktion konnte gezeigt werden, dass die PV-Module den überwiegenden Anteil

am GWP der Konstruktionen („graue Energie“) liefern, so dass diese sich zunächst über den Stromertrag selbst neutralisieren müssen. Im Verhältnis dazu tragen die eigentlichen Lärmschutzwände weniger Anteil am GWP bei, sodass sich in der Gesamtbilanz nur relativ geringe Unterschiede ergeben. Generell zeigen die Ökobilanzen hinsichtlich des GWP, dass mit ökologischen Amortisationszeiten von ca. 6 bis 10 Jahren zu rechnen ist. Eine möglichst maximale Ausnutzung des Flächenpotenzials an der Lärmschutzwand ist dabei von entscheidendem Vorteil und ermöglicht dennoch die Beibehaltung oder sogar Verbesserung der akustischen Funktionalität.

8 Ausblick

Die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse aus den Labormessungen, den akustischen Simulationen und der Ökobilanzierung sind vielversprechend. Das Ziel, die verursachten klimabelastenden Emissionen, die bei der Herstellung und beim Bau von Lärmschutzbauwerken entstehen, durch die Kombination mit Photovoltaikanlagen zu neutralisieren, ist erreichbar.

Es konnten allerdings auch Hindernisse identifiziert werden, die es vor einer flächendeckenden Umsetzung zu beseitigen gilt. So müssen zum Beispiel rechtliche Fragen zur Nutzung und zum Betrieb der PV-Anlagen mit geklärt werden. Sofern eine Montage von PV-Modulen vor der schallabsorbierenden Fläche vorgesehen ist, muss auch das Nachweisverfahren zu den reflektierenden Eigenschaften der Lärmschutzwand angepasst werden.

Um einerseits die theoretischen Ergebnisse dieses Projekts zu überprüfen und zu bestätigen und andererseits praktikable Lösungen für die aufgezeigten Probleme zu erarbeiten, wäre es sinnvoll, in einem Folgeprojekt eine Pilotanlage zu errichten. Dabei könnten im ersten Schritt mögliche Lösungen für die rechtlichen Hürden erarbeitet werden. Es gilt unter anderem, tragfähige Vorschläge für die Klärung der Verantwortlichkeiten, für die Nutzung des erzeugten Stroms sowie für die Zusammenarbeit der Betreiber der Lärmschutzwand und der PV-Anlage zu formulieren. Gleichzeitig könnten Hersteller funktionierende Systeme entwickeln und Erfahrungen sammeln, um diese in der Zukunft in Serie anbieten zu können.

In der Betriebsphase könnten die technischen Eigenschaften (CO₂-Bilanz, Schallreflexion, erzeugte Energiemenge) überprüft und überwacht werden, um abschließend die Frage zu beantworten, nach welchem Zeitraum die Pilotanlage durch den erzeugten Solarstrom klimaneutral wird.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG); Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge.
- [2] DIN EN 10034:1994-03 – I- und H-Profile aus Baustahl; Grenzabmaße und Formtoleranzen.
- [3] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-19; Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen; Richtlinien zum Ersatz der RLS90 mit der Verabschiedung der Änderung der 16. BImSchV; Ausgabe 2019.
- [4] DIN ISO 9613-2:1999-10 Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren.
- [5] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen ZTV-Lsw 06; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; 22. September 2006 – Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 25/2006.
- [6] DB Richtlinie 804.5501 – Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken; DB Netz AG; 01. Januar 2013.
- [7] DIN EN 1793-1: 2017-07 Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 1: Produktspezifische Merkmale der Schallabsorption in diffusen Schallfeldern.
- [8] DIN EN 1793-2: 2019-05 Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 2: Produktspezifische Merkmale der Luftschalldämmung in diffusen Schallfeldern.
- [9] DIN EN 1793-4: 2015-05 Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 4: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte der Schallbeugung.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] DIN EN ISO 14040:2021-02 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen.

- [13] DIN EN ISO 14044:2021-02 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen.
- [14] Integrierte Schallabsorption in thermisch aktivierten Betondecken – akustische und thermische Wirksamkeit periodischer Schallabsorberstreifen; H. Drotleff.
- [15] DIN EN 1793-3: 1997-11 Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum.
- [16] DIN EN 15978:2012: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode, Beuth Verlag, Berlin, 2012. Online verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-15978/164252701>.
- [17] BNB Nutzungsdauern von Bauteilen. Stand 2017. Online verfügbar unter: <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>.
- [18] VDI 2067 Blatt 1:2012-09: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung, Beuth Verlag, Berlin, 2012. Online verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-2067-blatt-1/151420393>.
- [19] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): Ökobau.dat. Version 2021-II. <https://www.oekobaudat.de/>.
- [20] Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP): GENERIS v. 1.0. Stuttgart, 2020 <https://www.generis-solution.eu>.

Anhang

A.1 Protokoll: 1. Workshop im Projekt »Klimaneutraler Lärmschutz«

Protokoll: 1. Workshop im Projekt „Klimaneutraler Lärmschutz“

Termin: 01. Februar 2022

Ort: Online (MS-Teams)

13:00 bis ca. 16:00 Uhr

Teilnehmer:

Franziska Möck	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
Jonas Steiner	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
Hans-Peter Lutz	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Rahel Hartmann	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Christian Manz	Gemeindetag Baden-Württemberg
Matthias Milesi	Autobahn GmbH des Bundes AdB
Yannik Saatmann	Autobahn GmbH des Bundes AdB
Nils Brucker	Autobahn GmbH des Bundes AdB
Jenny Böhm	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung DZSF/EBA
Philipp Streek	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung DZSF/EBA
Deniz Rieck	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung DZSF/EBA
Jacob Forster	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Martin Heinrich	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Noemi Herget	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Philip Leistner	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Peter Brandstät	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Matthias Fischer	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Mark Koehler	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Tagesordnung:

Uhrzeit:	Inhalt:
a) 13:00	Begrüßung und Vorstellung des Projekts Struktur und Zielsetzung des Workshops
b) 13:15	Themenfeld Photovoltaik: Infrastruktur, Nutzung, Integration Diskussion
14:00	Pause
c) 14:10	Themenfeld Akustik: Anforderungen und Ansprüche an den Lärmschutz, Umsetzungen in der Praxis Diskussion
14:55	Pause
d) 15:00	Themenfeld Nachhaltigkeit: Ökobilanzbetrachtung und praktische Aspekte (Bau, Planung, Betrieb) Diskussion
e) 15:45	Zusammenfassung und Ausblick
16:00	Ende des Workshops

a) Begrüßung und Vorstellung des Projekts - Struktur und Zielsetzung des Workshops

- Begrüßung
- Das Projekt wird vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg gefördert
- Ziel ist die nachhaltige Optimierung und ganzheitliche ökologische Bilanzierung von Lärmschutzbauwerken an Straßen und Schienen
- Vorstellung der Tagesordnung
- Ziele des Workshops: Informationsaustausch, Schwerpunktdiskussion, Erfahrungsaustausch
Ganzheitliche Betrachtung
- Ablauf der Diskussionen (MS-Teams und Netiquette)
- Vorstellung „Conceptboard“ zur Dokumentation
- Kurze Vorstellung der Teilnehmenden
- Vorstellung des Projekts Klimaneutraler Lärmschutz, Beispiele: Lärmschutzwälle und Wände mit PV (schall-reflektierend)
- Ausgangssituation Pilotanwendungen und technische Lösungen sind vorhanden
- Projektziele – Konzentration auf Lösungen für schallabsorbierende LSW, Gesamt-Ökobilanz
- Umfang und Arbeitspakete

b) Themenfeld Photovoltaik

- Impulsfolie – Solareinstrahlung, Ausrichtung, Winkel, Abnehmer, Kalkulation
- Projekt PVwins: Modul- und Systemtechnologien -> 3 Stufen:
 - Aufsatz-Nachrüstung
Geht das so einfach, Sicherheit, Baugenehmigung?
*Ergänzung Hr. Milesi (AdB):
Nachrüstung bei älteren Lärmschutzwänden oft schwierig, da schlechte Datenlage bzgl. Technik, Bauwerksstatik, aufwendige Recherche erforderlich. Windlast muss berücksichtigt werden, reines Zusatzgewicht eher geringeres Problem.
Betreiber der Lärmschutzwand ist potentiell ein anderer als Betreiber der PV Modul*
 - Flächenintegriert – Streifen, Flächenmix
Bei Kombination aus Lärmschutzwand & Photovoltaikmodul teilen sich die Flächen auf und es gibt schallreflektierende Anteile
Entkopplung von Schall- und Lichtwellen (Schallwellen absorbieren & optische Wellen durchlassen)
Neigung der Module, PV Flächen zum Himmel (Licht), offene Flächen zur Straße (Lärm)
 - Transparente Schallabsorption (technisch schwierig und geringe Wirkung)
- Gibt es Überlegungen zu Geschäftsmodellen und evtl. schon Erfahrungen?
*Ergänzung Fr. Möck (VM):
Entfernung zum nächsten Netzeinspeisepunkt, Regel: 1 km je 1 MW noch wirtschaftlich.
Technik ist nicht das Problem, Stromnutzung und Einspeisung – wann ist es wirtschaftlich? Beim EEG dauert Amortisation zu lange, zudem greift Direktvermarktungspflicht für größere Anlagen ab 100 kWp. Direktvermarktung bzw. Eigenverbrauch ist bessere Alternative und bevorzugte Variante.
Ergänzung Fr. Möck (VM):
Ob unternehmerisches Handeln der Straßenbauverwaltung möglich ist, ist noch*

nicht geklärt. Daher ist derzeitige Strategie Eigennutzung z.B. bei Tunneln oder Bereitstellung der Flächen an Dritte.

Zusätzlich kommen Sicherheitsfragen, u.a. bzgl. Blendwirkung, Schutzeinrichtungen, Einhaltung Lichtraumprofil sowie Genehmigungshürden. Das größte Problem sind die Genehmigungsverfahren und verschiedene Zuständigkeiten. Verantwortlichen ist das potentiell ein Thema zu viel, sie möchten für ein paar Watt das Risiko nicht auf sich nehmen bzw. die zusätzlichen Kosten für Gutachten, Schutzvorkehrungen, und dergleichen.

Ergänzung Fr. Möck (VM):

Freiflächen-PV sind i.d.R. deutlich wirtschaftlicher bzw. günstiger.

- Modultechnologien und Systemtechnologien entwickeln; Testmöglichkeiten aufbauen, Erfahrungen sammeln: Pilotwände
- Vielleicht kann man Lärm-Betroffene direkt mit einbeziehen als Nutzer, sie werden vor Lärm geschützt und verdienen noch Geld mit dem Stromverkauf. Dabei stellt sich die Frage nach der Abschreibungszeit. Aktuell 25-30 Jahre. Kann man Module danach weiterverwenden?
 - Betreiber der LSW sind eventuell andere als PV Betreiber
- PV Module sind in der Regel aus Glas -> Inspektion sollte vergleichbar sein. LSW wird durch PV nicht amortisiert, aber günstiger, vor allem bei kombinierter Flächennutzung.
 - Bahn-Zulassung für Glas nicht vorhanden, nur Kunstglas PMMA
 - Lasten sind bei Schiene größer als Straße
 - PV funktioniert auch mit PMMA -> nimmt die Durchlässigkeit durch UV Einstrahlung mit der Zeit ab?
- Instandhaltung: PV Module stören beim Monitoring, speziell von Beton LSW die in engem Raster abgeklopft werden
 - Monitoring für Instandhaltung automatisieren: DMS, Drohnen?
Ergänzungen Hr. Milesi (AdB) und Fr. Möck (VM)
Drohnen ungeeignet, Bauwerk MUSS manuell geprüft werden, Drohnen können nur ergänzend z.B. zur Fotodokumentation eingesetzt werden. Im Verkehrsraum ist Einsatz nur zulässig wenn dieser für den Zeitraum für den Verkehr gesperrt wird! Vorgaben Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076, Kenntnis der technischen Anlage durch Bauwerksprüfer erforderlich.
 - Sicherheitsanforderungen an der Schiene sind noch höher als an der Straße; Sichtung und Wartung ist essentiell. Dies gilt auch für die Straße da LSW Bauwerke sind.
- Abnehmer bei der Schiene direkt gegeben, Netz, Signale usw.
- Nord Süd Ausrichtung beidseitige Nutzung besonders netzdienlich (morgens, abends?)
- Welche Anreize gibt es für Gemeinden?
 - Sicherheit & Leichtigkeit des Verkehrs müssen berücksichtigt werden (Blendwirkungen sind auszuschließen, ggf. Anbringung von Schutzeinrichtungen erforderlich)
 - Gemeinden würden gerne, sind aber überfordert mit dem Genehmigungsverfahren und der Umsetzung, Bebauungspläne usw... Eigenverwertung gewünscht
 - Bei straßenabgewandten PV gibt es auch Anwohnerbedenken
- Lärmschutzwälle können auch Ausgleichsflächen sein, hier gibt es Anforderungen an Klima- und Artenschutz

Ergänzungen Hr. Brucker (AdB) und Fr. Möck (VM)

Eine Ausgleichsfläche ist immer hinsichtlich der jeweiligen ökologischen Funktion zu bewerten. Einfaches Beispiel: Ausgleichsflächen für Wiesenvogelarten schließt einen Solarpark aus. Ein Eingriff in ausgewiesene Ausgleichsflächen durch die Errichtung von Solarparks sind rechtlich teilweise ausgeschlossen und in jedem Fall äußerst schwierig in der Zulassung. Dies wird auch dadurch deutlich, dass bei der Errichtung von Solarparks in vielen Fällen Ausgleichsflächen erforderlich werden. I.d.R. Gutachten bzw. Abstimmung mit Naturschutzbehörde erforderlich. Ggf. Ersatz an anderer Stelle möglich.

- Diebstahl und Vandalismus sollte man nicht unterschätzen, an Rastanlagen werden sogar Edelstahl-WCs und Türen gestohlen oder zerstört.
 - Sachbeschädigung durch Graffiti, Diebstahl -> Entgegenwirken durch Schutzmaßnahmen.

c) Themenfeld Akustik

- Impulsfolie Akustik – Schalldämmung, Schallabsorption, Schallbeugung
- Einfluss durch PV Module auf die Schalldämmung und Beugung geringer, positiver Einfluss durch Erhöhung der Lärmschutzwand durch Beugungskante
 - Der positive Einfluss ist erfahrungsgemäß bei annähernd gleicher Höhe eher gering. Es wird dafür ein starker Überhang zur Fahrbahn benötigt, was technisch und rechtlich schwer umzusetzen ist.
- Einfluss durch PV Module auf die Schallabsorption ist vermutlich grundsätzlich negativ, da PV Module aus Glas den Schall reflektieren
 - Eventuell kann man durch die Ausrichtung vorgehängter Module PV Flächen zum Himmel (Licht), offene Flächen zur Straße (Lärm) entgegenwirken?
 - Es ist nicht klar, ob dies bei Abnahmemessungen im Hallraum oder inSitu messtechnisch erfasst wird
 - Interessante Studie für transparente schallabsorbierende LSW »C-Schale« Passau
 - Ein Projekt der Bahn fokussiert auf transparenten Lärmschutz
- Welche gestalterischen & konstruktiven Möglichkeiten gibt es bei Lärmschutzwänden?
- Wie hoch ist der Anteil hochabsorbierender Lärmschutzwände an Schienen und Straßen?
 - An Straßen sind 70% der Lärmschutzwände hochabsorbierend (zunehmend in den letzten Jahren)
 - DB verbaut nur noch hochabsorbierende Lärmschutzwände (Ausnahme: transparente LSW) > Wechselwirkung mit PV? Anforderung muss erreicht werden
 - Für transparente Elemente gibt es aktuell keine hochabsorbierenden Lösungen bei der Bahn - Nutzung absorbierender Wände mit transparenten Elementen
 - Es gibt verschiedene Anforderungen an die Schallabsorption an der Bahn und an der Straße
- Sind hochabsorbierende Elemente überhaupt notwendig an Schienen / Straße? Ist diese Anforderung realistisch?

- Absorption ist notwendig - insb. wenn ein Gebiet auf beiden Seiten geschützt werden soll (Anwohner)
- Die Frage ist: »Welche Absorptionsgrade benötigt man dafür wirklich«?
- Ist die Bauwerksunterhaltung von Lärmschutzwänden mit PV-Modulen realistisch?
Ergänzung Hr. Brucker (AdB):
Die Bauwerksunterhaltung ist möglich jedoch erfordert die Sicherstellung in bestimmten Fällen zusätzliche konstruktive, technische und personelle Lösungen (Stromabschaltung erforderlich, Arbeitsschutz, zusätzliche Firmen erforderlich, Bauwerkskörper muss vollständig zugänglich sein, z.B. durch wegklappbare Module).
 - Stark abhängig von gewählter Konstruktion
 - Wie zugänglich sind die Bauwerke zur Prüfung? Bisher bekannte Konzeptlösungen für Überdachung der Fahrbahn erfordern regelmäßige Sperrung der Autobahn zu Prüfzwecken
 - Es ist nicht möglich Drohnen zur Überwachung einzusetzen, siehe oben.
 - Besonders bei Betonlärmschutzwänden, die von vielen Betreibern aufgrund bewährter Technik bevorzugt werden, ist die Bauwerksüberwachung aufwändig (abklopfen)
Mögliche Fernüberwachung über Messstreifen und Anlagen die mit dem Internet verbunden sind
Ergänzung Hr. Milesi (AdB):
Bauwerksprüfung ist immer erforderlich, unabhängig von der Bauweise. Eine Fernüberwachung ist unrealistisch und nicht ausreichend.
- Es existiert eine Anbauverbotszone gemäß § 9 Abs. 1 FStrG und § 22 Abs. 1 StrG. 40 m längs von Autobahnen, gemessen ab Rand der befestigten Fahrbahn. Innerhalb dieser Zone dürfen keine Bauwerke von Dritten, die nicht zur Bundesfernstraße gehören, errichtet werden, egal wem die Flächen gehören. Ausnahmen können nur unter besonderen Voraussetzungen durch das Fernstraßenbundesamt erteilt werden. Bei Bundes- und Landesstraßen beträgt der Abstand 20 m. Für die Erteilung von Ausnahmen sind hier die Regierungspräsidien zuständig.
Vorstehendes wurde präzisiert von Fr. Möck (VM), Hr. Milesi (AdB), Hr. Brucker (AdB).
 - Diese Regelung müsste für PV-LSW angepasst werden
Ergänzung Hr. Brucker (AdB):
PV-LSW sind von der Anbauverbotszone nicht betroffen. LSW sind Bestandteile der Bundesfernstraßen und können daher auch mit PV errichtet werden, sofern diese in das Bauwerk integriert ist.
 - Die Genehmigung erfolgt nicht über die Autobahn GmbH. Bislang sind keine Anfragen für Lärmschutzbauwerke mit PV bekannt.
Ergänzung Fr. Möck (VM):
Anfragen an Bundesstraßen liegen vor. Ein Fall Solaranlage auf bestehendem Lärmschutzwand, Eigentum Bund. Anderer Fall: Neubau Lärmschutzwand, die gesetzlich nicht erforderlich und nicht Teil der Straße ist (auf Grundstück Dritter, Errichtung durch Dritte) somit Ausnahme von Anbauverbot erforderlich, über Bebauungsplan.
- Sind andere Konstruktionsformen (bspw. Wälle) besser für PV geeignet als die »Standardwand«?
 - Lärmschutzwälle sind oft locker geschüttet, massive Bauwerke auf dem Wall z.B. LSW erfordern entsprechende Vorarbeiten / Gründungskörper. Nutzung der Flächen

- ist möglich, allerdings handelt es sich hierbei oft um Ausgleichsflächen (Artenschutz) Dies ist zu berücksichtigen.
- Welche Nutzungsmöglichkeiten gibt es?
 - Lösung: Leichte Solarzäune (bspw. Von Next2Sun) aufsetzen

d) Themenfeld Ökobilanz

- Welchen CO₂ Footprint hat der Lebenszyklus einer LSW?
- Sind bisher Ökobilanzen von LSW überhaupt ein Thema? Ist abzusehen, dass das irgendwann eine Rolle spielt?
 - Bislang gibt es wenig quantifizierende Betrachtungen für LSW
 - Die Funktionen sind vorgegeben, wenn diese erfüllt sind entscheidet in den meisten Fällen der Preis
 - Richtlinien der Bahn: Lärmschutzwand soll 50 Jahre stehen – im Straßenbau ebenfalls realistisch
 - An der Straße üblicherweise solange wie möglich
 - Herausforderung für die Ökobilanzierung sind die unterschiedlichen Konstruktionsmöglichkeiten
 - »Nichtnormale Betriebszustände« (bspw. Austausch wegen Unfall) wird in der Ökobilanz nicht betrachtet
 - Sortenreinheit & Vermeidung problematischer Stoffe bilden die Basis für eine positive Ökobilanz
 - Fallstudie, die am IBP durchgeführt wurde: Betrachtungen für Mini-Lärmschutzwände an der Schiene (reiner Materialvergleich)
- Recycling von LSW am Ende der Standzeit
 - »End of life« ist nicht der dominante Teil einer Ökobilanz
 - Bei Ökobilanzbetrachtungen werden die aktuellen Möglichkeiten und Technologien vorausgesetzt
 - Recycling von Steinwolle als Füllstoff, wird in Folien eingepackt und deponiert (Sondermüll)
 - Viel Recycling im Straßenbau
 - Es gibt Sammelstellen für gebrauchte PV-Elemente - Weiterverwendung in anderen Kontexten
 - Studie: Lärmschutzwirkung wurde mit dem Altern der Lärmschutzwand nicht signifikant schlechter. Höhere Lebensdauer in Abhängigkeit von der Standsicherheit möglich
 - Rückbau wird aktuell nicht bei der Vergabe betrachtet
 - Kreislaufwirtschaftsgesetz für LSW erstellen?
- Holz als »Baustoff«
 - Wenn schon Beton, dann durch Geopolymere »ersetzen«
 - Rückbau wird aktuell nicht bei der Vergabe betrachtet
 - Vorbild Schweden: EPD als Mindestvoraussetzung
 - Schwieriges Thema: Holz wird an den Autobahnen nicht (mehr) verbaut, es ist von Konstrukteuren nicht gerne verwendet

- Ziel: Gesamtkonstruktion soll durch PV Module klimaneutral werden
 - Potential besteht aktuell, da unser Strom heute noch »zu wenig grün« erzeugt wird
 - dieser Benefit sinkt zukünftig
 - Potentieller Konflikt mit ökonomischen Faktoren
 - Wie sieht diese Bewertung in 30 Jahren aus?
 - Es sollte mit beachtet werden, welche Materialien zukünftig knapp werden!
- Keine extrem hohen Erträge bei PV auf Lärmschutzwänden
- Benefit ist vom Strommix abhängig, wenn der Strommix klimaneutral ist, bringt zusätzliche PV nichts mehr.
- Welche Stellung haben die Gemeinden zu dem ganzen Thema?

e) Zusammenfassung und Ausblick

- Zusammenstellung der Ergebnisse
- Einbindung von Information und Quellen der Teilnehmenden
- Aufbereitung des Berichts
- Berichtsübergabe an alle Teilnehmenden
- Feedback
- Weiterer Austausch

A.2 Protokoll: 2. Workshop im Projekt »Klimaneutraler Lärmschutz«

Protokoll: 2. Workshop im Projekt »Klimaneutraler Lärmschutz«

Termin: 19.05.2022

Ort: Online (MS-Teams)

10:00 bis ca. 12:00 Uhr

Teilnehmer:

Franziska Möck	Verkehrsministerium Baden-Württemberg
Stephan Hoves	FUCHS Fertigteilewerke Süd GmbH
Dirk Wesseling	FUCHS Fertigteilewerke Süd GmbH
Adrian Birkenmeier	Grünwand GmbH & Co. KG
Julius Beringer	Flordesign Wand GmbH
Klaus Wegenast	Flordesign Wand GmbH
Oliver Wieland	Virtusol (RUZ)
Christian Leuchtner	R. Kohlhauer GmbH
Rainer Focken	Eurovia Beton GmbH
Mirko Efke	4SilenceBV
Alassane Braun	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Philip Leistner	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Matthias Fischer	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Mark Koehler	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Tagesordnung:

Uhrzeit:	Inhalt:
a) 10:00	Begrüßung und Vorstellung des Projekts Struktur und Zielsetzung des Workshops
b) 10:20	Themenfeld Varianten Lärmschutzbauwerke: Bautechnische Grundlagen und konstruktive Ausprägungen und Anforderungen und Ansprüche an den Lärmschutz, Umsetzungen in der Praxis Diskussion
c) 11:15	Themenfeld Infrastruktur und Nachhaltigkeit: Anbindung an Stromnetz und Abnahme (Geschäftsmodelle, Genehmigung, Betrieb, Ökobilanzierung) Diskussion
d) 11:45	Zusammenfassung und Ausblick:
e) 12:00	Ende des Workshops

a) Begrüßung und Vorstellung des Projekts - Struktur und Zielsetzung des Workshops

- Begrüßung
- Das Projekt wird vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg gefördert
- Ziel ist die nachhaltige Optimierung und ganzheitliche ökologische Bilanzierung von Lärmschutzbauwerken an Straßen und Schienen
- Vorstellung der Tagesordnung
- Ziele des Workshops: Informationsaustausch, Schwerpunktdiskussion, Erfahrungsaustausch, ganzheitliche Betrachtung
- Ablauf der Diskussionen (MS-Teams und Netiquette)
- Kurze Vorstellung der Teilnehmenden
- Vorstellung des Projekts Klimaneutraler Lärmschutz, Beispiele: Lärmschutzwälle und Wände mit PV (schall-reflektierend)
- Ausgangssituation Pilotanwendungen und technische Lösungen sind vorhanden
- Projektziele – Konzentration auf Lösungen für schallabsorbierende LSW, Gesamt-Ökobilanz
- Umfang und Arbeitspakete

b) Themenfeld Varianten Lärmschutzbauwerke: Bautechnische Grundlagen, konstruktive Ausprägungen und Anforderungen in der Praxis

Impulsfolie – Varianten Lärmschutzbauwerke:
Bautechnische Grundlagen und konstruktive Ausprägungen und
Anforderungen und Ansprüche an den Lärmschutz, Umsetzungen in der Praxis

- Beton-LSW meist freistehend ohne Pfosten, reflektierend, Absorption mittelt aufgesetzter Schicht
- LSW aus Blechkassetten meist mit 160 mm Stahlträger HEA/HEB, Elemente von oben eingesetzt, Absorption durch Mineralwolle hinter Lochblech
- Holz LSW meist mit 160 mm Stahlträger HEA/HEB
- Fast alle neuen LSW werden hochabsorbierend ausgeführt.
- Befestigung von PV-Modulen an Lärmschutzwänden – Statik und Windlasten:
 - Statik und Windlasten sollten technisch kein Problem sein.
Befestigungsmöglichkeiten sind sowohl bei Beton als auch Pfostensystemen vorhanden.
- Akustik: PV-Module können grundsätzlich als reflektierend angesehen werden.
 - Die Rückseite von Lärmschutzwänden an Straßen und Schienen ist in der Regel reflektierend. Eine Montage an der Rückseite wäre daher aus akustischer Sicht am sinnvollsten. Allerdings muss die Ausrichtung der Wand zur Sonneneinstrahlung berücksichtigt werden.
- PV-Module als Satteldach für bestimmte Konstruktionen verdecken nicht die schallabsorbierende Schicht und bringen zusätzliche Abschirmung und Schutz vor Witterung
- Neubau-LSW können direkt mit PV geplant werden, Nachrüstung ist schwierig, da oft nur wenig Daten bekannt sind.
- PV-Module anstelle von reinem Glas bei transluzenten Varianten

c) Themenfeld Infrastruktur und Nachhaltigkeit: Anbindung an das Stromnetz und Abnahme (Geschäftsmodelle, Genehmigung, Betrieb, Ökobilanzierung)

Impulsfolie Infrastruktur

- Der CO₂-Footprint kann ein Argument sein, aber wirtschaftliche Aspekte sind entscheidend – eine Anfrage zu einer Bürgerbeteiligung kam zu demselben Ergebnis
- In Deutschland wird Nachhaltigkeit kaum nachgefragt, andere Faktoren dominieren deutlich, andere europäische Länder sind weiter. In den Niederlanden z.B. wird der Milieukostenindikator MKI in die Ausschreibung integriert.
- Standardisierte Verfahren sind ökologischer und ökonomischer als Einzelfälle.
- Die Kosten der PV-Anlage können sich ökonomisch amortisieren, die der gesamten Wand nicht.
- Betreiber der Wand ist nicht Betreiber der PV-Anlage. Beides muss Instand gehalten werden.
- Willen der Politik ist vorhanden: PV-Anlagen auf alle Dächer, Unabhängigkeit von Öl und Gas, aber es müssen erst Gesetze und Regeln angepasst werden.
- Baustoff Beton ist in schwieriger Lage – Ressourcenknappheit, Energieverbrauch
- Kupferabdeckungen verschlechtern die CO₂-Bilanz von Holz-LSW
- Begrünte Wände mit Substrat dienen auch als Retentionsflächen und können angerechnet werden.

d) Zusammenfassung und Ausblick

- Zusammenstellung der Ergebnisse
- Einbindung von Information und Quellen der Teilnehmenden
- Aufbereitung des Berichts
- Berichtsübergabe an alle Teilnehmenden
- Feedback
- Weiterer Austausch:
Impulsgespräch nächste Woche und Abschlussworkshop im Herbst 2022.

A.3 Impulsgespräch Genehmigung und Betrieb

Protokoll: 2. Workshop im Projekt »Klimaneutraler Lärmschutz«

Termin: 25.05.2022

Ort: Online (MS-Teams)

11:00 bis ca. 13:00 Uhr

Teilnehmer:

Ina Uhlmann	Verkehrsministerium Baden-Württemberg
Hans-Peter Lutz	Verkehrsministerium Baden-Württemberg
Matthias Milesi	Autobahngesellschaft des Bundes mbH
Jannik Saatmann	Autobahngesellschaft des Bundes mbH
Philip Leistner	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Peter Brandstät	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Mark Koehler	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

a) Folgende Ergebnisse ergaben sich aus der Diskussion

- Milieukostenindikator als Zusatzkriterium in NL - nichts vergleichbares in Deutschland.
- Ergebnis 2. Workshop: Firmen sind motiviert Ihre Produkte anzupassen.
- Schwierigkeiten werden vor allem bei der Rechtslage gesehen.
- Man sollte eine Pilotanlage bauen, wie ist die technische Verfügbarkeit?
- Produkte gibt es und die Technik ist entsprechend ausgereift, diese sind in der Regen reflektierend. Für absorbierende Wände werden noch gute Lösungen entwickelt.
- Solange es nicht nachgefragt wird, werden Hersteller nichts in Vorleistung entwickeln. (Henne-Ei-Problem).
- Beim UM-BW gibt es ein Programm für PV Modulentwicklung – Bauwerksintegriert.
- Man muss Solarmodulhersteller mit LSW Hersteller zusammenbringen.
- Im Neubau vermutlich problemlos, bei Nachrüstung eher problematisch da oft keine ausreichenden Planunterlagen vorhanden.
- An Verkehrswegen gibt es andere Anforderungen als an Häusern (Anprallschutz, Unfall, Instandhaltung...).
- Im Bestand ist oft die Statik unbekannt bzw. muss nachgerüstet werden.
- Neubau so gut wie immer hochabsorbierend - solange keine Produkte vorhanden sind, kann im PFV nicht berücksichtigt werden.
- Beliebte Flächen sind Innenohre und keine Böschungflächen - quadratische Flächen 5 Ha.
- Teststrecke der BAST – in BW wohl keine vorhanden.
- Die LSW wird von der Autobahngesellschaft betrieben, die PV Anlage eventuell nicht.

1

- LSW und PV möglichst aus einer Hand anbieten wäre hilfreich für die Vergabe.
- Für LSW Hersteller ist Statik und Windlast unproblematisch.
- Die Autobahngesellschaft kann den Strom nicht nutzen.
- Wenn ein Dritter den Strom abnimmt, dann wäre die PV Anlage sein Bauwerk, während die LSW zur Straße gehört.
- Tunnelbauwerke benötigen Strom.
- Solarparks von Bund oder Gemeinden die nicht für den Betrieb der Strecke notwendig sind wäre ideal.
- Wem gehört der Strom der an der Autobahn produziert wird?
- Baugenehmigung auch für Leitungen notwendig?
- Herausforderungen sind politisch und in der Regel auf Bundesebene zu regeln.
- Welche sind die größten Herausforderungen? Kann man die auflisten?
- Über den Verkehrsminister BW an den VM des Bundes.
- Planung und Genehmigung braucht Zeit .
- Wir sammeln einen Anforderungskatalog und das IBP formuliert ein Schreiben an die Verkehrsminister.
- Anbauteile, Druck Sog auch an der Straße bei hoher LKW Frequenz problematisch.

A.4 Anhang Ökobilanz

A.4.1 Bauteilkatalog mit Bauteilmengen

Bauteile								
Bohrpfahl Tiefe							Menge:	32 Stk
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Abmessungen pro Mengeneinheit			Menge pro Mengeneinheit		Anmerkung	
		Fläche	Masse	Dicke/ Länge/Tiefe	Menge	Modellierungsfaktor		
1	PE/PP Vlies	0,385			0,385	m ² /Stk	$Fläche = 0,385 = r^2 * \pi = 0,35 * \pi$	
2	Bewehrungsstahl		118,35		118,35	kg/Stk	Bewehrungsmenge laut Planungsunterlagen	
3	Transportbeton C20/25	0,385		4	1,54	m ³ /Stk	$Menge = 1,54 = 4 * r^2 * \pi = 4 * 0,35 * \pi$	
Stahlstütze HEA/HEB 160							Menge:	32 Stk
1	Stahlprofil		300	6	300	kg/Stk	Gewicht: 50 kg/lfm	
Betonsockel Höhe: 80cm Tiefe: 14cm							Menge:	80m ²
1	Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)	0,75	10		7,5	kg/m ²	Anstrichdicke 1cm	
2	PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung	0,375			0,375	m ² /m ²	Vlies nur an den Erdberührenden stellen	
3	Kies 2/32	0,7		0,3	472,50	kg/m ²	Dichte: 1.800 kg/m ³	
4	Bewehrungsstahl		14,37		14,37	kg/m ²	Bewehrungsmenge laut Planungsunterlagen	
5	Transportbeton C20/25	1		0,14	0,14	m ³ /m ²	Wanddicke = 14 cm	
PV-Modul							Menge:	V1: 0 m ² V2: 350 m ² V3: 175 m ² V4: 1280 m ²
1	Photovoltaiksystem 1000 kWh/m ² *a (ohne Stromgut-schrift)	1			1	m ² /m ²		

Lärmschutzwände							
Lärmschutzwand Beton						Menge:	V1: 350 m ² V2: 350 m ² V3: 175 m ² V4: 350 m ²
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Abmessungen pro Mengeneinheit			Menge pro Mengeneinheit		Anmerkung
		Fläche	Masse	Dicke/ Länge/Tiefe	Menge	Modellierungsfaktor	
1	Bewehrungsstahl		20		20	kg/m ²	Bewehrungsmenge laut Planungsunterlagen
2	Transportbeton C20/25	1		0,3	0,3	m ³ /m ²	Wanddicke = 30 cm
Lärmschutzwand Holz						Menge:	V1: 350 m ² V2: 350 m ² V3: 175 m ² V4: 350 m ²
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Abmessungen pro Mengeneinheit			Menge pro Mengeneinheit		Anmerkung
		Fläche	Masse	Dicke/ Länge/Tiefe	Menge	Modellierungsfaktor	
1	SWISS KRONO OSB	1		0,02	0,02	m ³ /m ²	
2	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	0,068571		0,12	0,008229	m ³ /m ²	Annahme: 4 Querverstrebungen a 6x12cm
3	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	1		0,12	0,12	m ³ /m ²	
4	PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung	2			2	m ² /m ²	
5	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	0,005714		0,2	0,001143	m ³ /m ²	Oberer Abschluss über die Bauteildicke
6	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O)	0,5		0,04	0,02	m ³ /m ²	Annahme: Fassadenbekleidung aus Rundhölzern mit Abstand = Breite Holzelement => 0,5 Fache Fläche Bekleidet

Lärmschutzwand Aluminium							Menge:	V1: 350 m ² V2: 350 m ² V3: 175 m ² V4: 350 m ²
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Abmessungen pro Mengeneinheit			Menge pro Mengeneinheit		Anmerkung	
		Fläche	Masse	Dicke/ Länge/Tiefe	Menge	Modellierungsfaktor		
1	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	1		0,3	0,3	m ³ /m ²		
2	Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	1			1	m ² /m ²		
3	Aluminiumblech		4		4,0	kg/m ²		
4	Aluminium Profil		1		1	kg/m ²		

A.4.2 Bauteilkatalog mit referenzierten Ökobaudat-Datensätzen

Bauteile						
Bohrpfahl Tiefe: 4m Durchmesser: 70cm						
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Lebensdauer		Repräsentativität		
		Dauer	Code Nr. [2]	Geografisch	Zeitlich	Technologisch
1	PE/PP Vlies	35	Nr. 326.111	DE	2018-2022	Generisch
2	Bewehrungsstahl	≥50	Nr. 323.111	DE	2018-2022	Generisch
3	Transportbeton C20/25	≥50	Nr. 323.111	DE	2018-2022	Generisch
Stahlstütze HEA/HEB 160						
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Lebensdauer		Repräsentativität		
		Dauer	Code Nr. [2]	Geografisch	Zeitlich	Technologisch
1	Stahlprofil	≥50	Nr. 333.411	DE	2018-2022	Generisch
Betonsockel Höhe: 80 cm Tiefe: 14cm						
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Lebensdauer		Repräsentativität		
		Dauer	Code Nr. [2]	Geografisch	Zeitlich	Technologisch
1	Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser)	30	Nr. 335.122	DE	2018-2022	Generisch
2	PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung	≥50	Nr. 335.111	DE	2018-2022	Generisch
3	Kies 2/32	≥50	-	DE	2018-2022	Generisch
4	Bewehrungsstahl	≥50	Nr. 323.111	DE	2018-2022	Generisch
5	Transportbeton C20/25	≥50	Nr. 323.111	DE	2018-2022	Generisch
PV-Modul						
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Lebensdauer		Repräsentativität		
		Dauer	Code Nr. [2]	Geografisch	Zeitlich	Technologisch
1	Photovoltaiksystem 1000 kWh/m ² *a (ohne Stromgutschrift)	20	Gem. Datensatz	DE	2018-2022	Generisch

Lärmschutzwände						
Lärmschutzwand Beton						
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Lebensdauer		Repräsentativität		
		Dauer	Code Nr. [2]	Geografisch	Zeitlich	Technologisch
1	Bewehrungsstahl	≥50	331.211	DE	2018-2022	Generisch
2	Transportbeton C20/25	≥50	331.211	DE	2018-2022	Generisch
Lärmschutzwand Holz						
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Lebensdauer		Repräsentativität		
		Dauer	Code Nr. [2]	Geografisch	Zeitlich	Technologisch
1	SWISS KRONO OSB	40	Nr. 335.711	EU	2021-2026	Durchschnitt SWISS KRONO Group
2	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	45	Nr. 339.112	DE	2020-2025	Repräsentativer Durchschnitt DE (38 % der Produktionsmenge)
3	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	≥50	Nr. 335.611	DE	2018-2023	Durchschnitt Deutsche Rockwool Mineralwolle GmbH & Co. OHG
4	PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung	≥50	Umgebende Schichten maßgeblich	DE	2018-2022	Generisch
5	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	45	Nr. 339.112	DE	2020-2025	Repräsentativer Durchschnitt DE (38 % der Produktionsmenge)
6	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10.7% H2O)	45	Nr. 339.112	DE	2018-2022	Generisch
Lärmschutzwand Holz						
Nr.	Gewählter Datensatz gem. ÖKOBAUDAT 2020/II	Lebensdauer		Repräsentativität		
		Dauer	Code Nr. [2]	Geografisch	Zeitlich	Technologisch
1	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	≥50	Nr. 335.611	DE	2018-2023	Durchschnitt Deutsche Rockwool Mineralwolle GmbH & Co. OHG
2	Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	≥50	Umgebende Schichten maßgeblich	DE	2018-2022	Generisch
3	Aluminiumblech	≥50	Nr. 335.811	DE	2018-2022	Generisch
4	Aluminium Profil	≥50	Nr. 335.811	DE	2018-2022	Generisch