



decarboNoise

Dekarbonisierung von Lärmschutzsystemen für eine nachhaltige Zukunft der Straßeninfrastruktur

Ein Projekt finanziert im Rahmen der

D-A-CH Kooperation

Verkehrsinfrastrukturforschung 2022

D-A-CH 2022



März 2026

Impressum

Programmerstellung und -finanzierung der D-A-CH Kooperation:

Bundesministerium für Verkehr (BMV)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Deutschland



Bundesministerium
für Verkehr

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und
Infrastruktur (BMIMI)
Radetzkystraße 2
1030 Wien
Österreich



Bundesministerium
Innovation, Mobilität
und Infrastruktur

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Papiermühlestrasse 13
3063 Ittigen
Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Sensengasse 1
1090 Wien
Österreich



FFG
Forschung wirkt.

Für den Projektinhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4
1210 Wien
Österreich



decarboNoise

Dekarbonisierung von Lärmschutzsystemen für eine nachhaltige Zukunft der
Straßeninfrastruktur

D-A-CH 2022

Auftragnehmer

AIT Austrian Institute of Technology GmbH (AIT), Österreich

OST Ostschweizer Fachhochschule (OST), Schweiz

Steinbeis-Transferzentrum Infrastrukturmanagement im Verkehrswesen
(STW), Deutschland

Autorinnen und Autoren

Dipl.-Ing. Martin Czuka (AIT)

Prof. Dr. Susanne Kytzia (OST)

Dr.-Ing. Ute Stöckner (STW)

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner (STW)

Inhaltsverzeichnis

Impressum.....	2
Abkürzungen und Glossar	7
1 Einleitung.....	8
2 State of the Art	11
2.1 Nachhaltigkeitsbewertung	11
2.1.1 Allgemeine Definition von Lebenszyklus	12
2.1.2 Lebenszyklusdefinition für Bauwerke	12
2.1.3 Definition von Lebenszyklus gemäß Nachhaltigkeit	14
2.1.4 Bewertungsansätze zur Beurteilung der Nachhaltigkeit	15
2.2 Lärmtechnischer Planungsprozess	22
2.3 Akustische Eigenschaften von LSS	24
2.3.1 In-situ Verfahren zu Messung der Luftschalldämmung	26
2.3.2 In-situ Verfahren zu Messung der Schallreflexion.....	28
2.3.3 Europäische Datenbank zu akustischen Eigenschaften von Lärmschutzsystemen	31
2.4 Potenziell nachhaltige LSS am Markt und Fallbeispiele	36
2.4.1 Prototypen und bereits am Markt vorhandenen Lösungen	36
2.4.2 Fallbeispiele realisierter potenziell nachhaltiger LSS	40
3 Akustische Messungen und Klassifizierungen für Berechnungstool	43
3.1 In-situ-Messungen	43
3.1.1 LSW mit Schilf und Lehm als Konstruktionsmaterial	43
3.1.2 Steilwälle.....	50
3.2 Klassifizierung akustischer Eigenschaften für Berechnungstool.....	53
4 CO₂- und Nachhaltigkeitsbilanzierung	58
4.1 Klassifizierung der LS-Systeme und relevante Szenarien....	60
4.1.1 Klassifizierung der LS-Systeme.....	60
4.1.2 Objektbeschreibung der LS-Systeme.....	66
4.2 Lebenszykluskosten	68
4.2.1 Systemabgrenzung: Lebenszykluskosten	69
4.2.2 Kostenmodell	71
4.2.3 Umfrage zur Erfassung der Aufwendungen in der Nutzungsphase	75

4.3	Treibhausgasbilanzierung (OST)	78
4.3.1	Datengrundlage: Lebensweg der Baumaterialien	79
4.3.2	Systemabgrenzung THG-Bilanzierung	82
4.3.3	Bilanzierung	83
4.4	Weitere Bewertungskriterien	83
4.4.1	Änderung der Biodiversität	84
4.4.2	Änderungen des Mikroklimas	85
4.4.3	Flächeninanspruchnahme	85
4.4.4	THG-Einsparung durch Stromerzeugung	86
5	Berechnungstool	88
5.1	Anwendungsfälle ("Use cases")	88
5.2	Datenmodell	90
5.3	Ergebnisse der Anwendung	93
5.3.1	Beschreibung des fiktiven Bauwerks und der Varianten	93
5.3.2	Ergebnisse des Variantenvergleichs	96
5.4	Anwendungsbeispiel	108
6	Projekterkenntnisse und Orientierungshilfen für Straßenbetreiber	115
6.1	Akustischen Messungen	115
6.2	Erkenntnisse aus Anwendungsbeispielen des Berechnungstools	117
6.3	Asset Management als Basis für Re-use	118
6.4	Lebensdauer	120
6.5	Weitere Erkenntnisse	121
6.6	Weitere Orientierungshilfen für Straßenbetreiber	121
7	Literatur	123
7.1	Weitere Quellen	128
Anhang 1: Default-Werte der Lebensdauer		131
Anhang 2: Fragebogen der Umfrage zu Aufwendungen in der Nutzungsphase		134
Anhang 3: Auswertung der Antworten der Umfrage zu Aufwendungen in der Nutzungsphase		137
Anhang 4: Anwendungshandbuch Berechnungstool		146

Abkürzungen und Glossar

ASFiNAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (AT)
ASTRA	Bundesamt für Strassen (CH)
BAST	Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (D)
IAMS	Infrastruktur Asset Management System
LC	Lifecycle (engl. für Lebenszyklus)
LS	Lärmschutz (allgemein, auch in Verbindung mit rechtlichen Aspekten)
LSA	Lärmschutzanlagen (bauliche Anlagen zum Zweck des Lärmschutzes)
LSS	Lärmschutzsysteme (aufeinander abgestimmte Teile baulicher Anlagen zum Zweck des Lärmschutzes)
LSW	Lärmschutzwand (Typ einer Lärmschutzanlage oder eines Lärmschutzsystems; Ausbildung als Wand)
LzM	Lebenszyklusmanagement
MLS	Maximum Length Sequence, wird u.a. als akustisches Prüfsignal für in-situ Messungen der Luftschalldämmung und der Schallreflexion von LSS eingesetzt
THG	Treibhausgasemissionen (u.a. Kohlendioxid (CO ₂), Methan, Distickstoffmonoxid, fluorierte Treibhausgase wie teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid, Stickstofftrifluorid)
Paneel	Wandelement oder Teil davon, in der Regel waagrecht zwischen Pfosten montiert; im Anwendungsmodul als drei Bauelemente modelliert
Pfosten	Auch als Steher oder Stütze bezeichnete senkrechte Halterung für Wandelemente
PV	Photovoltaik, im Bericht auch synonym für ganze PV-Anlagen

1 Einleitung

Als Folge von steigendem Verkehrsaufkommen und wachsender Sensibilisierung der Bevölkerung wird die Lärmschutzinfrastruktur im D-A-CH Raum stetig ausgebaut und erweitert. Dabei werden vielfach Baumaterialien wie Beton, Stahl oder Kunststoff verwendet, deren Herstellung in erheblichem Ausmaß zu Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) beiträgt (Umweltbundesamt, 2021). Dieser maßgebliche Ausstoß von THG erschwert die Dekarbonisierung in Europa. Letzt genanntes Bestreben ist zudem ein integraler Teil des European Green Deals der EU (Europäische Kommission, 2019). Gleichzeitig wird zunehmend das Potenzial erkannt, mit notwendigen Lärmschutzsystemen zusätzlichen Nutzen für Bevölkerung und Umwelt zu schaffen, beispielsweise durch Begrünung oder als Standorte für Photovoltaik-Anlagen.

Regelmäßig stehen Baulastträger daher vor der Frage: ***Wie kann ein erforderlicher Lärmschutz mit möglichst großem Zusatznutzen für Mensch und Umwelt bei gleichzeitiger Minimierung von Kosten und Treibhausgasemissionen realisiert werden?***

Da die vorliegenden Optimierungsaspekte zu Zielkonflikten führen können, muss die Fragestellung situations- und standortspezifisch beantwortet werden. Zudem ist eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen gewünschten Wirkungen und den dafür notwendigen Ressourcen von hoher Bedeutung. Für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Lärmschutzvorrichtungen fehlten nach dem Wissen der AutorInnen zum Einreichzeitpunkt des vorliegenden Forschungsprojektes etablierte methodische Grundlagen, sowie die für die Bewertung notwendige Datenbasis.

Zudem befindet sich die Einbindung von CO₂- und Nachhaltigkeitsbewertungsansätzen in die Planung und Projektierung von Straßeninfrastrukturprojekten mehrheitlich noch im Anfangsstadium. An dieser Stelle setzt das Forschungsprojekt **decarboNoise** (Langtitel: *Dekarbonisierung von Lärmschutzsystemen für eine nachhaltige Zukunft der Straßeninfrastruktur*) an.

Das Projekt decarboNoise setzte sich das Ziel, einen Beitrag zur Dekarbonisierung und zur Erhöhung der Nachhaltigkeit von Lärmschutzinfrastruktur im D-A-CH Raum zu leisten. Dafür wurden folgende Aktivitäten im Projekt durchgeführt:

- Entwicklung eines methodischen Ansatzes zur Bewertung von Lärmschutzsystemen (LSS) aus Sicht des nachhaltigen Bauens. Ausgangspunkt dafür war die Norm DIN EN 17472, die für den methodischen Ansatz angepasst und um länderspezifische Aspekte aus dem D-A-CH-Raum erweitert wurde.
- Untersuchung der akustischen Eigenschaften und Bewertung der Nachhaltigkeit von neuartigen Lärmschutzsystemen (LSS), deren Bestandteile bzw. Konstruktionsmaterialien einen potenziell geringeren CO₂-Fußabdruck als bereits am Markt etablierte Systeme besitzen. Die Nachhaltigkeitsbewertung soll dabei den gesamten Lebenszyklus von neuartigen LSS auf Basis der vorhandenen Datenlage abdecken. Gemeinsam mit den ermittelten akustischen Eigenschaften sollen diese Kenngrößen mit den entsprechenden Kenngrößen konventioneller LSS gegenübergestellt werden.
- Entwicklung eines prototypischen Berechnungstools mit Fokus auf die Nachhaltigkeitsbewertung zur Unterstützung der Planung und Projektierung von Lärmschutzsystemen. Dieses Tools orientiert sich soweit wie möglich an bestehenden Prozessen der Planung und Projektierung, sowie an bereits vorhandenen Datenstrukturen der Straßenbauverwaltungen im D-A-CH-Raum.

Im vorliegenden Bericht werden die zuvor aufgelisteten Aktivitäten detailliert beschrieben, sowie auf die wesentlichen Erkenntnisse und Ergebnisse daraus eingegangen. Dafür ist der Bericht wie folgt gegliedert:

- Kapitel 2 befasst sich mit dem Stand der Technik von für das Projekt relevanten Aspekten: der Nachhaltigkeits- und Lebenszyklusbeschreibung, dem lärmtechnischen Planungsprozess, sowie mit am Markt verfügbaren und in der Straßeninfrastruktur realisierten potenziell nachhaltigen LSS. Im letzten Teil des Kapitels wird auf die wesentlichen Grundlagen von Messverfahren zur Bestimmung akustischer Eigenschaften von Lärmschutzwänden eingegangen.
- In Kapitel 3 werden durchgeführte akustische Messungen an potenziell nachhaltigen LSS beschrieben. Zudem wird auf Basis der Ergebnisse

aus den akustischen Messungen eine akustische Klassifizierung für das Berechnungstool abgeleitet.

- Kapitel 4 beinhaltet das für das Berechnungstool entwickelte CO₂- und Nachhaltigkeitsbilanzierungssystem, sowie die für das Tool abgeleitete Klassifizierung unterschiedlicher Ausführungen von LSS. Neben einem Modell zur Abschätzung der Lebenszykluskosten umfasst der zweite Teil des Kapitels die durchgeführte Umfrage zur Grundlagenermittlung der Aufwendungen in der Nutzungsphase von Straßenbetreibern, sowie weitere Bewertungskriterien.
- Im Rahmen von Kapitel 5 wird das entwickelte Berechnungstool vorgestellt, sowie dessen Anwendungsbereich und Berechnungsbeispiele dazu präsentiert. Das zugehörige Anwendungshandbuch zum Tool ist Teil von Anhang 4 dieses Berichtes.
- Kapitel 6 umfasst die Projekterkenntnisse aus den Aktivitäten in decarboNoise sowie daraus abgeleitete Orientierungshilfen für Straßenbetreiber.

Da die Entwicklung eines Berechnungstools zur Unterstützung bei der Nachhaltigkeitsbewertung von LSS ein maßgebliches Ziel des Projektes decarboNoise war, adressieren die Inhalte der Kapitel 2 bis 4 dieses Berichtes vorrangig Aspekte, die für die Entwicklung des Tools relevant waren.

2 State of the Art

2.1 Nachhaltigkeitsbewertung

Die Definition des Begriffs der Nachhaltigkeit orientiert sich am Bericht der WCED-Kommission. In ihm wird Nachhaltige Entwicklung beschrieben als eine «Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.» (Hauff, et al., 1987, S. 46).

Diese allgemeine Definition wurde zunächst mit Hilfe von Teilzielen konkretisiert, die nach den drei Dimensionen Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft unterschieden werden. Ein Beispiel dafür ist das Ziel- und Indikatoren-System nachhaltiger Verkehr (ZINV) des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) von 2001 (aktualisiert 2008). Es bildet eine wichtige Basis für die Definition von Nachhaltigkeit im Infrastrukturbau in der Schweiz.

Seit 2015 orientiert sich das Verständnis der nachhaltigen Entwicklung immer stärker an den Nachhaltigkeitszielen den Vereinten Nationen, die in der Agenda 2030 formuliert sind. Infrastrukturen werden hier in Ziel 9 konkret angesprochen:

«Eine hochwertige, verlässliche, nachhaltige und widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, einschließlich regionaler und grenzüberschreitender Infrastruktur, um die wirtschaftliche Entwicklung und das menschliche Wohlergehen zu unterstützen, und dabei den Schwerpunkt auf einen erschwinglichen und gleichberechtigten Zugang für alle legen.»

Aber Planung, Bau, Betrieb, Erneuerung und Rückbau von Infrastrukturen sollten sich auch an anderen Zielen orientieren wie beispielsweise Gesundheit und Wohlergehen (Ziel 3), sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen (Ziel 6), bezahlbare und saubere Energien (Ziel 7) oder Maßnahmen zum Klimaschutz (Ziel 13).

Für die Bewertung der Nachhaltigkeit bezieht man sich auf den gesamten Lebensweg des Bauwerks (siehe Abschnitt 2.1.2) und wählt Indikatoren aus, die die Wirkungen des Bauwerks in Bezug auf diese Ziele beschreiben (siehe Abschnitt 2.1.4.1).

2.1.1 Allgemeine Definition von Lebenszyklus

Der Begriff Lebensweg oder der oft synonym genutzte, aus dem Englischen übernommene Begriff Lebenszyklus (auf Englisch Life-Cycle, LC) ist derzeit nicht einheitlich definiert. So findet man verschiedene Erweiterungen, beispielsweise den Produktlebenszyklus (Gabler Wirtschaftslexikon 2025) oder den Technischen Lebenszyklus. Allgemein hin werden damit unter dem Begriff Lebenszyklus die Phasen der Existenz eines Systems, beginnend von der Erstellung bis hin zur Außerbetriebnahme verstanden (Maschinenportal24 2025). Bezogen auf das Bauwesen wird unter dem Lebenszyklus der Kreislauf von Planung, Errichtung, Nutzung und Bewirtschaftung, Umnutzung und Rückbau/Abriss/Entsorgung verstanden. Der Kreislauf wird dann durch die Verwertung der beim Rückbau anfallenden Baustoffe geschlossen (Informationsportal Nachhaltiges Bauen 2025). Die organisatorischen und technischen Aufgaben werden im Rahmen eines Lebenszyklusmanagements erledigt. In Lehardt et al. (2021) wird auf der Basis von Pelzeter (2017) und der Definition von Instandhaltung nach DIN 31051 der Begriff Lebenszyklusmanagement (LzM) als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit mit dem Ziel einer lebenszyklusphasen-übergreifenden Nutzungs-, Ressourcen- und Informations-Optimierung“ definiert. Ein LzM-System wird dann als „integrierter Management-Rahmen, der z.T. verschiedene „Konzepte, Verfahren und Maßnahmen“ beinhaltet, beschrieben. Ein Kernergebnis dieser Arbeit ist dann die Ableitung von Zielen, Kriterien und Kennzahlen. Diese Ergebnisse werden in Morgenthal et al. (2023) aufgegriffen und für einzelne Brücken innerhalb eines Lebenszyklusmanagements Brückenbau dargestellt. Darin wird vor allem auf die Schädigung von Bauwerken und auf die Ermittlung der (technischen) Restlebensdauer eingegangen. Im Wesentlichen zeigt sich in diesen Untersuchungen, dass a) eine Definition der Zielsetzung eines LzM, b) eine Ableitung von geeigneten Kennzahlen zur Steuerung und c) eine ausreichende und aktuelle Datenbasis vorhanden sein muss.

2.1.2 Lebenszyklusdefinition für Bauwerke

Im Prinzip wird damit ein wesentlicher Teil eines Infrastrukturmanagementsystems bzw. ein Infrastruktur Asset Management System (IAMS) beschrieben, wie es in den meisten europäischen Straßenbauverwaltungen bereits Stand der Technik ist (AMSfree 2022, BIM4AMS 2022). Im Unterschied zu Gebäuden wird der Lebenszyklus der Straße und ihrer Bauwerke meist nicht – nach Planung, Bau und Betrieb – durch Rückbau beendet. Insofern gehen die Analysen innerhalb eines IAMS über die klassische Definition des Lebenszyklus hinaus, da die Teile im Zusammenwirken eines Gesamtsystems Verkehrsanlage, bestehend aus Fahrbahn, Bauwerken und sonstigen

Anlagenteilen, integrativ über einzelne Lebenszyklen betrachtet werden müssen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur (Quelle: https://www.bast.de/DE/Themen/Digitales/HF_2/Massnahmen/okstra.html).

Dabei weisen die verschiedenen Anlagenteile unterschiedliche technische Lebensdauern auf und es bestehen aufgrund unterschiedlicher Nutzergruppen unterschiedliche Anforderungen an die Qualität der Infrastrukturbestandteile. Während beispielsweise für die Straßenbauverwaltung Kriterien wie strukturelle Integrität, Sicherheit und optimale Verwendung der verfügbaren Finanzmittel eine Rolle spielen, sind für die Nutzenden Verfügbarkeit, Benutzbarkeit und Verkehrssicherheit entscheidende Faktoren. Gesamtgesellschaftlich können dann Kriterien wie Lärmschutz und Nachhaltigkeit gesetzt werden, die im vorliegenden Projekt decarboNoise speziell für LSS betrachtet werden. Aufgabe eines IAMS ist dann, dies im Lebenszyklus Verkehrsanlagen so zu organisieren, dass diese Anforderungen bestmöglich erfüllt werden. Das Anwendungstool DecarboNoise soll hierzu Hilfestellung bei der Beurteilung leisten.



Abbildung 2: Anforderungen im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur.

2.1.3 Definition von Lebenszyklus gemäß Nachhaltigkeit

Einen komplementären Ansatz stellt die Bewertung der Nachhaltigkeit über den Lebenszyklus nach DIN EN 17472 dar (Abbildung 3). Die verschiedenen Phasen sind dem IAMS vergleichbar. Zur Erfassung der Indikatoren für die Nachhaltigkeitsbewertung bildet die Aufteilung der einzelnen Phasen eine Grundlage zur Nachvollziehbarkeit und damit auch Vergleichbarkeit von Berechnungsergebnissen.

INFORMATIONEN FÜR DIE BEWERTUNG DES INGENIEURBAUWERKS						
Angaben zum Lebenszyklus des Ingenieurbauwerks					Ergänzende Informationen über den Lebenszyklus des Ingenieurbauwerks hinaus	
A 0 Planungs- phase	A 1-3 Herstellungs- phase		A 4-5 Errichtungs- phase	B 1-8 Nutzungs- phase	C 1-4 Entsorgungs- phase	
A 0 – Planung und Bauvorbereitung / Grund und Boden	A 1 – Rohstoffversorgung	A 2 – Transport (zum Hersteller)	A 3 – Herstellung	A 4 – Transport (zur Baustelle)	A 5 – Errichtung / Einbauprozß	
				B 1 – Nutzung	B 2 – Instandhaltung	B 3 – Instandsetzung
				B 4 – Austausch / Ersatz	B 5 – Modernisierung	
				B 6 – Energieeinsatz für den Betrieb		
				B 7 – Wassereinsatz für den Betrieb		
				B 8 – Nutzung durch den Nutzer		
				C 1 – Rückbau	C 2 – Transport (zur Verwertung/ Deponie)	C 3 – Abfallbehandlung für Wiederverwendung, Recycling und / oder Energiegewinnung
					C 4 – Entsorgung / Deponierung	
						Potenzielle Ressourcen (Wiederverwendung, Recycling, Energiegewinnung, Hitzeminderung, Beiträge zur Biodiversität)

Abbildung 3: Module zur Bewertung der Nachhaltigkeit nach DIN EN 17472 (Stöckner et al. 2025).

2.1.4 Bewertungsansätze zur Beurteilung der Nachhaltigkeit

Wir stehen heute am Beginn der Entwicklung von integrierten Ansätzen im nachhaltigen Infrastrukturbau, verstanden als Ansätze, die alle Phasen der Projektentwicklung und die Ziele der Nachhaltigkeit in Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt ansprechen. Die großen Bauherren der Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz haben mit der Entwicklung der Bewertungsinstrumente NISTRA (Nachhaltigkeits-Indikatoren für STRasseninfrastrukturprojekte) und NIBA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte) bereits früh einen ersten Schritt in diese Richtung getan. Beide Instrumente bestehen in ihrem Kern aus einer Kosten-Nutzen-Analyse. Damit stehen sie in der Tradition von Bewertungssystemen aus dem englischsprachigen Raum, in dem dieses Instrument in der Verkehrsplanung gut etabliert ist (siehe Abbildung 4). Für diese Anwendung basiert das Bewertungssystem auf Ergebnissen von Analysen aus Verkehrsmodellen und Schätzungen der externen Kosten bzw. Nutzen von Verkehrssystemen. In der Schweiz ist es in die Normen SN 641 820 bis 641 828 des Schweizerischen Verbands der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS) eingegangen.

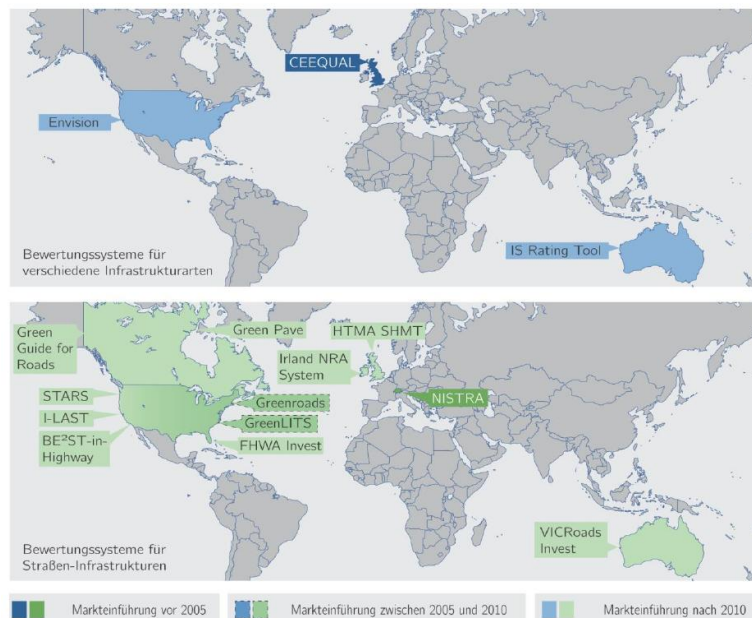


Abbildung 4: Übersicht über Bewertungssysteme zum nachhaltigen Infrastrukturbau (Stand 2015) aus (Zinke et al. 2021).

Andere Bewertungssysteme wie beispielsweise das englische CEEQUAL basieren eher auf Checklisten, die aus einem Satz von Nachhaltigkeitsindikatoren abgeleitet werden. Diesen Ansatz verfolgt auch das Schweizerische Netzwerk Nachhaltiges Bauen (SNNB) mit der Entwicklung eines Standards für den Nachhaltigen Infrastrukturbau, der auch einer Zertifizierung zugrunde gelegt werden kann. Er wurde im Sommer 2020 veröffentlicht und wird aktuell von verschiedenen Bauherren erprobt. Dabei werden die Bauprojekte nach verschiedenen Indikatoren mit einem Punktesystem bewertet. Die Ergebnisse werden anschließend entweder gleichgewichtet in einem Spinnendiagramm dargestellt oder gewichtet nach den Nachhaltigkeitsdimensionen (Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft) in einem Gesamtindex.

Die bereits im letzten Abschnitt erwähnte EN 17472 hingegen geht im Kern von der Kombination Ökobilanz und einer Lebenszykluskostenanalyse des Bauwerks aus, die ergänzt wird durch qualitativ bewertete Indikatoren. Eine Anwendungshilfe für die Kombination von Ökobilanzen und Lebenszykluskosten auf dieser normativen Grundlage wurde im Projekt PROCEEDR für Lärmschutzwände und Fahrzeugrückhaltesysteme (Connolly et al. 2024) entwickelt. Darin werden die Module A1 bis A5, B2 und B4 sowie C1 bis C4 betrachtet zuzüglich Ergebnisse außerhalb der Systemgrenzen (vgl. Abbildung 3). Bisher wurden nur wenige Forschungsarbeiten zu einer umfassenderen Bewertung der Nachhaltigkeit von Lärmschutzsystemen durchgeführt, die auf unterschiedliche Annahmen und Einschränkungen

beruhen. Im Projekt QUIESST haben sich verschiedene Forschungsgruppen mit der Nachhaltigkeitsbewertung von Lärmschutzsystemen auseinandergesetzt und Methoden dazu entwickelt und angewandt (s.u.). Einen weiteren wichtigen Beitrag leisten Ahac et al. (2021) mit der Entwicklung eines Bewertungssystems speziell für Paneele (von Pfosten gehaltene Wandelemente) von Lärmschutzwänden aus Metall, Beton und Holz.

In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, welche Nachhaltigkeitsziele jeweils durch Wahl der Indikatoren adressiert wurden und welche Bewertungsverfahren zum Einsatz kamen.

2.1.4.1 Nachhaltigkeitsindikatoren

Im Rahmen des Projekts QUIESST hat ein Team des Bradford Centre for Sustainable Environments ein sehr detailliertes Bewertungssystem auf der Basis von Multi-Kriterien-Analysen entwickelt und für 13 verschiedene Typen von Lärmschutzsystemen vergleichend angewandt. Insgesamt schlagen sie über 40 verschiedene Kriterien vor. Ahac et al. (2021) entwickelte ein Bewertungssystem für Paneele von Lärmschutzwänden aus Metall, Beton und Holz. Sie schlagen 14 verschiedene Kriterien vor, die sie in vier Gruppen unterteilen.

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich zwischen der Auswahl der Indikatoren. Die Unterschiede sind teilweise darauf zurückzuführen, dass QUIESST (Oltean-Dumbrava et al., 2012) ganze Lärmschutzsysteme bewerten, während Ahac et al. (2021) nur eine vergleichende Bewertung verschiedener Paneele anstreben. Beide Studien betrachten konventionelle Lärmschutzsysteme und eine naturnahe Gestaltung – z.B. durch Bepflanzung oder Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen steht nicht im Zentrum der Analyse.

Eine ergänzende Literaturanalyse zeigte, dass aktuell nur wenige wissenschaftliche Studien zu den Auswirkungen von "grünen" Lärmschutzwänden existieren. Deutlich mehr Forschungsarbeiten beziehen sich auf die Auswirkungen vertikaler Begrünungssysteme in städtischen Umgebungen im Allgemeinen. Diese Studien zeigen positive Auswirkungen der vertikalen Begrünung auf die Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren – beispielsweise durch Nahrung und Schutz für Vögel und Insekten sowie Lebensräume für lokale Pflanzen bietet. Darüber hinaus tragen diese Strukturen dazu bei, die Wärmeeinwirkungen im Landesinneren durch Verdunstung und Verschattung zu reduzieren. Sie können CO₂ aufnehmen und speichern sowie Feinstaub und Stickoxide binden.

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Bewertungssysteme.

Kriterien nach QUIESST (2012)	Kriterien nach Ahac et al. (2021)
Treibhauspotenzial	Treibhauspotenzial
Acht verschiedene Teilindikatoren zu Lebens-zykluskosten	Drei verschiedene Teilindikatoren zu Lebens-zykluskosten
Visuelle Auswirkungen, Verblendung und Verschattung (vier verschiedene Teilindikatoren)	-
Änderungen des Mikroklimas (Hitzeinsel-Effekt)	-
Widerstandsfähigkeit gegen Folgen klimatischer Veränderung	-
Akustische Wirksamkeit (mit drei Teilindikatoren)	Akustische Wirksamkeit (mit vier Teilindikatoren)
Lebensdauer und Widerstandsfähigkeit (mit vier Indikatoren)	Lebensdauer und Widerstandsfähigkeit (mit zwei Indikatoren)
Kumulierter Energieverbrauch und Energieerzeugung	Kumulierter Energieverbrauch (mit zwei Teilindikatoren)
Wasserverbrauch und -belastung	Wasser-Fußabdruck
Recycling: drei Teilindikatoren	Recycling: Recycling-Potenzial
Weitere: Gesundheit der Arbeiter, Möglichkeiten für Kunst im Quartier, Verwendung neuer Materialien, Rückbaubarkeit, einfacher Unterhalt und Bauausführung, Anpassungs-fähigkeit, Landverbrauch, Boden-belastung, Abfälle	-

Tabelle 2: Übersicht über Studien zur Bewertung von Begrünung von Lärmschutzwänden und Fassadensystemen.

Autoren	Land	Jahr	Was wird betrachtet?				
			Welche Bauwerke / Bauteile?	Wie sind sie bepflanzt?	Wie wird ihr Beitrag zur Biodiversität bewertet?	Beitrag zur Hitze-minderung?	Weitere Bewertungskriterien?
Abbas A. R., Liang, R.Y., Frankhouser A., Cardina J., Cubick K.L.	USA	2011	Lärmschutzwände	Weiden zwischen Weiden- / Holzgeflechten; für andere Systeme werden keine Informationen gegeben; im Pilotversuch werden Gräser gewählt	-	-	Machbarkeit (vor allem unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen), Kosten, mögliche Schäden, akustische Wirksamkeit
Chiquet C., Dover J.W., Mitchell P.	BRD	2013	Fassadenbegrünung (Hochbau)		Nutzen für Insekten und Vögel	Verdunstungsleistung	CO ₂ -Speicher, Bindung von Feinstaub und Stickoxiden
Duschen S. & Jorre S.	BRD	2021	Lärmschutzwände	Wird in dieser Studie nur als Exkurs behandelt; mit Bezug auf Literatur zu Fassadenbegrünung	Nutzen für Insekten und Vögel	Verdunstungsleistung	CO ₂ -Speicher, Bindung von Feinstaub und Stickoxiden
Filazzola A, Shrestha N, Macivor JS.	Intern. Meta-analyse	2019	Urbane Grüne Infrastruktur u.a. Fassadenbegrünung	-	Nutzen für Insekten und Vögel	-	-
Kotzen B.	UK	2004	Lärmschutzwände	Pflanzen als integraler Bestandteil von Lärmschutzwänden (Bio-Barriers) werden untersucht.	-	-	Ästhetik
Mårtensson L-M., Wuolo A., Fransson A-M., Emilsson T.	Schweden	2014	Lärmschutzwände / Living Walls	Steinwolle Plattensystem und Bimssteingefülltes Taschensystem. Bepflanzt mit 9 einheimischen Arten und 7 Zierpflanzenarten	-	-	Ästhetik

Mayrand F., Clergeau P., Vergnes A., Madre F.	Intern. Review	2018	Fassadenbegrünung, vertical greening systems (Hochbau)	Abiotische Heterogenität fördert Pflanzenvielfalt und ermöglicht bessere Spontanbegrünung	207 - 300 Gefäßpflanzen und 60 Moosarten in Europa an spontan besiedelten Steinmauern	-	-
Rowe T., Poppe J., et al.	Intern. Review	2022	Fassadenbegrünung (Hochbau)	Keine Informationen	Nutzen für Insekten und Vögel	Verdunstungsleistung, Beschattung	Energieeinsparungen durch reduzierten Heizungs-/Kühlungsbedarf; Reduktion der Luftbelastungen; CO ₂ -Aufnahme
Salah & Romanova	UK	2021	Fassadenbegrünung	Keine Informationen	-	-	CO ₂ -Aufnahme
Solowczuk, A.	Polen	2020	Lärmschutz Landschaftselemente (Grünbrücken)	Sträucher	Implizit: Biodiversitätsförderung durch Grünbrücken	-	Lärmschutz

2.1.4.2 Bewertungsansätze

Bewertungsansätze im Kontext der nachhaltigen Entwicklung sind meistens Anwendungen eines multikriteriellen Entscheidungsmodells. Hier kann grundsätzlich zwischen verschiedenen Ansätzen unterschieden werden wie einer Nutzwertanalyse, einer Kosten-Nutzen-Analyse oder einer Kosten-Wirksamkeitsanalyse. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht mit den Vor- und Nachteilen dieser Instrumente.

Tabelle 3: Überblick über Bewertungssysteme.

	Kosten-Nutzen-Analyse	Nutzwertanalyse	Kosten-Wirksamkeitsanalyse
Prinzip	Alle Indikatoren werden anhand von monetären Größen beschrieben (Kosten oder Nutzen). Teilsummen dieser Geldbeträge (häufig diskontiert über die Zeit) werden ins Verhältnis gesetzt.	Es sind unterschiedliche Maßeinheiten für die Ausprägung der Indikatorwerte möglich. Anschließend wird ein Gesamtindex als gewichtetes Mittel aller Teilbewertungen gebildet. Dabei wird die relative Bedeutung der Indikatoren berücksichtigt (subjektiv).	Es werden zwei unterschiedliche Bewertungssysteme für (i) die Wirksamkeit der Maßnahmen und (ii) die Kosten der Maßnahme festgelegt. Anschließend werden die Ergebnisse beider Bewertungen ins Verhältnis gesetzt.
Vorteil	Monetäre Größen können gut nachvollzogen/akzeptiert werden. Objektive Bewertung.	Einfache Anwendung und im Prinzip gut nachvollziehbar. Wertung wird explizit.	Große Akzeptanz, da nur Kosten monetär bewertet werden, die man relativ gut schätzen kann.
Nachteile	Monetäre Bewertung kann die Ergebnisse verzerren und wird häufig kritisch hinterfragt (z.B. Wert eines Menschenlebens).	Wertung bleibt subjektiv.	Häufig auf eine einzige Wirkung begrenzt; Ansonsten bleibt die Wertung subjektiv.

Im QUIESST-Projekt und bei Ahac et al. (2021) werden Varianten der Methode der Nutzwertanalyse eingesetzt.

Bei Ahac et al. (2021) werden die betrachteten Lärmschutzpaneele jeweils mit einem Punktesystem bewertet. Ein Gesamtindex zeigt pro Variante ihre durchschnittliche Punktzahl (ungewichtet). Bei der Anwendung dieses

Verfahrens schneidet das Beton-Paneel aufgrund seiner konstruktiven Eigenschaften und den Lebenszykluskosten am besten ab.

Im QUIESST-Projekt werden verschiedene Verfahren der Multi-Kriterien-Analyse eingesetzt, mit denen ein Gesamtindex und eine Reihung der verschiedenen Varianten errechnet wird. Bei der Anwendung dieser Verfahren erhält der Erdwall die beste Bewertung bei allen drei Methoden (nach Tabelle 3) zur Ermittlung eines Gesamtindex. Das Stehersystem mit Betonpaneelen schneidet ebenfalls in allen drei Methoden relativ gut ab (Plätze 3 oder 4 in der Rangfolge). Die Gabionen liegen bei zwei Methoden an zweiter Stelle; bei der dritten Methode ist das Stehersystem mit Holzpaneelen zweitplatziert.

Tabelle 4: Ergebnisse einer vergleichenden Bewertung nach QUIESST (Quelle: Oltean-Dumbrava et al. (2016), S. 926).^[1]

Overall relative sustainability rankings of the main RNB types							
SAW			PROMETHEE			ELECTRE 3	
Key	Rank	Summed index score	Key	PROMETHEE II ranking	Phi net flow score	Key	Rank (median preorder)
EB	1	0.725	EB	1	0.223	EB	1
ST	2	0.616	GA	2	0.146	GA	2
C	3	0.597	SC	3	0.060	SC	3
SC	4	0.580	SG	4	0.052	C	4
GA	5	0.579	C	5	0.051	SG	5
GB	6	0.572	ST	6	0.037	SM	6
CT	7	0.555	GB	7	0.019	ST	7
SG	8	0.527	SP	8	0.004	GB	8
SP	9	0.526	CT	9	-0.028	SP	9
SM	10	0.499	SM	10	-0.042	CT	10
PVNB	11	0.461	PVNB	11	-0.128	PVNB	11
Stu	12	0.449	GT	12	-0.177	Stu	12
GT	13	0.441	STu	13	-0.217	GT	13

^[1] Legende: SM: Steel supporting structure + Metal panels, SC: Steel support structure + Concrete panels, ST: Steel supporting structure + Timber panels, SG: Steel supporting structure + Transparent modules, C: Self-supporting concrete or brick system, SP: Steel supporting structure with plastic panels, CT: Tunnel-concrete structure, Stu: Tunnel-steel structure, GT: Tunnel with transparent panels, GB: "Green" barrier (containing vegetation), GA: Gabions (wire cage filled with graded stones), EB: Earth barrier (earth mound or berm), PVNB (photovoltaic noise barrier).

2.2 Lärmtechnischer Planungsprozess

Im Rahmen des vorliegenden Berichtes wird adäquat zum Untersuchungsgegenstand die Betrachtung von Lärmquellen, deren Ausbreitung und technische Begegnung zum Schutz vor deren Einwirkung auf den Straßenverkehrslärm begrenzt.

In allen drei D-A-CH-Ländern gibt es hierzu rechtliche und technische Regelwerke, deren Ziel der Schutz vor schädlichen Auswirkungen vor allem für Menschen, aber auch für Tiere ist. Dabei wird zwischen folgenden Aspekten unterschieden:

- Schutzwerte als Grenzwerte bei der Lärmvorsorge (Neubau / Ausbau von Straßen; rechtliche Verpflichtung), in der Schweiz mit „Planungswerten“ bezeichnet.
- Schutzwerte als Grenzwerte bei der Lärmsanierung (z.T. freiwillige Aufgabe nach Leistungsfähigkeit i.d.R. des Baulasträgers, Rechtsgrundlage in Verbindung mit der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie).

Die in dB(A) definierten Grenzwerte unterscheiden sich länderspezifisch nach Tageszeit sowie nach gebietstypischen Empfindlichkeitsstufen (z.B. Wohnen, Gewerbe etc.), die an die städtebauliche Ordnung geknüpft sind.

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel einer Lärmkarte mit Lärmschutzmaßnahmen für einen über Tag, Abend und Nacht gemittelten Lärmpegel für Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich.

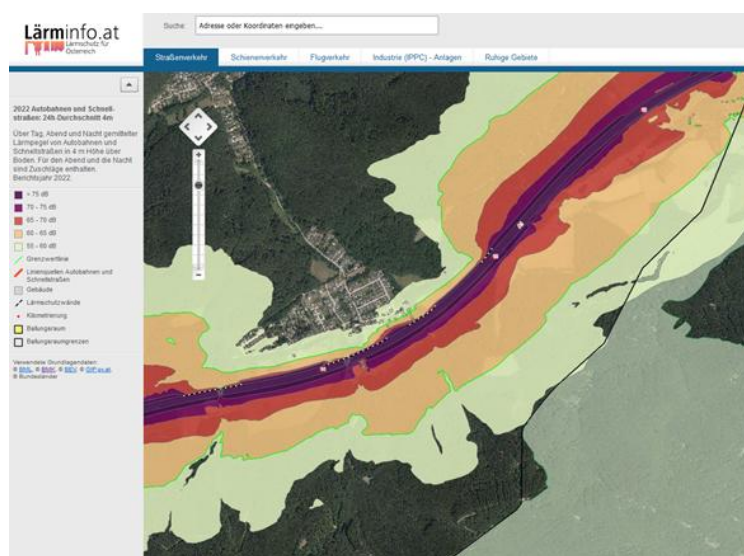


Abbildung 5: Beispiel einer strategischen Lärmkarte über den über Tag, Abend und Nacht gemittelten Lärmpegel für Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich (Quelle: <https://www.laerminfo.at>).

2.3 Akustische Eigenschaften von LSS

Im vorliegenden Kapitel werden die wichtigsten Aspekte derzeit angewandter akustischer Messverfahren zur Beurteilung von LSS in der D-A-CH Region beschrieben, wobei ausgewählte Verfahren in den in Kapitel 3 beschriebenen Messungen zum Einsatz kamen.

Im Zuge der messtechnischen Bestimmung intrinsischer akustischer Charakteristika kann bei LSS zwischen Schalldämmungs-, Schallabsorptions-, Schallreflexions- und Schallbeugungseigenschaften unterschieden werden. Das Auftreten der zugrundeliegenden akustischen Phänomene bei Vorhandensein einer LSW im Schallausbreitungsweg ist in Abbildung 6 schematisch dargestellt. Zur einheitlichen Quantifizierung dieser akustischen Eigenschaften bei LSS stehen insgesamt 5 unterschiedliche standardisierte Messverfahren zur Verfügung, die in Tabelle 5 aufgelistet sind.

Während Messmethoden, die ein diffuses Schallfeld voraussetzen, ausschließlich in einem Hallraum angewendet werden können, bieten Messverfahren für gerichtete Schallfelder den Vorteil, dass damit LSS im errichteten Zustand (in-situ) getestet werden können. In Kombination mit speziellen akustischen Messsignalen (z.B. Maximum Length Sequence - MLS) ist es zudem möglich, (Stör)Geräusche, die keine Ähnlichkeit zum Messsignal aufweisen, nachträglich akustisch auszublenden. Somit sind in-situ Messverfahren aus akustischer Sicht dazu geeignet, LSS im errichteten Zustand und bei Vorhandensein von unerwünschtem Fremdschall (z.B. Straßenverkehrslärm) zu untersuchen. Beim österreichischen Straßeninfrastrukturbetreiber ASFiNAG kommen deshalb die Messverfahren EN 17935 (Schallreflexion) und EN 17936 (Luftschalldämmung) für Detailuntersuchungen zur akustischen Abnahmeprüfung von Lärmschutzwänden entlang von Straßen zum Einsatz. Das zugehörige Abnahmeverfahren wurde erstmals in Wehr et al. (2019) beschrieben.

Da im Zuge der messtechnischen Untersuchungen von decarboNoise ausschließlich Verfahren in-situ nach EN 17935 und EN 17936 durchgeführt wurden, begrenzt sich die nachfolgende Detailbeschreibung auf die Messmethoden aus diesen beiden Normen. Mit den gewählten in-situ Messverfahren lassen sich unter anderem begrünte Steilwälle, die Teil der messtechnischen Untersuchungen waren, mit geringerem Aufwand als mit den Labor-Messverfahren (siehe auch Tabelle 5) untersuchen.

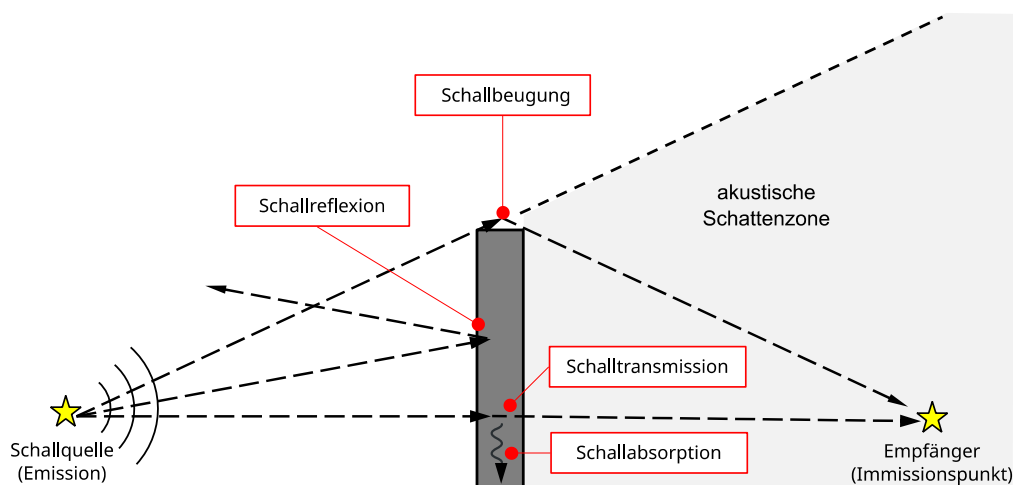


Abbildung 6: Akustische Phänomene bei Schallausbreitung von einem Emissionspunkt zu einem Immissionspunkt mit Lärmschutzwand im Ausbreitungspfad, angepasst von Morgan et al. (2014).

Tabelle 5: Europäische Normen zur Bestimmung intrinsischer akustischer Eigenschaften von Lärmschutzsystemen.

Akustische Eigenschaft	Schallfeld	Norm je nach Verkehrsträgerart		Einsatzort
		Straße	Schiene	
Schallabsorption	diffus	EN 1793-1	EN 16272-1	Labor
Luftschalldämmung		EN 1793-2	EN 16272-2	Labor
Schallbeugung	gerichtet	EN 1793-4	EN 16272-4	In-situ / Labor
Schallreflexion		EN 1793-5	EN 16272-5	In-situ / Labor
Luftschalldämmung		EN 1793-6	EN 16272-6	In-situ / Labor

2.3.1 In-situ Verfahren zu Messung der Luftschalldämmung

Das In-situ-Messverfahren für die Messung der Luftschalldämmung in einem gerichteten Schallfeld beruht auf der Erfassung von Impulsantworten unter Verwendung der Korrelationsmesstechnik. Ein geeignetes Prüfsignal wie eine MLS oder ein exponentieller Sinussweep wird an den Eingang eines Lautsprechers geschickt, welcher in Richtung des LSW weist. Abbildung 7 zeigt die Messanordnung für die Ermittlung der Luftschalldämmung. Die Messapparatur wird an einer LSW mit mindestens 4 m Breite und 4 m Höhe aufgebaut. Sie besteht im Wesentlichen aus der Mess- und Auswerteelektronik, einem auf einem Stativ montierten Lautsprecher, welcher die dem Verkehr zugewandte Seite der Lärmschutzwand beschallt, und einem Mikrofon, welches auf einem Messgitter auf der verkehrsabgewandten Seite der Wand der Reihe nach an 9 verschiedenen Positionen angebracht wird. Der Lautsprecher strahlt bei der Messung ein MLS- oder ein exponentielles Sweep-Prüfsignal ab. Das Mikrofon erfasst sowohl den über die Oberkante gebeugten als auch den durch die Wand tretenden Schall. Zur Bestimmung der Schalldämmung ist eine Referenzmessung in Abwesenheit der LSW notwendig, die in der gleichen geometrischen Konfiguration und unter vergleichbaren Umweltbedingungen durchgeführt wird.

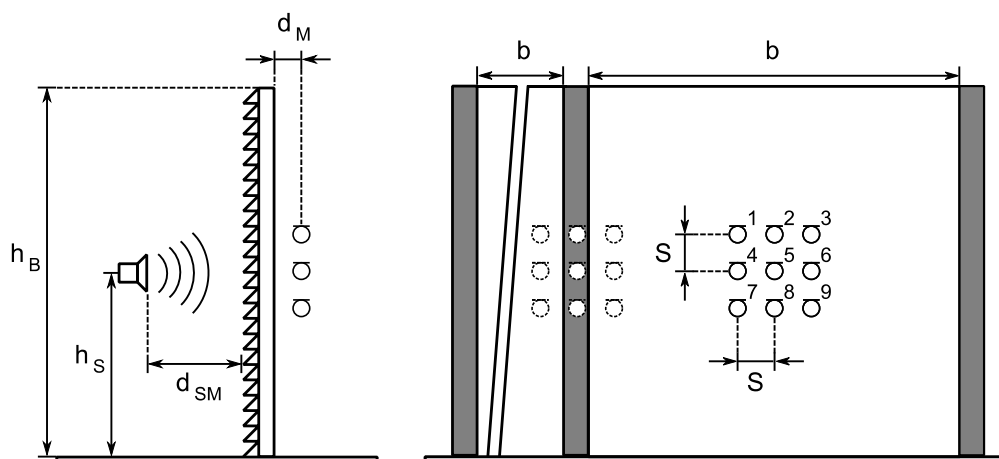


Abbildung 7: Seitenansicht (links) und Blick auf Wandrückseite (rechts) mit Messanordnung für die Bestimmung der Luftschalldämmung nach EN 1793-6:2021.

Die Schallenergie der Direktkomponente und die Schallenergie der transmittierten Komponente der Impulsantworten bilden die Grundlage zur Berechnung des Schalldämmungsindex. Dafür werden aus den mit den Mikrofonen aufgezeichneten Prüfsignalen mittels mathematischer Entfaltung oder Kreuzkorrelation die Impulsantworten bestimmt. Zur Ausschaltung von Störsignalen wird ein Zeitfenster auf die Impulsantwort angewandt. Die

Impulsantworten für durchgehendes und direktes Signal werden mit einem Korrekturfaktor für die unterschiedliche Signalwege versehen. Nach einer anschließenden Fourier-Transformation wird in jedem Terzband mit den Mittenfrequenzen von 200 Hz bis 5000 Hz der Schalldämmindex SI als Verhältnis zwischen direkter und durchgehender Schalleistung ermittelt. Außerdem wird nach EN 1793-6 über die Einzelpositionen gemittelt. Die über eine Fourier-Transformation der Impulsantworten des direkten und durchgehenden Signals gewonnenen Übertragungsfunktionen werden zueinander ins Verhältnis gesetzt und daraus wird das Betragsquadrat gebildet. Aus dem Verhältnis von durch die Wand hindurchtretendem zu direktem Schall werden nach den in EN 1793-6 angeführten Algorithmen die Schalldämmungsindizes SI (Sound-Insulation-Indices) (Gleichung 1) ermittelt.

$$SI_j = -10 \cdot \lg \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n \int_{\Delta f_j} |F[h_{tk}(t) \cdot w_{tk}(t)]|^2 df \left(\frac{d_k}{d_i}\right)^2}{n \cdot \int_{\Delta f_j} |F[h_i(t) \cdot w_i(t)]|^2 df} \right\} \quad (1)$$

- $h_i(t)$ *direkt einfallende Impulsantwort, Referenz*
- $h_{tk}(t)$ *transmittierte Impulsantwort am Punkt k*
- $d_i(t)$ *geometrischer Korrekturfaktor für Referenz*
- $d_k(t)$ *geometrischer Korrekturfaktor für transmittierte Impulsantwort am Punkt k*
- $w_i(t)$ *Adrienne-Zeitfenster für direkt einfallenden Impuls*
- $w_{tk}(t)$ *Adrienne-Zeitfenster für reflektierten Impuls beim k-ten Winkel*
- j *Index der j-ten Terzbänder (100 Hz bis 5 kHz)*
- Δf_j *j-tes Terzband*
- $n = 9$ *Anzahl der Abtastpunkte*
- F *Symbol für Fouriertransformation*

Auf Basis der Schalldämmungsindizes SI wird mit Hilfe des standardisierten Straßenverkehrslärmspektrum die Einzahlangabe DL_{SI} berechnet:

$$DL_{SI} = -10 \cdot \lg \left(\frac{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \cdot 10^{-0,1 \cdot SI_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right) \quad (2)$$

$m = 4$ Nummer des 200 Hz-Terzbandes

L_i dB(A)-Wert im i -ten Terzband des Verkehrslärms nach EN 1793-3

2.3.2 In-situ Verfahren zu Messung der Schallreflexion

Das In-situ-Messverfahren für die Messung der Schallreflexion im direkten (bzw. gerichteten) Schallfeld beruht ebenfalls auf der Erfassung von Impulsantworten unter Verwendung der Korrelationsmesstechnik. Ein geeignetes Prüfsignal wie eine MLS oder ein exponentieller Sweep wird an den Eingang eines Lautsprechers geschickt, welcher in Richtung des LSW weist (siehe auch Abbildung 8). Das grundlegende Prinzip zur Bestimmung der Impulsantworten und darauf aufbauend Ermittlung der Übertragungsfunktionen ist mit jenem aus EN 1793-6 identisch. Analog zum In-situ Verfahren zur Messung der Luftschalldämmung wird ein Raster von 9 Mikrofonen verwendet. Um das vom LSS reflektierte Signal vom emittierten Signal zu trennen, muss eine Messung ohne Lärmschutzwand unter sonst gleichen Bedingungen durchgeführt werden. Die daraus ermittelten Referenzimpulsantworten werden benutzt, um mittels Signalsubtraktion im definierten Zeitbereich den vom LSS reflektierten Anteil zu isolieren. Abbildung 8 zeigt die Messanordnung für die Ermittlung der Schallreflexion.

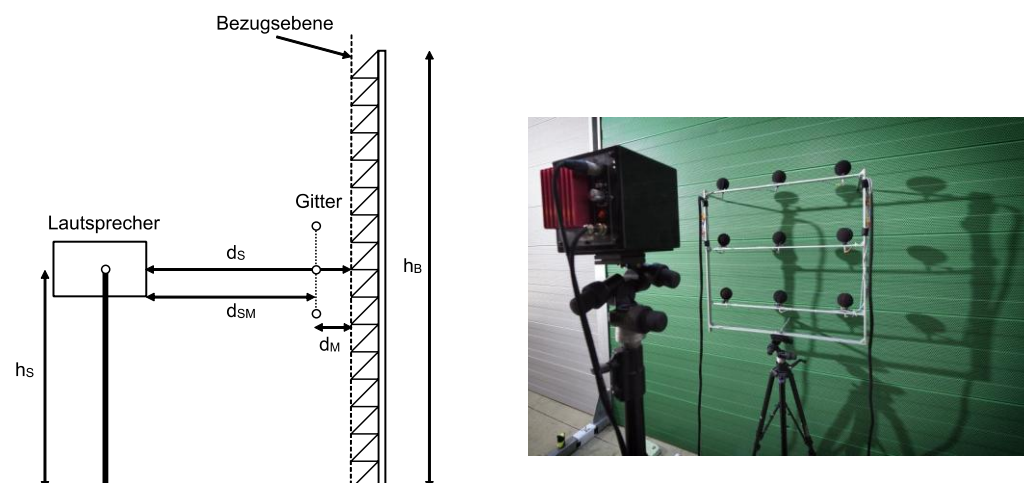


Abbildung 8: Seitenansicht (links) der Messanordnung für die Bestimmung der Schallreflexion nach EN 1793-5:2019 und Messanordnung an einer realen LSW (rechts).

Zur Ausschaltung von Störsignalen wird auch hier ein Zeitfenster auf die Impulsantwort des Reflexionssignals angewandt. Die Impulsantworten für reflektiertes und direktes Signal werden mit einem Korrekturfaktor für die unterschiedliche Signallaufzeit versehen. Nach einer anschließenden Fourier-Transformation wird in jedem Terzband mit den Mittenfrequenzen von 200 Hz bis 5000 Hz der Reflexionsgrad als Verhältnis zwischen einfallender und reflektierter Schalleistung ermittelt. Außerdem wird nach EN 1793-5 gemittelt. Der Reflexionsindex ist folgendermaßen definiert:

$$RI_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \left[\frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_{r,k}(t) \cdot w_r(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_{i,k}(t) \cdot w_i(t)]|^2 df} \cdot C_{geo,k} \cdot C_{dir,k}(\Delta f_j) \cdot C_{gain,k}(\Delta f_g) \right] \quad (3)$$

- $h_{i,k}(t)$ direkt einfallende Impulsantwort, Referenz der Mikrofonposition k
- $h_{r,k}(t)$ reflektierte Impulsantwort bei der Mikrofonposition k
- $w_{i,k}(t)$ Adrienne-Zeitfenster für direkt einfallenden Impuls bei Mikrofonposition k
- $w_{r,k}(t)$ Adrienne-Zeitfenster für reflektierten Impuls bei Mikrofonposition k
- t Signallaufzeit
- Δf_j j -tes Terzband
- n_j Anzahl der Mikrofonpositionen

F Symbol für Fouriertransformation

$C_{geo,k}$ Korrekturfaktor für die Schallausbreitung zur Mikrofonposition k

$C_{dir,k}$ Korrekturfaktor für die Richtcharakteristik des Lautsprechers

$C_{gain,k}$ Korrekturfaktor für Änderungen in der Verstärkerkette

Der so erhaltene Wert stellt den Reflexionsindex im entsprechenden Frequenzband dar. Der Reflexionsindex bewegt sich prinzipiell zwischen 0 und 1, wobei 0 für vollständige Absorption und 1 für vollständige Reflexion steht. Es ist allerdings anzumerken, dass aufgrund der Messung im Nahfeld durch Interferenzeffekte Reflexionsindizes größer eins auftreten können. Der spektrale Verlauf des Reflexionsindex gibt über die frequenzabhängigen Absorptionseigenschaften Auskunft, wobei vor allem die Frequenzlage und die Breite der Reflexionsminima von Interesse sind.

Um zu einer Einzahlangabe, dem Einzelwert-Index DL_{RI} , für die Bewertung von Lärmschutzelementen zu kommen, wird eine Gewichtung mit dem Verkehrslärmspektrum nach EN 1793-3 vorgenommen:

$$DL_{RI} = -10 \cdot \lg \left(\frac{\sum_{i=m}^{18} RI_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right) \quad (4)$$

$m = 4$ Nummer des 200 Hz-Terzbandes

L_i dB(A)-Wert im i -ten Terzband des Verkehrslärms nach EN 1793-3

Die ermittelten DL_{RI} -Werte geben Auskunft über das Schallabsorptionsvermögen der Lärmschutzelemente unter Verkehrslärm, wobei höhere DL_{RI} -Werte einer besseren Schallabsorption entsprechen.

Eine genauere Beschreibung der Messmethoden kann den jeweiligen Normen entnommen werden.

2.3.3 Europäische Datenbank zu akustischen Eigenschaften von Lärmschutzsystemen

Im Zuge des europäischen Forschungsprojekts SOPRANOISE wurde am AIT eine Datenbank erstellt, die messtechnisch ermittelte akustische Eigenschaften unterschiedlicher LSS enthält. Zusätzlich umfasst jeder Datensatz zu einer Messung eine Reihe von Metadaten zu nicht-akustischen Eigenschaften des gemessenen LSS. In ihrer aktuellen Version beinhaltet die Datenbank akustische Eigenschaften aus den Messmethoden nach den Normen EN 1793-1, EN 1793-2 und EN 1793-5 und EN 1793-6, wobei vorwiegend Lärmschutzwände aus den Materialien Beton, Holzbeton, Holz, sowie Metallkassetten mit integriertem akustischem Absorber vorhanden sind. Die Datensätze beinhalten keine Zusatzinformationen über den Einbauzustand während der Messungen. Für das Projekt decarboNoise wurde die Datenbank herangezogen, um akustische Eigenschaften von potenziell nachhaltigen LSS mit vorhandenen Datensätzen zu vergleichen. Im Folgenden wird ein kompakter Überblick über den Inhalt der Datenbank gegeben. Eine detaillierte Beschreibung der Datenbank befindet sich in Conter et al. (2021).

Zum Projektstart von decarboNoise umfasste die SOPRANOISE-Datenbank 1.263 Datensätze mit Einzahlwerten zu den berücksichtigten Messmethoden. Nach Messmethoden separiert standen folgende Datensätze zur Verfügung:

Tabelle 6: Anzahl Datensätze in SOPRANOISE-Datenbank je Messnorm in Form von Einzahlangabe. *Anzahl Datensätze für Messungen an LSS an Element / an Pfosten / als Globalwert.

Messnorm	Akustische Eigenschaft	Anzahl Datensätze
EN 1793-1	Schallabsorption	138
EN 1793-2	Luftschalldämmung	72
EN 1793-5 / CEN/TS 1793-5	Schallreflexion	359
EN 1793-6*	Luftschalldämmung	267 / 244 / 183

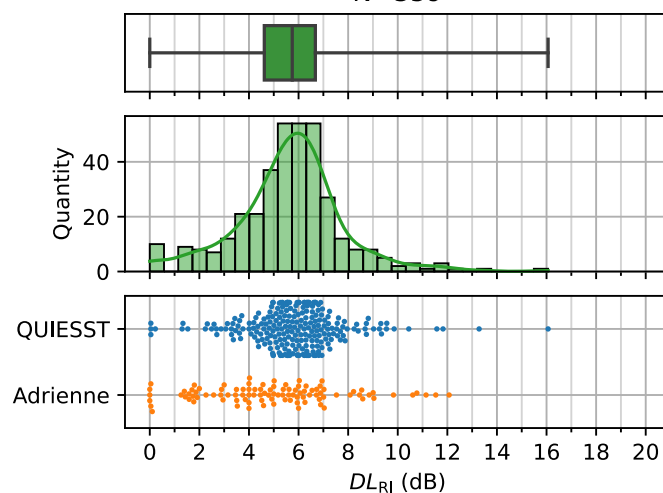
Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen einen Überblick zum Datenbankinhalt für die In-situ Messverfahren. Diese werden für den Vergleich mit den potenziell nachhaltigen, neuartigen Lärmschutzwänden herangezogen.

2.3.3.1 Überblick über die Ergebnisse der Schallreflexion nach EN 1793-5 / CEN/TS 1793-5

Der obere Teil von Abbildung 9 zeigt eine statistische Beschreibung der Datensätze zu Schallreflexionsmessungen hinsichtlich der Einzahlbewertung (DL_{RI}). Während die oberste Grafik die Werteverteilung in Form eines Boxplots zeigt, ist im zweitobersten darunter gelegenen Plot das zugehörige Histogramm mit Kernel-Dichte-Schätzung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion aufgetragen. Der dritte oberste Plot von oben umfasst eine Unterteilung der gemessenen Einzahlwerte nach EN 17935 (blaufarbige Punkte – QUIESST) und CEN/TS 17935 (orangenfarbige Punkte - Adrienne). Im untersten Plot in Abbildung 9 sind die Einzahlmesswerte der verfügbaren Datensätze in unterschiedliche Materialkombinationen unterteilt (entsprechend der Klassifizierung aus Conter et al. 2021), wobei die Verteilung für jede betrachtete Materialzusammensetzung in Form eines kombinierten Violin-Dot-Plots visualisiert ist.

Die statistischen Beschreibungen der Einzahlwerte der gemessenen Schallreflexion in Abbildung 9 zeigen, dass 65 % aller Datensätze von LSS stammen, die Metallkassetten, Holzbeton oder Beton als wesentliche Konstruktionsbestandteile beinhalten. Der Medianwert der Schallreflexionsindizes DL_{RI} über alle Konstruktionsvarianten liegt gerundet bei 6 dB. Zudem weisen die statistischen Verteilungen von LSS aus Metall- und Holz ähnliche Formen auf, da die meisten Werte zwischen 3 und 7 dB liegen. LSS aus Metallkassetten umfassen jedoch DL_{RI} -Werte im Bereich um 8 dB und in vereinzelt Fälle Werte zwischen 10 bis 12 dB. Die schallabsorbierenden Eigenschaften von LSS aus Metallkassetten werden in der Regel von einer akustisch porösen Absorberschicht geprägt. Andere Materialien wie Beton und Holzbeton weisen eine breitere Streuung auf, die von (nahezu) 0 bis 10 und bis zu 12 dB bei speziellen Prototypen (für den gesamten Frequenzbereich) reicht. Bei den anderen Materialien und bei Kunststoffen kann der Bereich ebenfalls sehr unterschiedlich sein, von Werten von 0 dB bis zu Werten um 9 bis 10 dB. Barrieren aus transparentem Material sind naturgemäß weniger schallabsorbierend und erreichen Werte zwischen 0 und 4 dB, während sich die höheren Werte auf Misch-LSS mit bis zu 50 % transparentem Material beziehen.

All Data (considering different frequency ranges)
N=359



All Data (considering different frequency ranges)

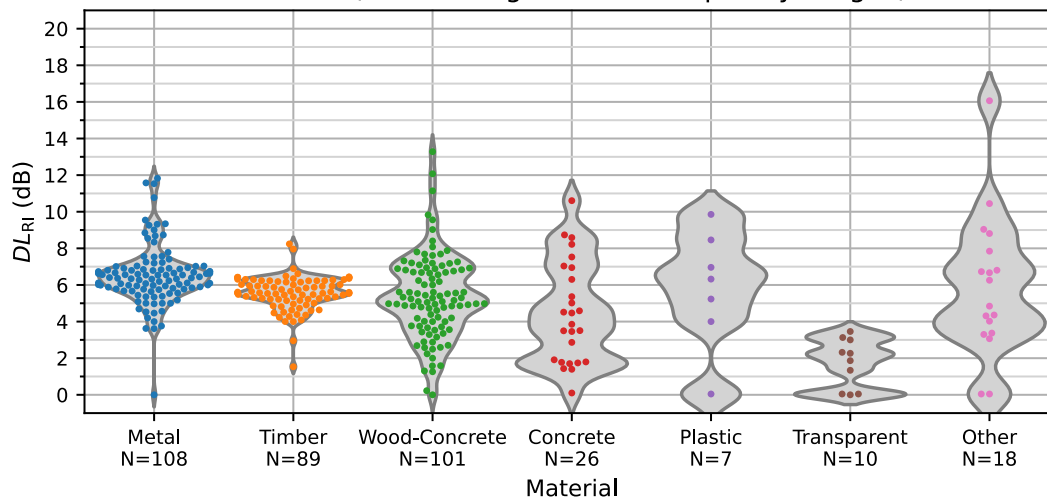


Abbildung 9: Statistische Beschreibung der Daten aus der SOPRANOISE-Datenbank für Schallreflexion nach EN 1793-5 und CEN/TS 1793-5 Gesamtwerte (oben) und Unterteilung in verschiedenen Materialzusammensetzung (unten) (Quelle: SOPRANOISE D2.2, Conter et al. 2021). Der Fließtext enthält eine genauere Beschreibung der Grafiken.

2.3.3.2 Überblick über die Ergebnisse der Luftschalldämmung nach EN 1793-6

Abbildung 10 zeigt die statistische Beschreibung der Ergebnisse der Einzahlbewertung der Luftschalldämmung nach EN 1793-6. In allen Plots werden die gleichen statistischen Beschreibungsmethoden wie in den Plots von Abbildung 9 angewandt. In Abbildung 10 wird jedoch in den obersten drei Plots bei den DL_{SI} -Werten farblich in Werte von Wandelementmessungen, Pfostenmessungen, und Globalwerte unterteilt. Im untersten Plot wird wie im untersten Plot von Abbildung 9 zwischen Materialkombination differenziert.

Die statistischen Beschreibungen der DL_{SI} -Werte für LSS mit Metallkassetten (Elemente) liegen tendenziell zwischen 25 dB und 40 dB, während LSS aus Holz eine größere Streuung zwischen 15 und 42 dB aufweisen. Transparente, Kunststoff- und Betonbarrieren erreichen höhere Werte zwischen 30 und 45 dB. Holzbeton ist das Material mit der größten Streuung, da die Werte von einem Minimum von 15 dB bis zu sehr hohen Werten von bis zu 66 dB reichen können. Diese Streuung kann unter anderem durch das Vorhandensein von LSS mit und ohne massiver Betontragschicht in dieser Kategorie erklärt werden.

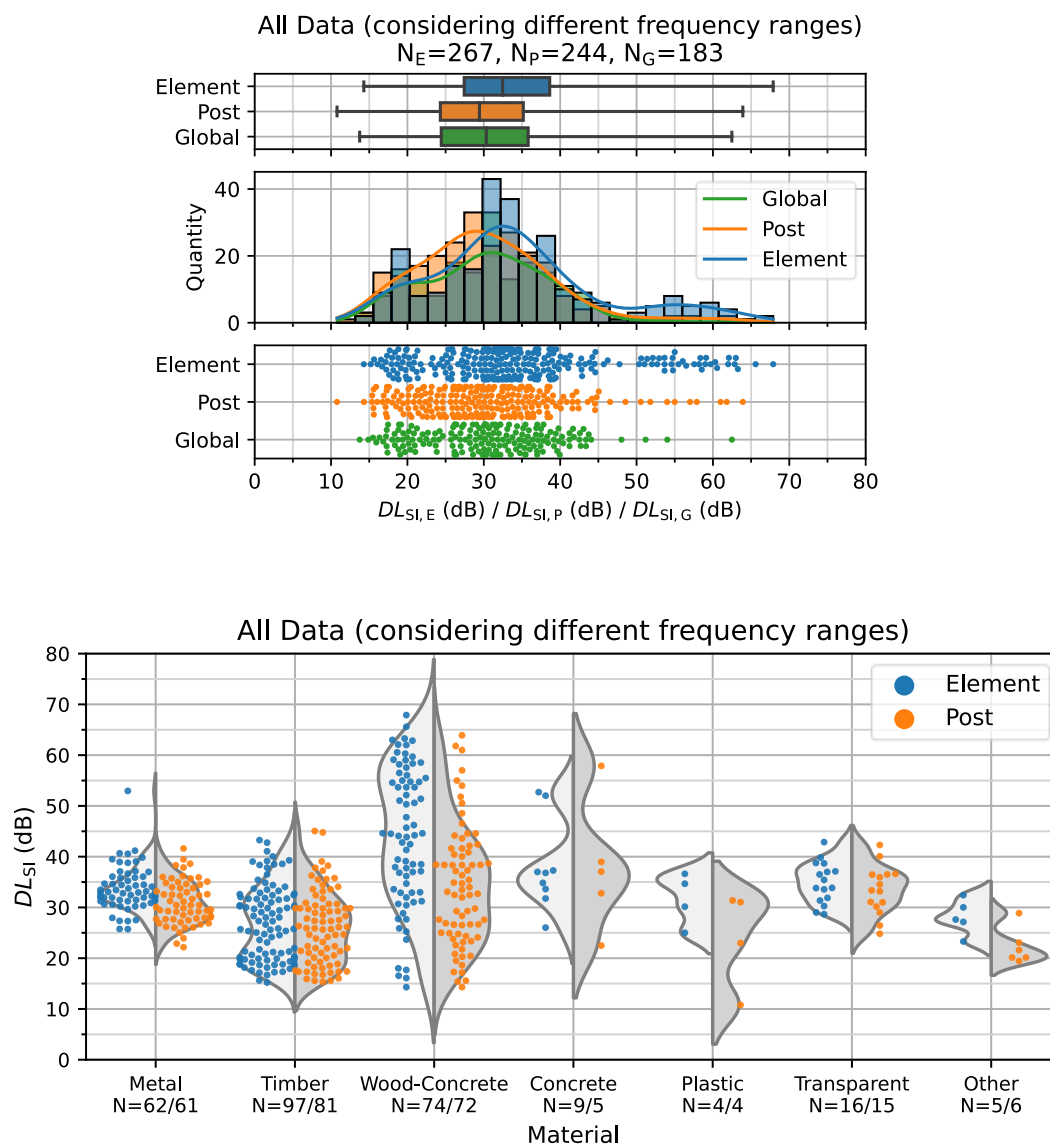


Abbildung 10: Statistische Analyse der in Daten aus der SOPRANOISE Datenbank für Schallreflexion nach EN 1793-6: Gesamtwerte (oben) und Unterteilung in verschiedenen Materialien (unten) (Quelle: SOPRANOISE D2.2, Conter et al. 2021). Der Fließtext enthält eine genauere Beschreibung der Grafiken.

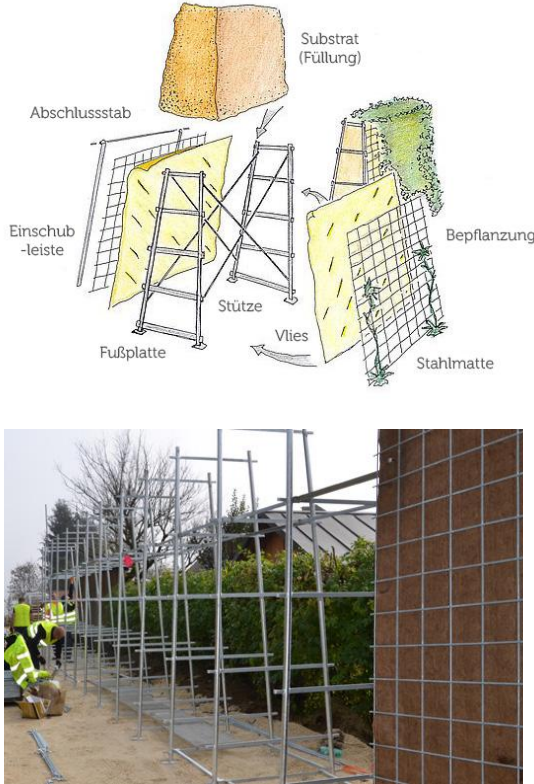
2.4 Potenziell nachhaltige LSS am Markt und Fallbeispiele

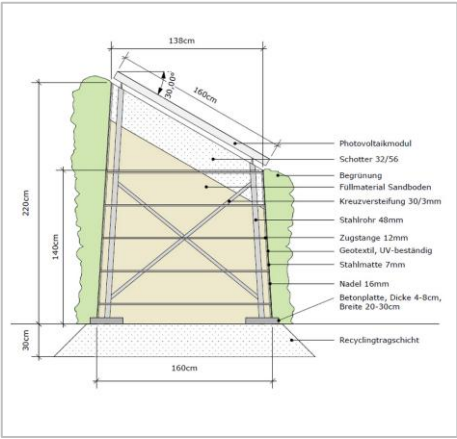
2.4.1 Prototypen und bereits am Markt vorhandenen Lösungen

Im Zuge der Recherchen zum Stand der Forschung und der Technik wurde eine Reihe am Markt erhältlicher potenziell nachhaltiger LSS identifiziert und später weitere potenziell nachhaltige LSS, die sich während des Forschungsvorhabens im Prototypenstadium befanden. Der Fokus lag hier auf system- bzw. produktspezifischen Eigenschaften - daher wurden Hersteller innovativer und nachhaltiger LSS sowie Infrastrukturbetreiber und Behörden involviert. Zusätzlich wurden möglichst neue potenziell nachhaltige Lösungen untersucht, die aus aktueller technischer Sicht das Potenzial haben, auch bei Straßenbetreibern eingesetzt zu werden. Relevante Ergebnisse der Recherche sind in Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 7: Ergebnisse der Recherche zu naturnahen und wiederverwendbaren Materialien bei Prototypen oder bereits am Markt vorhandenen Lärmschutzsystemen.

Lärmschutzsystem	Exemplarische Darstellung
LSW aus Schilf (bzw. Kombination aus Schilf und Lehm) und Thermoholz der Firma REEDuce, war zu Projektstart noch nicht kommerziell erhältlich, wurde im Zuge von Arbeitspaket 5 von decarboNoise messtechnisch untersucht (Quelle Fa. REEDuce).	 

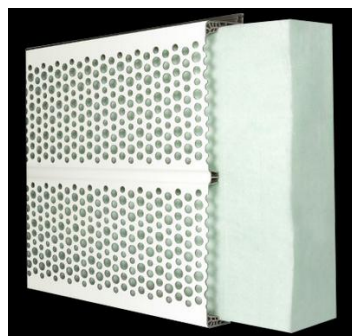
Prototyp einer Wandkonstruktion in Lehmbauweise, Projekt "Brandenburgs Alhambra" (Fotos: BAST).	
Hanf-Absorber (Hanfwolle) der Firma Rau (Quelle Fa. Rau).	
Begrüntes LSS der Firma Gieselbrecht / Grünkonzept (Quelle Fa. Gieselbrecht).	

	
Begrünte LSS mit PV-Anlagen der Firma Rau (Quelle Fa. Rau).	 

Begrünte LSS der Firma Rau
(Quelle Webseite Fa. Rau).



Lärmschutzelemente aus 90 %
wiederverwendetem PVC und
100 % wiederverwendbaren
Materialien: Firma Noise.
(Quelle: Webseite Firma Noise
Srl)



2.4.2 Fallbeispiele realisierter potenziell nachhaltiger LSS

Neben Recherchen zu kommerziell erhältlichen LSS wurde eine Reihe realisierter potenziell nachhaltiger LSS identifiziert. Die Identifikation von Fallbeispielen erfolgte mit Unterstützung von Straßeninfrastrukturbetreibern aus dem D-A-CH-Raum. Die Ergebnisse dieser Recherche flossen in die Auswahl von Wänden für die messtechnischen Untersuchungen (Abschnitt 3), sowie in die berücksichtigten Aspekte der CO₂- und Nachhaltigkeitsbilanzierung (Abschnitt 4) ein. Die Ergebnisse der Recherche sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Ergebnisse der Recherche zu naturnahen und wiederverwendbaren Materialien bei Prototypen oder bereits am Markt vorhandenen Lärmschutzsystemen.

Fallbeispiel	Beispielbilder
ASFiNAG Projekt: in Österreich wurde an der Autobahn A22 bei ca. km 12 im Jahr 2009 eine Lärmschutzwand aus Schilf und Lehm errichtet. Die Wand umfasst Kombinationen mit anderen Materialien wie Holzbeton und Aluminium. Die Lärmschutzwand wurde im Jahr 2019 bei unterschiedlichen Querschnitten akustisch vermessen. Die zugehörigen Messdaten wurden im Projekt decarboNoise berücksichtigt (Fotos: AIT).	

ASFiNAG Projekt: in Österreich an der Autobahn A2 in Völkermarkt bei km 279,32 wurden im Jahr 2012 Altreifen mit Bewuchs eingebaut. Es sind keine Akustikmessungen vorhanden, überprüft wurde bisher nur der bauliche Erhaltungszustand (Quelle: ASFiNAG).	
ASFiNAG Projekt: in Österreich an der Schnellstraße S5 bei Zaina wurde im Jahr 2021 eine begrünte Lärmschutzwand erreicht. Die Vegetation war zu Projektstart von decarboNoise noch nicht vorhanden. Es wurden akustische Abnahmeprüfungen durchgeführt und die Ergebnisse der Messungen werden im Projekt betrachtet (Foto: AIT).	
ASFiNAG Projekt: in Österreich an der Autobahn A12 bei Kramsach wurde im Jahr 2022 eine begrünte Lärmschutzwand errichtet. Es wurde die akustische Abnahmeprüfung durchgeführt und die Ergebnisse der Messungen wurden im Projekt betrachtet (Quelle: ASFiNAG).	
ASFiNAG Pilotprojekt: in Österreich wurde im Jahr 2023 an der Schnellstraße S33 eine Lärmschutzwand aus Schilf und Lehm. Es wurde die akustische Abnahmeprüfung durchgeführt und die Ergebnisse der Messungen wurden im Projekt betrachtet (Foto: AIT).	

Projekt "Brandenburgs Alhambra", Untersuchungen der BAST aus 2022 und 2024: Messung der Schallabsorption im Impedanzrohr an Lehm-Probekörpern unterschiedlicher Zusammensetzung und Herstellungsart. In-situ-Messungen nach DIN EN 1793-5 an einer Lehm-Lärmschutzwand stehen noch aus (Foto: BAST).	
An der B15 in Bayern (Deutschland) wurden im Jahr 2023 Lärmschutzelemente für eine Länge von 740 Meter und eine Höhe von 3 Meter errichtet. Die Holz Lärmschutzwand ist mit so genannten Canwool-Absorbern aus Hanf ausgestattet. Derzeit liegen noch keinen Akustikmessungen vor Ort, sondern nur Hallraummessungen vom Absorber selbst (Foto: Fa. Rau).	

3 Akustische Messungen und Klassifizierungen für Berechnungstool

Aufbauend auf den in Abschnitt 2.4 identifizierten potenziell nachhaltigen Lärmschutzsystemen (LSS) wurden akustische In-situ-Messungen an ausgewählten LSS durchgeführt. Dabei wurden die in Abschnitt 2.3 erläuterten akustischen Messverfahren zur Bestimmung der Schallreflexion (EN 1793-5) und der Luftschalldämmung (EN 1793-6) angewandt. Aus den daraus gewonnenen Messergebnissen für potenziell nachhaltige LSS fand eine Diskussion und Einordnung der Ergebnisse im Kontext der in Abschnitt 2.3.3 vorgestellten SOPRANOISE-Datenbank statt. Die Erkenntnisse flossen in die Entwicklung des Berechnungstools ein, welches in Abschnitt 5 beschrieben ist. Dieser Abschnitt beinhaltet sowohl für das Projekt decarboNoise exklusiv durchgeführte Messungen als auch die oben genannten historischen Messdaten.

3.1 In-situ-Messungen

Um die akustischen Eigenschaften potenziell nachhaltiger LSS zu untersuchen, wurde eine Reihe akustischer Messungen an ausgewählten LSS durchgeführt. Zur Bestimmung der Schallreflexions- und Luftschalldämmungseigenschaften kamen die Messverfahren nach den Normen EN 1793-5 und EN 1793-6 zum Einsatz. Der Einsatz von In-situ-Messverfahren bot den Vorteil, LSS im installierten Zustand entlang von Straßenwegen zu untersuchen.

In Abstimmung mit den Auftraggebern wurde beschlossen, im Projekt decarboNoise den Untersuchungsschwerpunkt auf LSS mit Schilf als Konstruktionsmaterial, sowie auf begrünte Steilwälle zu legen. Als Basis für die Auswahl geeigneter Messorte dienten die in Abschnitt 2.4 beschriebenen Recherchen zu kommerziell verfügbaren potenziell nachhaltigen LSS, sowie zu an Straßenwegen errichteten potenziell nachhaltigen LSS.

3.1.1 LSW mit Schilf und Lehm als Konstruktionsmaterial

Im Zuge der messtechnischen Untersuchungen an LSS aus Schilf wurden In-situ-Messungen im Labor sowie an ausgewählten Orten entlang hochrangiger Straßen in Österreich durchgeführt. Tabelle 9 gibt dazu einen Überblick.

Tabelle 9: Überblick zu betrachteten akustischen Messungen an Schilf-LSW.

Schilf-LSW	Messort	Errichtungsjahr	Akustische Eigenschaften
Variante 1	Schnellstraße S33	2019	Schallreflexion, Luftschalldämmung
Variante 2	AIT-Prüfstand	neu	Schallreflexion, Luftschalldämmung
Variante 3	Autobahn A22	2009	Luftschalldämmung

Messungen LSW Schnellstraße S33

Für den 2019 errichteten Lärmschutzwandabschnitt (Variante 1 in Tabelle 9) wurden unter anderem für decarboNoise in den Jahren 2023 und 2025 akustische Messungen durchgeführt. Wie in Abbildung 11 dargestellt, umfasst der Abschnitt vier LSW-Felder (hier als Felder A-D bezeichnet), wobei jedes Feld aus einem Betonsockel und drei Elementen aus Schilf und Lehm mit je 1 m Höhe besteht. Die Materialien sind zudem von einem Holzrahmen umgeben. Da die Gesamthöhe der LSW-Felder kleiner als 4 m bzw. die Höhe des Bereiches mit Schilf-Elementen kleiner als 4 m ist, umfassen die entsprechenden Einzahlwerte DL_{RI} und DL_{SI} nicht den vollen Normfrequenzbereich von 200 Hz bis 5 kHz.



Abbildung 11: untersuchte Schilf-LSW an den Schnellstraße S33.

Die ermittelten und in Abbildung 12 visualisierten Einzahlwerte DL_{SI} liegen für alle untersuchten Felder im Jahr über 25 dB. Auch für die Messungen im Jahr 2025 (in Abbildung 12 nicht dargestellt) liegen die Einzahlwerte $DL_{SI,E(250-5000Hz)}$ bei 28,1 dB (Element Feld B) und 28,4 dB (Element Feld C).

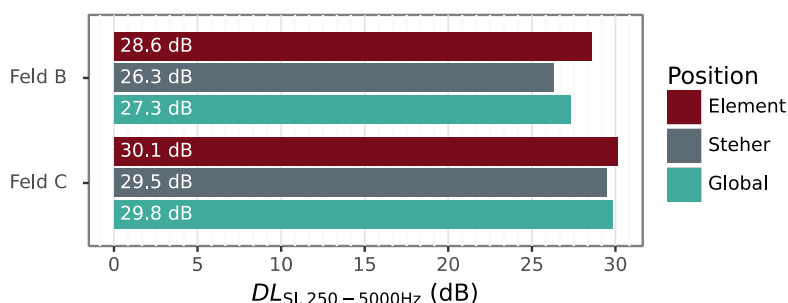


Abbildung 12: Einzulangabe der Luftschalldämmung DL_{SI} für die gemessene Position „Element“ (Mikrofon gitter auf Element zentriert) und Position „Steher“ (Mikrofon gitter auf Steher zentriert) im Jahr 2023.

Bei den ermittelten Einzählwerten zur Schallreflexion (siehe Abbildung 13) zeichnet sich ein differenziertes Bild. Während eine Zentrierung des Messaufbaus auf den mittleren Holzbalken (siehe Abbildung 11 links für Wandaufbau) in DL_{RI} -Werte zwischen 4,0 und 4,9 dB resultierte, führten Messungen mit Zentrierung des Messaufbaus auf die Schilfoberfläche (13,5 cm oberhalb des mittleren Holzbalkens) zu Werten von 2,3 dB bis 3,1 dB. Bei Betrachtung der zugehörigen Schallreflexionsindizes R_I in Abbildung 14 offenbart sich für Position B (Mikrofon gitter auf Schilf zentriert) ein ausgeprägtes Reflexionsverhalten. Werte über 1 für Frequenzen ≥ 2 kHz sind hier mit hoher Wahrscheinlichkeit auf lokale akustische Interferenzeffekte an den Mikrofonpositionen zurückzuführen. Ein vergleichbarer Trend des Reflexionsverhaltens konnte auch bei den Messungen im Jahr 2025 beobachtet werden. Akustische Untersuchungen an weiteren Konstruktionsvarianten von Schilf-LSW zeigen, dass das hier beobachtete Reflexionsverhalten nicht verallgemeinernd dem Konstruktionsmaterial Schilf zugeordnet werden kann.

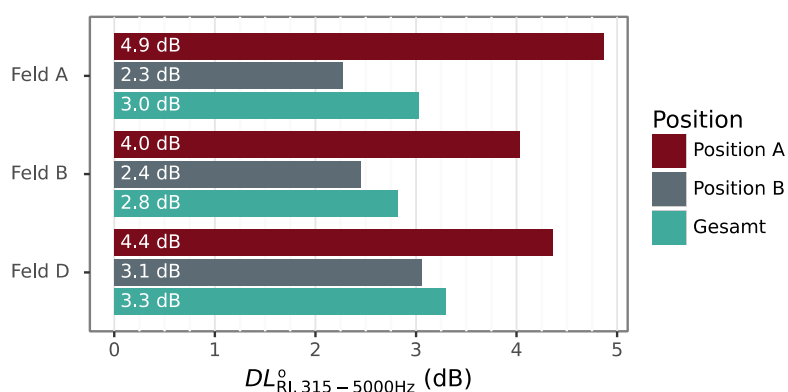


Abbildung 13: Einzulangabe der Schallreflexion DL_{RI} für die gemessene Position A (Mikrofon gitter auf Holzbalken zentriert, Position nach Norm) und Position B (Mikrofon gitter auf Schilf zentriert) im Jahr 2023.

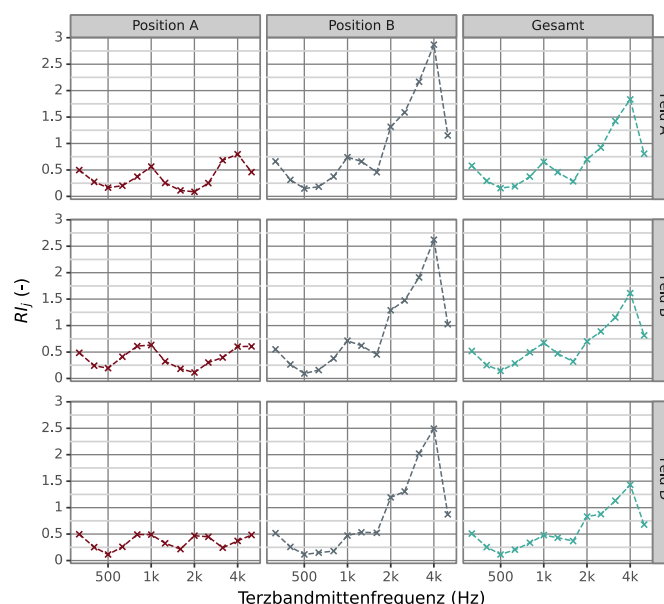


Abbildung 14: Schallreflexionsindex R_{fj} für die im Fließtext beschriebenen Referenzpositionen für die drei untersuchten Schilf-LSW-Felder im Jahr 2023. Für die Ermittlung der Einzahlwerte DL_{RI} wurden Schallreflexionsindizes ≥ 1 gemäß EN 1793-5 auf 0.99 begrenzt.

3.1.1.1 Messungen AIT-Prüfstand

Für eine weitere Konstruktionsvariante einer LSW mit Schilf (Variante 2 in Tabelle 9) fanden am LSW-Prüfstand des AIT in Wien Untersuchungen statt. Wie in Abbildung 15 (Symbolbild) ersichtlich, bestand ein LSW-Element unter anderem aus Schilf, das von einem Holzrahmen umgeben war. Zusätzlich wies jedes Element an der Rückseite eine vertikale Holzbeplankung auf.



Abbildung 15: Skizze von Vorder- und Seitenansicht (links) der untersuchten LSW aus Schilf (ockerfarbener Bereich) und Holz (braunfarbiger Bereich) sowie LSW-Prüfstand des AIT (rechts, Symbolbild).

Aus dem in Abbildung 16 dargestellten Frequenzverlauf des Schalldämmungsindex ergibt sich ein Einzahlwert DL_{SI} von 38,5 dB für die Messposition in der Mitte des LSW-Feldes. Die Messung der Schallreflexion wurde an insgesamt 6 unterschiedlichen Referenzpositionen durchgeführt. Auf Abbildung 15 und Abbildung 17 bezogen wurde der Messaufbau einmal auf die Mitte des Feldes („Mitte / Unten“), geringfügig oberhalb zwischen Holzbalken und Schilf („Mitte / Mitte“), oberhalb in der Mitte des Schilf-Bereiches („Mitte / Oben“), oberhalb zwischen zwei Schilfbereichen („Rechts / Oben“), auf den Übergang zwischen zwei Schilfbereichen und horizontalem Holzbalken („Rechts / Mitte“), zwischen zwei horizontalen Holzbalken rechts der Feldmitte („Rechts / Unten“) zentriert. Der aus Messungen ermittelte Reflexionsindex R_I liegt je nach Position ab der Terzbandmittenfrequenz 630 Hz in einem Wertebereich um 0,5 oder darunter. Die zugehörigen DL_{RI} -Werte liegen je nach Messpunkt zwischen 4,5 dB und 5 dB. Für Terzbandmittenfrequenzen unter 630 Hz steigt das akustische Reflexionsverhalten auf R_I knapp unter den Wert 1 an. Im für das Straßenverkehrslärmspektrum nach EN 1793-3 relevantesten Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 2 kHz zeigte die Schilfoberfläche dieser LSW ein moderates Reflexionsverhalten.

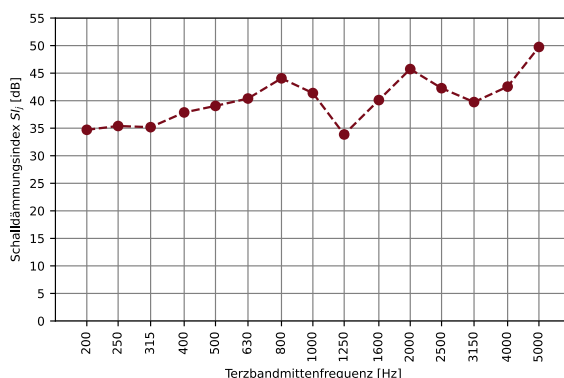


Abbildung 16: Schalldämmungsindex S_{Ij} , gemessen in einer Feldmitte der Schilf-Holz-LSW.

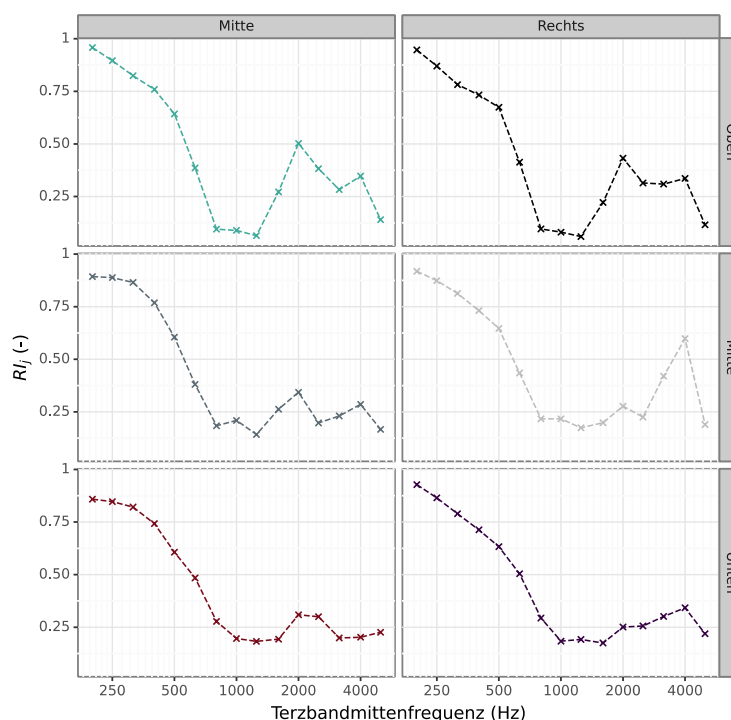


Abbildung 17: Schallreflexionsindex R_{fj} für die im Fließtext beschriebenen und in Abbildung 15/Abbildung 16 links dargestellten Referenzpositionen.

3.1.1.2 Messungen LSW Autobahn A22

Eine dritte Konstruktionsvariante einer LSW mit Schilf als Material stammt aus historischen Daten zu Messungen, die an der Autobahn A22 in Österreich von AIT durchgeführt wurden. Bei der LSW handelte es sich um eine Mischwand, die aus den Materialien Holzbeton, Holz und Schilf besteht. Wie in Abbildung 18 ersichtlich, beinhalten die LSW-Felder neben Schilf auch Elemente aus Holzbeton. Da die Gesamthöhe der LSW-Elemente aus Schilf 2 m beträgt, ergab sich für die Bestimmung der Schalldämmung gemäß EN 1793-6 eine untere Grenzfrequenz von 400 Hz. Die Gegenüberstellung der Messergebnisse für unterschiedliche Materialabschnitte in Tabelle 10 legt nahe, dass LSW mit Schilf als Konstruktionsmaterial zu einer Luftschalldämmung führen kann, die mit jener von LSW aus etablierten Materialien wie Holzbeton vergleichbar ist, oder sie in diesem spezifischen Fall übertrifft.

Tabelle 10: Einzahlangaben der Luftschalldämmung für verschiedene Materialkombinationen. gemessen an der LSW an der Autobahn A22.

LSW-Aufbau	$DL_{Si,E(400-5000Hz)}$
Schilf	28,1 dB
Schilf und Holzbeton, Normposition nach EN 1793-6	26,0 dB

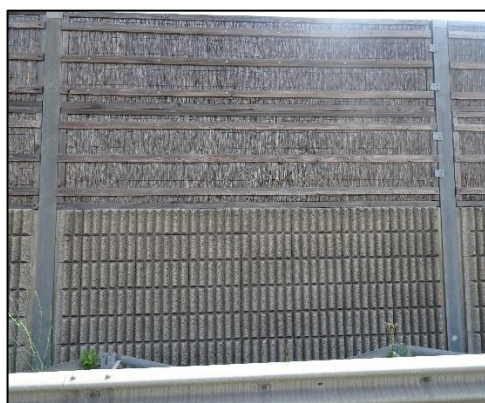


Abbildung 18: Vorderseite der an der Autobahn A22 untersuchten Schilf-Holzbeton-LSW bei Messungen der Luftschalldämmung (links) sowie Rückseite der LSW (rechts).

3.1.2 Steilwälle

Bei der zweiten im Projekt untersuchten potenziell nachhaltigen LSS-Art handelt es sich um (begrünte) Steilwälle, wie sie exemplarisch in Tabelle 8 dargestellt sind. Tabelle 11 listet die in diesem Abschnitt betrachteten Varianten von Steilwällen auf.

Tabelle 11: Überblick zu betrachteten akustischen Messungen an Steilwällen in Österreich.

Steilwall	Messort	Errichtungsjahr	Akustische Eigenschaften
Variante 1	Schnellstraße S7	2024	Schallreflexion, Luftschalldämmung
Variante 2	Autobahn A7 / Bundesstraße B125	2022	Schallreflexion, Luftschalldämmung
Variante 3	Schnellstraße S5	2021	Schallreflexion, Luftschalldämmung

3.1.2.1 Steilwall Schnellstraße S7

An der 2025 vollständig freigegebenen Schnellstraße S7 wurde 2024 eine Reihe akustischer Messungen an zum Messzeitpunkt noch unbewachsenen Steilwällen (Variante 1 in Tabelle 11) durchgeführt, die in Abbildung 19 exemplarisch dargestellt sind. Insgesamt fanden an einem Abschnitt Luftschalldämmungsmessungen, und an 6 unterschiedlichen Anschnitten Schallreflexionsmessungen statt. An den untersuchten Abschnitten wies der Wall eine Gesamthöhe zwischen 3,44 m bis 5 m auf. Da die in den Konstruktionszeichnungen angegebene Mindestdicke des Walls 0,79 m betrug, und die ersten Schalldämmungsmessungen zu einem verhältnismäßig hohen DL_{SI} -Wert von 42 dB führten (siehe auch Abbildung 20 links für Frequenzverlauf), wurde der Fokus vor Ort auf Messungen der Schallreflexion gelegt. Die daraus resultierenden Messungen führten zu DL_{RI} -Werten zwischen 1,9 dB und 5 dB, wie in Abbildung 20 rechts dargestellt.



Abbildung 19: Seitenansicht eines Steilwalls an der Schnellstraße S7 (links) und durchgeführte Schallreflexionsmessung an exemplarisch untersuchtem Steilwallabschnitt (rechts).

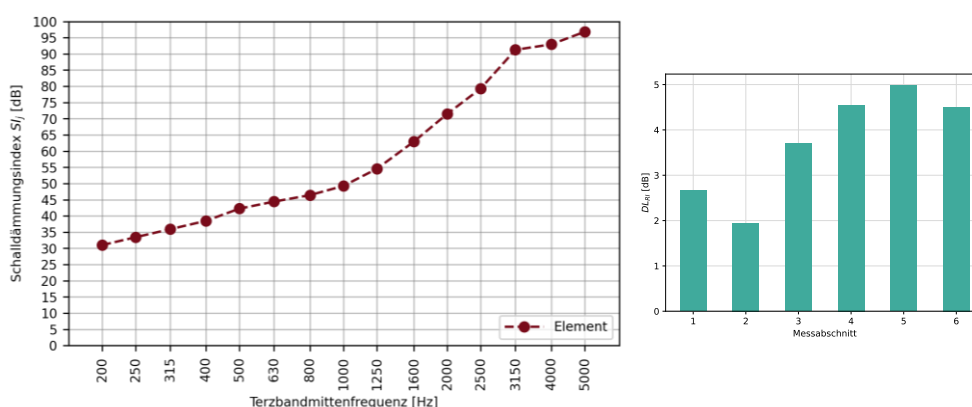


Abbildung 20: Schalldämmungsindex S_{fi} gemessen an Messabschnitt 4 des Steilwalls (links) und ermittelte Schallreflexionsindizes $DL_{RI(250-5000Hz)}$ für betrachtete Messabschnitte (rechts) an der Schnellstraße S7.

3.1.2.2 Begrünter Steilwall Autobahn A7 / Bundesstraße B125

Bei den zweiten im Projekt untersuchten Steilwall handelt es sich um einen bereits begrünten Steilwall entlang der Autobahn A7 / Bundesstraße B125 in Österreich, der im Jahr 2022 fertiggestellt wurde. Laut Konstruktionszeichnungen weist der Wall eine Dicke zwischen 0,80 m (Krone) und 1,34 m (Boden) auf, und beide Maße konnten mit den exemplarischen Messungen an den untersuchten Abschnitten näherungsweise bestätigt werden. Analog zu den Untersuchungen am Steilwall an der Schnellstraße S7 fand an 5 Wallabschnitten Schallreflexionsmessungen und an einem Wallabschnitt

Luftschalldämmungsmessungen statt. Hier wurde Messaufbau jedoch bewusst an Abschnitten mit partiellem und durchgehendem Bewuchs (siehe Abbildung 21). Die in Abbildung 22 rechts visualisierten DL_{RI} weisen Werte zwischen 2,28 dB und 2,75 dB auf. In Relation mit den Ergebnissen des Steilwalls an der Schnellstraße S7 (siehe Abbildung 20 rechts), der einen ähnlichen Aufbau aufweist, weisen begrünte Abschnitte tendenziell niedrigere Werte und damit ein höheres Reflexionsverhalten bei gerichtetem Schalleinfall nach EN 1793-5 auf. Eine mögliche Erklärung für diesen Trend könnten durch den Bewuchs verursachte Reflexions- und Streuungseffekte sein, die das Eindringen des Schalls in Wandschichten mit höherer Schallabsorptionswirkung verhindern. Da die Entwicklung von Modellen zur Beschreibung dieser akustischen Effekte eigene Forschungsschwerpunkte für sich darstellen, sind für verallgemeinernde Schlussfolgerungen zum akustischen Einfluss von Begrünung von LSS weitere Untersuchungen erforderlich.



Abbildung 21: Steilwall an der Schnellstraße A7 (links) und durchgeführte Schallreflexionsmessung bei partiellem (mittig) und durchgehendem Bewuchs (rechts) an exemplarischen Wallabschnitten.

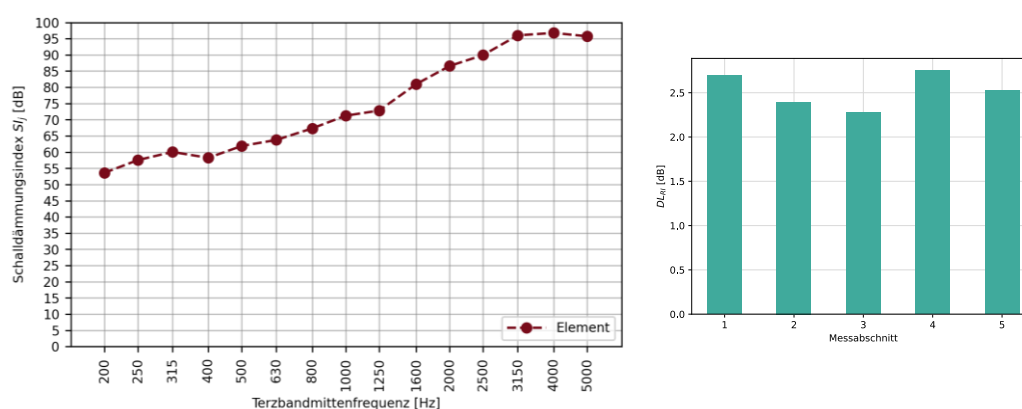


Abbildung 22: Schalldämmungsindex S_d gemessen an Messabschnitt 6 des Steilwalls (links) und ermittelte Schallreflexionsindizes $DL_{RI(250-5000Hz)}$ für betrachtete Messabschnitte (rechts) an der Schnellstraße S7.

3.2 Klassifizierung akustischer Eigenschaften für Berechnungstool

Im vorherigen Abschnitt wurden akustische Eigenschaften einer Reihe potenziell nachhaltiger LSS messtechnisch untersucht. Die daraus abgeleiteten Messergebnisse werden im vorliegenden Abschnitt herangezogen, und mit dem Inhalt der in Abschnitt 2.3.3 vorgestellten SOPRANOISE-Datenbank in Relation gesetzt.

Zu Projektbeginn war in Abstimmung mit den Auftraggebern geplant, für Anwendungsszenarien des entwickelten Berechnungstools (siehe auch Abschnitt 5) die Annahme zu treffen, dass bei vorgegebener Dimensionierung der LSS etwaige Anforderungen an den Lärmschutz erfüllt sind. Diese Entscheidung war unter anderem mit dem Vorhandensein etablierter Berechnungsverfahren (u.a. CNOSSOS-EU, SonX, RLS-19) und Grenzwerten im D-A-CH-Raum begründet, die im Rahmen von Planungs- und Sanierungsprozessen i.d.R. berücksichtigt werden. Die im Folgenden behandelten Betrachtungen der SOPRANOISE-Datenbank und der messtechnischen Untersuchungen aus Abschnitt 3.1 führte jedoch zur Erarbeitung eines alternativen Ansatzes.

Werden die zu Projektbeginn von decarboNoise vorhandenen Datensätze mit Einzalmesswerten in der SOPRANOISE-Datenbank berücksichtigt, so können diese in Form von Boxplots beschrieben werden, wie sie in Abbildung 23 dargestellt sind. Für die Luftschalldämmung nach EN 1793-6 liegen bei den Einzalmesswerten für Elementmessungen $DL_{SI,E}$ mehr als 95 % aller Werte über 25 dB. Für die Einzalangabe DL_{RI} liegen ca. 85 % aller Werte über 5 dB. In Abstimmung mit den Auftraggebern wurden diese Werte als Richtwerte herangezogen, um im Kontext des Berechnungstools eine Expert:inneneinschätzung über die akustischen Eigenschaften abzugeben. Die Expert:inneneinschätzung ist nicht dazu geeignet, Immissionsberechnungen oder akustische Messungen, wie sie u.a. im Rahmen Planungs- und Sanierungsvorhaben durchgeführt werden, zu ersetzen. Liegen die Medianwerte von Datensätzen der Einzalmesswerte DL_{SI} und DL_{RI} für eine Konstruktionsvariante mit einer spezifischen Materialart über den zuvor genannten Richtwerten, so wird im Berechnungstool eine Expert:inneneinschätzung der Klasse 1 ausgewiesen. Liegt der Medianwert eines Datensatzes unter einem Richtwert, so wird Klasse 2 als Expert:inneneinschätzung ausgewiesen. Unterschreiten 95 % der Einzalmesswerte die Richtwerte, so wird Klasse 3 ausgewiesen. Für etablierte Konstruktionsvarianten wurden für das Bewertungstool die Datensätze aus der SOPRANOISE-Datenbank herangezogen, wie sie exemplarisch in Abbildung 9 unten und Abbildung 10 unten für unterschiedliche Konstruktionsvarianten statistisch beschrieben sind. Für Steilwälle und LSW mit Paneelen aus Schilf

wurden zusätzliche die Messergebnisse aus diesem Projekt herangezogen. Für das prototypisch entwickelte Berechnungstool wurden daraus die Einschätzungen in Tabelle 12 abgeleitet. Tabelle 13 und Tabelle 14 umfassen die Wortlaute der Expert:inneneinschätzungen für alle drei Klassen. Für die untersuchten LSW mit Schilf und die betrachteten Steilwälle ergeben sich bei der Anwendung der oben beschriebenen Kriterien die Ausweisung der Klasse 2.

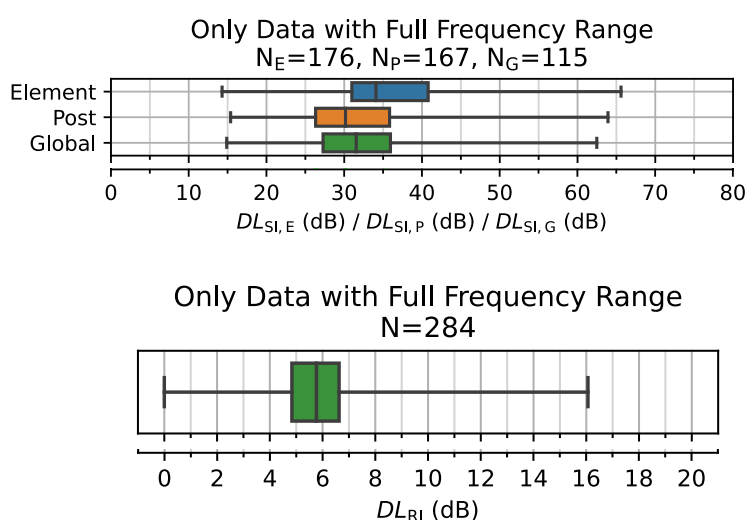


Abbildung 23: Einzahlwerte für Normfrequenzbereich (200 Hz – 5 kHz) der Luftschalldämmung DL_{Si} (oben) und der Schallreflexion (unten) in der SOPRANOISE-Datenbank.

Tabelle 12: Expert:inneneinschätzung für unterschiedliche LSS-Konstruktionsvarianten (hier als LSS-Klassen bezeichnet) im Kontext des Berechnungstools. *Beim Einsatz von PV-Element wird davon ausgegangen, dass sich für das LSS der Schallreflexionsindex R_i tendenziell erhöht und der Einzahlwert DL_{RI} sinkt.

LSS-Klasse	Luftschall- dämmungsklasse	Schallreflexions- klasse
Modulbauweise mit Paneelen aus Metall mit Absorbern	1	1
Modulbauweise mit Paneelen aus Kunststoff mit Absorbern	1	1
Modulbauweise mit Paneelen aus Holz mit Absorbern	1	1
Modulbauweise mit Paneelen bzw. Absorbern aus Holzbeton oder Lavabeton	1	1
Modulbauweise mit transparenten Paneelen aus Glas oder Kunststoff	1	3
Modulbauweise mit Paneelen aus Schilf	1	2
Steilwall ohne Begrünung	1	2
Erdwall	1	2
LSS in Kombination mit PV	1	*

Tabelle 13: Akustikbewertungen im Kontext der österreichischen Version des Berechnungstools. *Für die Luftschalldämmung wurde eine Klasse definiert, da für alle betrachteten Konstruktionsvarianten LSS Medianwerte vorlagen, die den Schwellwert von 25 dB überschritten.

Klasse	Expert:inneneinschätzung
Luftschalldämmung* Klasse 1	Experteneinschätzung: unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und wenn die aktuellen Richtlinien beachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Luftschalldämmung ein Wert von 25 dB nach EN 1793-6 erfüllt werden kann.
Schallreflexion Klasse 1	Experteneinschätzung: laut Herstellerinformationen und unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus im Einklang mit den aktuellen Richtlinien, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Schallreflexion ein Wert von 5 dB erfüllt werden kann.
Schallreflexion Klasse 2	Experteneinschätzung: es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflexion ein Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.
Schallreflexion Klasse 3	Experteneinschätzung: bei der Schallreflexion wird ein Wert von 5 dB voraussichtlich nicht erfüllt.
Lärmschutz in Kombination mit PV	Experteneinschätzung: es ist davon auszugehen, dass durch die Anwendung von PV-Modulen der Einzahlwert der Schallreflexion DL_{RI} reduziert wird.

Tabelle 14: Akustikbewertungen im Kontext der deutschen und schweizerischen Version des Berechnungstools. *Für die Luftschalldämmung wurde eine Klasse definiert, da für alle betrachteten Konstruktionsvarianten LSS Medianwerte vorlagen, die den Schwellwert von 25 dB überschritten.

Klasse	Expert:inneneinschätzung
Luftschalldämmung* Klasse 1	Unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und bei Beachtung der aktuellen Richtlinien (ZTV Lsw), kann davon ausgegangen werden, dass bei der Luftschalldämmung ein Wert von 25 dB nach EN 1793-2 und ein Wert von 28 dB nach EN 1793-6 erfüllt werden kann.
Schallreflexion Klasse 1	Laut Herstellerinformationen und unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus im Einklang mit den aktuellen Richtlinien (ZTV Lsw), kann davon ausgegangen werden, dass hinsichtlich der Schallreflexion für den Reflexionsverlust ein Wert von 5 dB erreicht werden kann.
Schallreflexion Klasse 2	Hinsichtlich der Schallreflexion ist nicht sichergestellt, dass ein Wert von 5 dB für den Reflexionsverlust zuverlässig erreicht wird.
Schallreflexion Klasse 3	Hinsichtlich der Schallreflexion wird ein Wert von 5 dB für den Reflexionsverlust voraussichtlich nicht erreicht.
Lärmschutz in Kombination mit PV	Experteneinschätzung: es ist davon auszugehen, dass durch die Anwendung von PV-Modulen der Einzahlwert der Schallreflexion DL_{RI} reduziert wird.

4 CO₂- und Nachhaltigkeitsbilanzierung

Im Projekt decarboNoise wurde ein Bewertungssystem entwickelt, mit dem verschiedenen Varianten eines Bauprojektes für Lärmschutzsysteme in Hinblick auf ihren Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung verglichen werden können. Dieses Bewertungssystem wird nachfolgende vereinfachend als “CO₂- und Nachhaltigkeitsbilanzierung” bezeichnet.

Die Entwicklung erfolgte in mehreren Schritten und in einem engen Austausch mit der Begleitgruppe.

In einem ersten Schritt wurde die Norm DIN EN 17472 als Basis gewählt. Diese Norm unterstützt eine vergleichende Bewertung von Ingenieurbauwerken nach Kriterien der nachhaltigen Entwicklung. Aus dieser Norm wurden eine Reihe von Kriterien ausgewählt, die für die Planung von Lärmschutzsystemen relevant sind (Eingrenzung aufgrund der Art des Bauvorhabens). In einem zweiten Schritt wurde analysiert, welche dieser Kriterien die Anwendenden in der Planungsstufe beeinflussen können (Eingrenzung aufgrund der Planungsstufe). In einem dritten Schritt wurden die verbleibenden Kriterien in einem Expertenworkshop mit Fachpersonen des ASTRA, der ASFiNAG und der BASt diskutiert (Eingrenzung aufgrund der Relevanz aus Sicht der Bauherren). Nach diesem Workshop (vom 13. Dezember 2023) wurden die folgenden Kriterien für die Bewertung festgelegt:

Treibhauspotenzial, THP (kg CO₂-Eq.): Umweltbelastungen der Herstellung, der Transporte, des Ein- und Rückbaus sowie der Entsorgung der Bauteile bzw. Baustoffe.

Lebenszykluskosten: Kosten von Bau, Betrieb, Unterhalt und Rückbau.

Änderung der Biodiversität: Auswirkungen der Bepflanzung von Lärmschutzsystemen.

Änderungen des Mikroklimas: Auswirkung des Lärmschutzsystems auf die umliegende Nachbarschaft.

Flächeninanspruchnahme: Betrachtet wird die Grundfläche der verschiedenen Varianten eines Lärmschutzsystems (inkl. Bepflanzung).

Mögliche Einschränkungen der akustischen Wirksamkeit: Während konventionelle Lärmschutzsysteme bereits gut erprobt sind und bei korrektem Einbau zuverlässig vor Lärm schützen, gibt es bei innovativen naturnahen Lärmschutzsystemen deutlich weniger Erfahrungen. Die resultierende Unsicherheit soll auf der Grundlage der Ergebnisse von decarboNoise in die Bewertung einfließen (mit den in Abschnitt 3 dargestellten Ergebnissen).

THG-Einsparung durch Stromerzeugung: Möglicher Beitrag von Photovoltaik-Anlagen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen durch Stromerzeugung (unter Berücksichtigung der zusätzlichen indirekten Treibhausgas-Emissionen infolge der Produktion der Photovoltaik-Anlagen).

Aufgrund der Diskussionen im Expertenworkshop wurde entschieden, auf eine Monetarisierung von Kosten und Nutzen zu verzichten und damit die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung so nachvollziehbar wie möglich darzustellen. Die Expert:innen äußerten sich auch kritisch zu einer vergleichenden Bewertung mit Hilfe eines Gesamtindex (z.B. auf Basis einer Nutzwertanalyse oder einer Kostenwirksamkeitsanalyse). Sie sprachen sich dafür aus, möglichst wenig mit Gewichtungen der verschiedenen Kriterien zu arbeiten, da diese dem (gesellschafts-)politischen Prozess des Aushandels zuzurechnen sind. Es wurde deutlich gemacht, dass auch qualitative, beschreibende Aussagen als Ergebnis gewünscht werden.

Aufgrund dieser Diskussion wird die CO₂- und Nachhaltigkeitsbilanzierung im Rahmen von decarboNoise als ein Multi-Kriterien-Entscheidungssystem gestaltet, in dem alle Kriterien die gleiche Gewichtung erhalten. Die Kriterien werden auf unterschiedlichen Skalen dargestellt. Eine Kardinalskala wird gewählt für Treibhausgaspotenzial, Lebenszykluskosten, Flächeninanspruchnahme und THG-Einsparung durch Stromerzeugung. Eine Ordinalskala wird gewählt für die Änderungen der Biodiversität und des Mikroklimas sowie der möglichen Einschränkungen der akustischen Wirksamkeit; für diese Kriterien wird die Bewertung mit einer qualitativen, beschreibenden Aussage verbunden.

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie das Bewertungssystem ausgestaltet ist. Dazu wird einleitend dargestellt, welche Typen von Lärmschutzsystemen mithilfe dieses Bewertungssystems verglichen werden können (bezogen auf konkrete Bauprojekte).

Anschließend wird beschrieben, wie die Bewertung für die verschiedenen Kriterien methodisch umgesetzt wird. Der Fokus liegt dabei auf den Kriterien "Treibhauspotenzial" und "Lebenszykluskosten". Die restlichen Kriterien werden in einem gemeinsamen Abschnitt dieses Kapitels abgehandelt.

4.1 Klassifizierung der LS-Systeme und relevante Szenarien

4.1.1 Klassifizierung der LS-Systeme

Für die Entwicklung des Tools zur Nachhaltigkeitsbewertung von LSS orientiert sich die Klassifikation der Anlagen zunächst an den Ansätzen der Forschungsprojekte QUIESST (Oltean-Dumbrava et al., 2012) und PROCEEDR (Conter et al., 2023), die sich im Wesentlichen nach den Absorptionsmaterialien bzw. den im Hinblick auf die Fläche überwiegenden-Wandpaneelmaterialien unterscheiden. Diese Anlagen werden im vorliegenden Projekt ergänzt und zudem werden im Rahmen der Marktrecherche (vgl. Abschnitt 2.4) dargelegten zusätzlichen Anlagentypen berücksichtigt. Hierzu zählen insbesondere die in den genannten Projekten nicht betrachteten begrünten Steilwälle, die bewehrt und selbsttragend ausgebildet werden unter Einbeziehung von Substrat- und/oder Erdfüllung (vgl. CEDR, 2017); ebenso zählen bisher nicht oder nur selten verbaute Materialien wie Schilf, Lehm und Kombinationen dazu.

(Marcocci, 2016) nach (CEDR, 2017:35 f.) bzw. (Linder et al., 2019:13 ff.) kategorisiert die betrachteten LSW in Verbindung mit der Dokumentation von Schadensbildern und verwendet dabei Kategorien wie „Pfosten/vertikaler Träger“, „Paneele“, „Absorbermaterial“, „Fundament“. Diese Kategorien repräsentieren die realen Bauteile (Objekte).

Ein objektorientierter Ansatz findet sich auch in den drei nationalen Regelwerken zur Datenerfassung von LS-Anlagen wieder. Gleichwohl die jeweiligen Ausprägungen der nationalen Datenbanken unterschiedlich sind, kann der objektbezogene Beschreibungsansatz damit grundsätzlich auch für eine Bestandsbilanzierung zur Anwendung kommen:

Die deutsche Bauteiltypisierung nach ASB-ING unterscheidet die Objekte *Lärmschutzwände* und *Lärmschutzsteilwälle* (sowie *schallabsorbierende Bekleidung*). Die Lärmschutzwände können weiter unterteilt werden in *Segmente* (dh. Abschnitte der LSS mit gleichen baulichen bzw. akustischen Konstruktionsmerkmalen), die nach Baustoffklassen und deren Flächenanteil differenzierbar sind, und sie werden erfasst nach der Anzahl sowie der durchschnittlichen und maximalen Höhe der Segmente.

Eine ähnliche Beschreibungssystematik liegt in Österreich vor.

In der Schweiz werden im Fachhandbuch Trasse / Umwelt im Rahmen des Technischen Merkblatt Bauteile / Lärmschutz (21 001-11300) standardisierte Lärmschutzwände unterschieden nach Lage auf Kunstbauten oder im Freifeldbereich. Dabei werden im Sinne einer Standardisierung Stehersysteme mit Ausfachungen aus Betonrippenplatten oder Holz bzw. in Kombination mit

Glaselementen dargestellt sowie eine Wand-auf-Wall-Kombination thematisiert.

Im Rahmen der Konzeptentwicklung für das Berechnungstool (vgl. Abschnitt 5) wurde daher eine objektorientierte Modellierung der LS-Anlagen gewählt, die eine kleinteilige Untergliederung des LSS erlaubt und damit später bei Ergänzung oder Änderung von Materialien und/oder Bauteilen angepasst werden kann; eine direkte Kopplung mit nationalen Datenbanken wie beispielsweise der ÖkoBauDat ist grundsätzlich ebenso denkbar, die notwendigen Angaben dort vorausgesetzt. Die Ermittlung der verbundenen THG-Emission wird mit dem gewählten Objektansatz an die jeweils eingesetzten Materialien und Mengen gekoppelt.

Damit werden die Kategorien von LS-Anlagen für die weitere Betrachtung in vier Gruppen unterschiedlicher Bauweisen zusammengefasst:

- a) Modulbauweise mit Stehersystem (fundamentiert);
- b) Massivbauweise;
- c) Begrünte Steilwälle;
- d) Lärmschutzwälle (Schüttung, mit / ohne Böschungsbefestigung).

Nicht betrachtet werden LS-Anlagen, die in Verbindung mit Bauwerken anderer Nutzung stehen (z.B. Absorberplatten, die auf bautechnisch erforderlichen Stützwänden angebracht sind, oder die ins statisch wirksame Tragwerk integriert sind). Aus Gründen der Vergleichbarkeit erfolgt daher auch eine Eingrenzung auf „senkrechte“ LS-Anlagen, die den LSS-Standardfall ohne Wandneigung darstellen. Steilwälle werden in diesem Zusammenhang wie Wände behandelt, Wall und Wall-Wand-Kombinationen können ebenfalls mit betrachtet werden.

Die genannten Gruppen lassen sich nach Materialien weiter untergliedern wie folgt:

a) Modulbauweise mit Stehersystem

LS-Systeme in Modulbauweise sind als Stehersystem mit Pfosten bzw. Stützen ausgebildet. Die Steher bestehen in der Regel aus fundamentierten Stahlprofilen, die zugehörigen Wandpaneele bieten neben der breit gefächerten Materialpalette auch hinsichtlich ihrer jeweiligen baulichen Ausbildung Variationsmöglichkeiten. Nach den eingesetzten Hauptmaterialien lassen sich diese LS-Systeme gruppieren wie folgt:

- a. Stehersystem aus Stahl und LSW-Paneele aus
 - i. Metall (Aluminium mit Absorberfüllung aus z.B. Steinwolle oder Hanf)
 - ii. Beton (mit / ohne Absorberschicht aus Holzbeton bzw. Lavabeton)
 - iii. Holz
 - iv. transparent Glas
 - v. (transparent) Kunststoff
 - vi. Schilf/Holz/Lehm-Paneele in verschiedenen Kombinationen bzw. Bau-weisen
 - vii. Living Wall-Paneele (drahtbewehrte Substratpaneele zur dauerhaften flächigen Begrünung)
- b. Stehersystem aus Stahlbeton, i.d.R. mit Betonpaneele

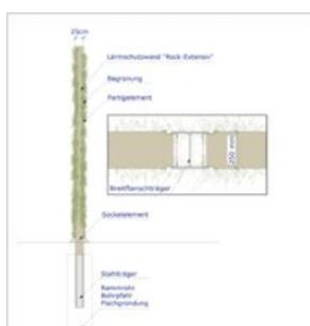


Abbildung 24: Stehersystem mit Living Wall-Paneele (Quelle: RAU Geosystem Süd GmbH).

b) Massivbauweise

LS-Systeme in Massivbauweise benötigen abhängig von ihrer Materialzusammensetzung eine fundamentierte Grundfläche, die i.d.R. aus Beton besteht und zusätzlich je nach Ausführungsvariante (z.B. Lehmbauweise) eine Abdeckung. Sie sind als selbsttragende Systeme anzusehen, auch wenn ggf. aussteifende (Stahlbeton-) Elemente Teil der Konstruktion sein können. Die Hauptbauteile (Wandfläche) können aus den folgenden Materialien bestehen:

- Stahlbeton
- Ziegel (gebrannt)
- Lehm (Stampflehm / Wellerlehm)



Abbildung 25: Lehmwand (Quelle: <https://zentrum-fuer-peripherie.org/startseite-test/projekte/brandenburgs-alhambra/probewand>, zuletzt abgerufen am 03.12.2025).

Im Projektverlauf wurde deutlich, dass Massivbauwände in Lehmbauweise zwar zunächst hinsichtlich ihrer erwarteten Nachhaltigkeit aus Herstellung und Rückbau bewertet werden können und ebenso eine Einschätzung zur akustischen Wirksamkeit abgegeben werden könnte; die Erfüllung der technisch-baulichen Anforderungen, die sich aus statischen Anforderungen aus Windlasten oder Aspekten der Verkehrssicherheit ergeben, können derzeit nicht abgebildet werden. Aussagen zu Auswirkungen des Winterdienstes auf Lehmbauwerke in Abhängigkeit von deren Lage zur Fahrbahn, mögliche bauliche wie betriebliche Schutz- und Unterhaltungsmaßnahmen etc. können bislang nicht getroffen werden.

Das FE-Projekt „LeWeLaS – Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände im System Bahn“ wurde am Carl Ritter von Ghega Institut für integrierte Mobilitätsforschung der Fachhochschule St. Pölten und dem Forschungsbereich Baugeschichte und Bauforschung an der TU Wien bearbeitet. Als ein Ergebnis wird auch hier die Feststellung erzielt, dass für einen Einsatz als Lärmschutzwände die untersuchten mit Lehm gefüllten Kunststoffnetzschläuche im Echtbetrieb der Bahn und „insbesondere das Verhalten des Bauwerkes unter dynamischer Dauerbeanspruchung“ noch weiteren Forschungsbedarf aufweisen.

Die massive Lehmbauweise wurde daher aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen und wie oben dargestellt auch akustisch nicht weiter untersucht.

c) **Begrünte Steilwälle**

In der Gruppe der begrünten Steilwälle werden verschiedene LS-Typen zusammengefasst, die in verschiedenen Bauweisen errichtet werden können.

Zur Erstellung von Wänden aus vertikal gestapelten Pflanztrögen sind unterschiedliche Bauteile am Markt verfügbar: Sie bestehen zumeist aus Beton, werden aber auch aus anderen Materialien hergestellt (z.B. Autoreifen). Ebenso zählen ineinandersteckbare Beton- oder Kunststoffelemente zu diesem Systemtyp, der auch als verankerte Raumgitter- oder Skelettwand bei der Hangsicherung Anwendung findet. Je nach Anwendungsfall und Höhe sind diese Elemente -ggf. zusätzlich zum Bedarf der Pflanzungen- mit Erde hinterfüllt.

Die klassische Krainerwand¹, die allein aufgrund der tief verankerten Hölzer und Pflanzungen Stabilität erlangt, wird aufgrund ihrer Einschränkungen bei der Errichtung an Verkehrswegen (Standicherheit) im laufenden Projekt nicht weiter betrachtet.

¹ Definition nach bauprofessor.de: „Eine Krainerwand ist ursprünglich ein Verbundsystem aus Holzstämmen, Erde und Pflanzen, um Geländesprünge baulich zu überwinden sowie steile Hänge und Böschungen zu stabilisieren. Das Wurzelwerk der Pflanzen gibt der Stützwand-Konstruktion dabei zusätzliche Festigkeit. [...] Die einzelnen Etagen der Krainerwand werden aus langen Trägern, sogenannten Läufern oder Längshölzern und kürzeren Bindern auch als Querhölzer, Klammern bzw. Zangen bezeichnet, errichtet. [...] Die Pfähle der Binder werden quer zur Hangrichtung [...] in den Hang eingedrückt und die Längshölzer der Läufer längs zur Hangrichtung verbaut.“ Regelmäßig werden aus ökologischen Gründen, der langfristigen Hangsicherung sowie zum Erosionsschutz Lebendfaschinen mit eingebracht. (vgl. >> <https://www.bauprofessor.de/krainerwand/><<, zuletzt abgerufen am 31.05.2024)

Zu den begrünten Steilwällen werden im weiteren auch Gabionen (Steinkörbe) mit und ohne Erdhinterfüllung gezählt. Ähnlich wie bei den Stehersystemen der Modulbauweise gibt es für diese eine breite Palette auf dem Markt angebotener Ausführungen, die bis hin zu Gabionen mit integrierter akustischer Absorberschicht reicht. Im Rahmen des Projektes erfolgt eine Beschränkung auf die häufig genutzten folgenden Grundtypen:

- LS-Anlagen aus Betontrögen, befüllt mit Erde und i.d.R. bepflanzt;
- Gabionen mit Steinen, mit / ohne Erdhinterfüllung;
- Bewehrte Drahtgitterwand mit Erdfüllung, vollständig begrünt.

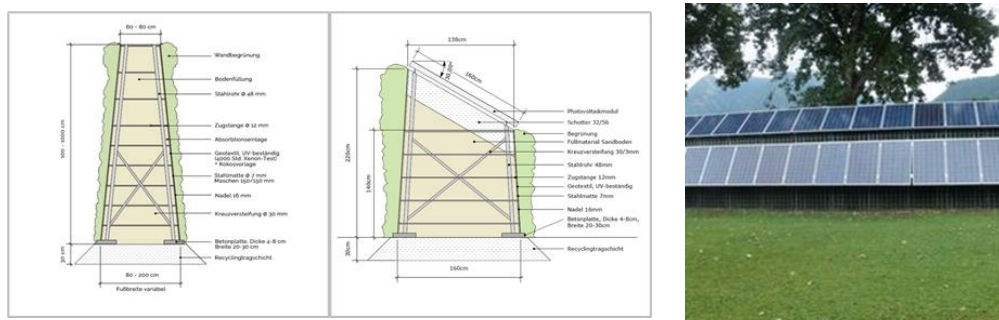


Abbildung 26: Bewehrte Drahtgitterwand mit Erdfüllung, mit und ohne Photovoltaik (Quelle: RAU Geosystem Süd GmbH).

Kombinationen mit Photovoltaikelementen können bei den bewehrten Drahtgitterwänden ohne zusätzlichen Konstruktionsaufwand realisiert werden.

d) Lärmschutzwälle (Schüttung, mit / ohne Böschungsbefestigung)

Klassische Lärmschutzwälle, die als verdichtetes Schüttgut in Verbindung mit den jeweiligen Bodenreibungswinkeln mit oder ohne Böschungsbefestigung (z.B. Steine, Geotextilien, Bodengitter) realisiert werden können, stellen vergleichsweise naturnahe Bauwerke dar. Im Sinne einer Nachhaltigkeitsbewertung sind sie nicht nur aufgrund ihrer unbestritten hohen Dauerhaftigkeit, sondern auch in Verbindung mit ihren Eigenschaften als Grün- und Versickerungsfläche als nachhaltig anzusehen.

Sie stellen aufgrund der erforderlichen Grundfläche jedoch keine schlanken Bauwerke dar; insofern bilden sie auch geometrisch gegenüber den LS-Anlagen in Modul- und Massivbauweise sowie gegenüber den bewehrten Steilwällen eine eigene Gruppe.

4.1.2 Objektbeschreibung der LS-Systeme

Wie oben beschrieben wird zur Modellierung der LS-Systeme innerhalb des Berechnungstools ein objektorientierter Ansatz verfolgt, der eine Verknüpfung von einzelnen Bauteilen bzw. ihrer Materialisierung mit bestehendem Wissen über verbundene Treibhausgasemissionen erlaubt.

Für das Projekt decarboNoise wurden damit die in den Abbildungen #1 bis #5 dargestellten LS-Systeme modelliert mit den folgenden Objektgruppen:

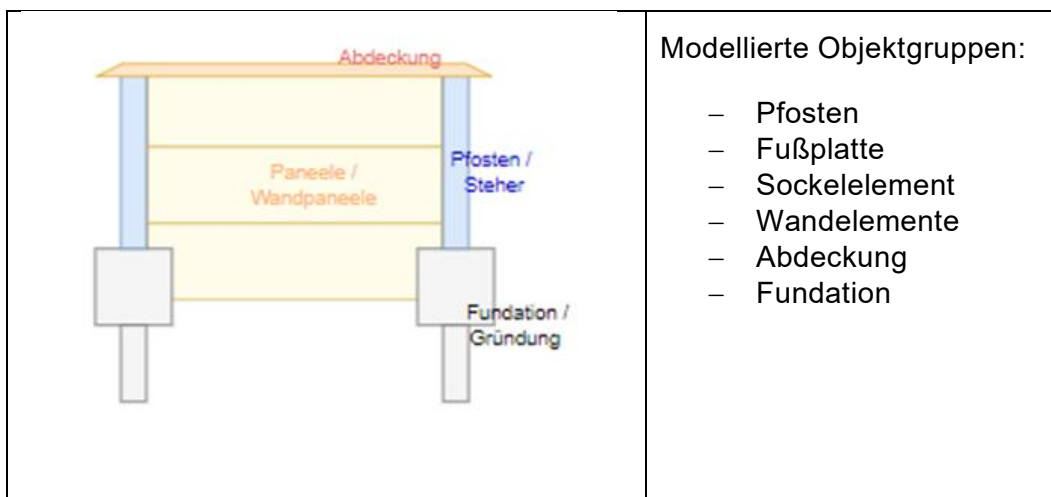


Abbildung 27: Lärmschutzsysteme in Modulbauweise.

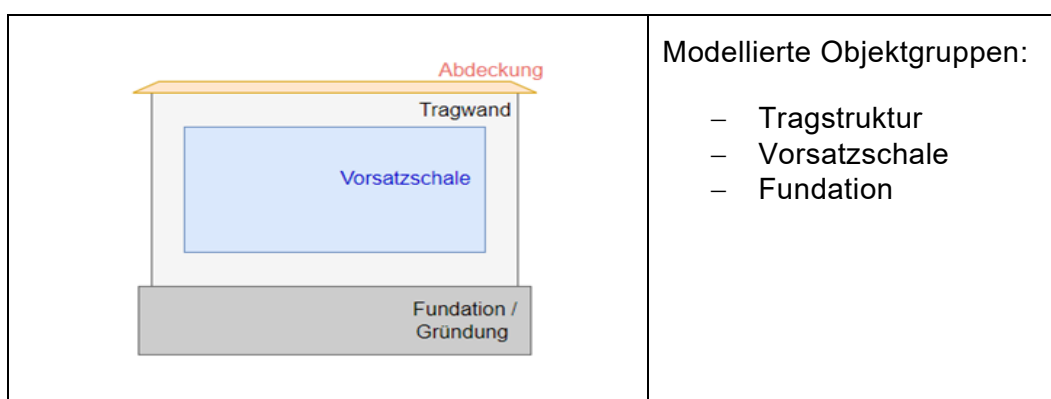


Abbildung 28: Lärmschutzsysteme in Massivbauweise.

Die Modellierung der Abdeckung für die Massivbauweise wurde im Anwendungstool nicht umgesetzt, da diese speziell für die Lehmbauweise von Bedeutung ist, welche aufgrund der o.g. Gründe nicht berücksichtigt wurde.

	Modellierte Objektgruppen: Systemtyp Umweltwand / begrünter Steilwall mit Bewuchs als konstruktivem Element: – Füllmaterial – Länge – Kronenbreite – Fußbreite – Höhe Andere Systemtypen wie z.B. Pflanztröge: Modellierung über Materialien und Massen
--	--

Abbildung 29: Lärmschutzsystem Steilwall.

	Modellierte Objektgruppen: – Länge – Kronenbreite – Fußbreite – Höhe – Oberfläche – Wallvolumen (ohne Grundfläche) Volumen Neubau
--	--

Abbildung 30: Lärmschutzsystem Wall / Damm.

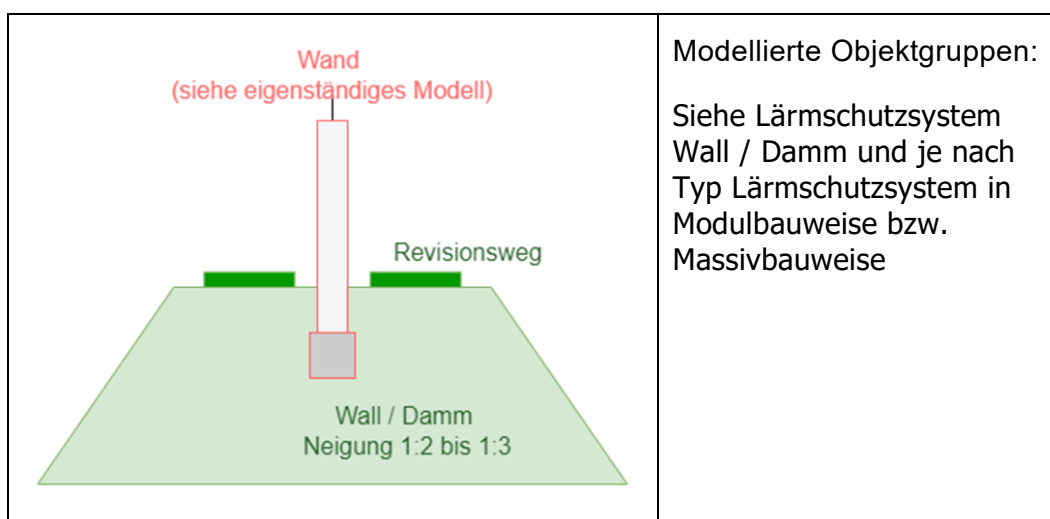


Abbildung 31: Lärmschutzsystem "Aufsatzwand" als Kombination aus Lärmschutzwand und Lärmschutzwall

Den Autoren ist bewusst, dass die Vermeidung einer ortsfernen Bodendeponierung im Rahmen der Trassierung bei gegebenem Bedarf für Lärmschutz stets eine mögliche Anforderung an die Straßenplanung darstellt. Dazu bedarf es verfügbarer Fläche für die Einbringung des Bodenmaterials. Darüber hinaus bietet die Nutzung von ortsfremdem Bodenaushub - Bodengüte und verfügbare Fläche vorausgesetzt - ebenfalls eine naturnahe und nach bisherigen Erkenntnissen dauerhafte Möglichkeit zur Errichtung von Schallschutz. Bereits ohne vertiefte weitere Untersuchung im Rahmen des Projektes lässt sich daher erkennen, dass auch unter Berücksichtigung des abzuschätzenden Aufwands für Betrieb und Unterhaltung von Lärmschutzwällen diese aus Sicht der Nachhaltigkeit die günstigen Bauwerke darstellen, vgl. auch (Oltean-Dumbrava et al., 2013), (Oltean-Dumbrava et al., 2016), (Oltean-Dumbrava & Miah A., 2016).

Im Zusammenhang mit Überlegungen zu Verfügbarkeit und Baugrundkosten sind nach Maßgabe des Workshops vom Dezember 2023 jedoch auch Lärmschutzwälle im Rahmen des Projektes mit betrachtet und modelliert.

4.2 Lebenszykluskosten

Allgemein wird unter Lebenszykluskosten die Summe sämtlicher Kosten verstanden, die für ein Objekt während der Entstehung bis zum Rückbau auflaufen. Nach ISO 15 686-5 umfassen sie Erstellungskosten, Kosten für Miete und Pacht, Verwaltungs- und Betriebskosten, Instandsetzungskosten (und Erneuerung) und die Kosten am Ende des Lebenszyklus.

Um sicher zu stellen, dass die Bewertung der Lebenszykluskosten nach der gleichen Systemdefinition erfolgt, wie die Bewertung der Treibhausgasemissionen, wird die Systemdefinition nach DIN EN 17472 zugrunde gelegt:

- Herstellungs- und Errichtungsphase (A1-5) werden in den Erstellungskosten berücksichtigt. Die Planungsphase A0 wird vernachlässigt.
- Nutzungsphase (B2-4): Hier werden nur die Instandhaltung (B2), die Instandsetzung (B3) und der Austausch/Ersatz (B4) berücksichtigt. Die restlichen Module der Nutzungsphase werden vernachlässigt, da sie entweder zu keinen Kosten führen (B1), nicht ausreichend quantifiziert werden können (B6, B7) oder aufgrund von ergänzenden Annahmen zur Systemabgrenzung vernachlässigt werden (siehe Abschnitt 4.2.1).
- Entsorgungsphase (C1-4): Hier werden die Kosten des Rückbaus betrachtet (inkl. Entsorgung).

In den folgenden beiden Abschnitten wird dargestellt, wie die Lebenszykluskosten im Bewertungsmodell DecarboNoise ermittelt werden. Dabei wird unterschieden zwischen der Systemabgrenzung und dem Kostenmodell. Bei der Systemabgrenzung wurde - so weit möglich - für die Schätzung der Lebenszykluskosten und der Treibhausgasemissionen von den gleichen Systemgrenzen ausgegangen. Auf notwendige Abweichungen wird im folgenden Abschnitt bzw. in Abschnitt 4.3. eingegangen.

4.2.1 Systemabgrenzung: Lebenszykluskosten

Bei der Systemabgrenzung wird zunächst von der Funktion ausgegangen, die das LSS erfüllen soll. Im vorliegenden Projekt stellt der Lärmschutz die maßgebliche Funktion des Bauwerks dar. Mögliche andere Funktionen und die dafür notwendigen Maßnahmen, wie beispielsweise die Stromherstellung durch Photovoltaik, werden bei der Schätzung der Lebenszykluskosten nicht berücksichtigt. Eine Ausnahme stellt die Bepflanzung von LSS dar. Sie wird bei der Schätzung der Lebenszykluskosten berücksichtigt unabhängig davon, ob sie für den Lärmschutz notwendig ist oder nicht.

Eine rein funktionale Systemabgrenzung stößt aber an Grenzen,

- wenn Elemente einer Straßenverkehrsanlage räumlich nahe beieinander liegen und zusammengebaut werden, z.B. die Fundation eines LSS und die Straßenentwässerung.
- Wenn Straßenbetreiber beim Unterhalt oder bei der Erhaltung verschiedene Maßnahmen an unterschiedlichen Elementen der Straßenverkehrsanlage kombinieren, z.B. bei der Grünraumpflege die Pflege der Lärmschutzwand integrieren.

- Wenn das Lärmschutzsystem durch unterschiedliche Akteure unterhalten wird, z.B. auch durch angrenzende Grundeigentümer.

In diesen Fällen muss die Systemabgrenzung präzisiert und bei Bedarf angepasst werden.

Im Rahmen der Nutzungsphase (Modul B nach DIN EN 17472) fokussiert das Bewertungssystem auf die Kosten, die durch den Betreiber des LSS getragen werden. Die Kosten des Nutzers (Modul B8) hingegen werden vernachlässigt. Damit unterscheidet sich das Vorgehen von Lebenszykluskostenanalysen, die im Kontext der Werterhaltung der Straßeninfrastruktur in der Schweiz erstellt werden. Hier werden häufig auch Kosten betrachtet, die von den Nutzern der Straßen getragen werden, d.h. von Fahrern und Mitfahrenden im motorisierten Individualverkehr (MIV), Nutzenden des straßengebundenen öffentlichen Verkehrs (z.B. der Busse) und auch die Verkehrsteilnehmer des Langsamverkehrs (z.B. Fußgänger und Velo-Fahrer). Sie sind durch bauliche Maßnahmen des Betreibers direkt betroffen (z.B. durch Verkehrsbehinderungen) und diese Kosten sollten bei der Planung, Projektierung und Ausführung mitberücksichtigt werden. Dies betrifft z.B. die Kosten eines Staus oder erhöhte Unfallrisiken bei Unterhalt/Erneuerung unter Betrieb. Im Rahmen von decarboNoise wird auf eine Schätzung der Nutzerkosten verzichtet, da hier erhebliche Unsicherheiten bestehen, beispielsweise in Bezug auf das jeweils örtliche zukünftige Verkehrsaufkommen, welches mindestens eine Verkehrsmodellierung erfordert. Diese Annahme kann aber dazu führen, dass die Kosten von unterhaltsintensiven LSS unterschätzt werden – vor allem wenn beispielsweise die Grünpflege zu Verkehrsbehinderungen führt.

Als Betrachtungszeitraum wird idealerweise der Zeitraum von der Erstellung bis zum Lebensende des untersuchten Systems wählen. Die Lebensdauer von Objekten und deren Elementen kann unterschiedlich definiert werden, z.B. technisch² oder wirtschaftlich³. Sie ist abhängig von einer Vielzahl von Einflussfaktoren, die der Bauherr nicht kennt und auch nur bedingt beeinflussen kann. Man muss hier daher mit möglichst plausiblen Annahmen arbeiten. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass "Modernisierungen" im Rahmen der Lebensdauer einer LSS - gemäß Modul B5 nach DIN EN 17472 nicht berücksichtigt werden. Sie können je nach

² Z.B. abhängig von Eigenschaften der Baustoffe, Fehler bei der Bauplanung, Mängel bei der Bauausführung, Verhalten der Nutzer, Art und Umfang der Instandhaltung und Umwelteinflüsse.

³ Z.B. abhängig von den wirtschaftlichen Zielen des Bauherrn, Standort und Systemumgebung, Funktionalität und Gestaltungsqualität, Bevölkerungsentwicklung und –wanderung, allgemeine Einkommensentwicklung oder Verwendung des verfügbaren Einkommens.

Anwendungsfall auch als Ende der betrachteten Lebensdauer und Start des nächsten Lebenszyklus des LSS betrachtet.

Wenn das LSS aus Elementen mit unterschiedlichen technischen Lebensdauern bestehen, wird als "gesamte" Lebensdauer i.d.R. die Lebensdauer des langlebigsten Elements angesetzt. Für den Vergleich von Varianten mit unterschiedlichen Lebensdauern bedarf es daher einer gemeinsamen Vergleichsbasis. Man kann dann entweder von der längeren Lebensdauer ausgehen und bei der Variante mit kürzerer Lebensdauer zusätzliche Überbrückungsmaßnahmen berücksichtigen. Alternativ kann man von der kürzeren Lebensdauer ausgehen und für die Variante mit der längeren Lebensdauer einen Restwert mit einrechnen. Oder man definiert den Betrachtungszeitraum als gemeinsames Vielfaches der Lebenszyklen.

Im Rahmen des Projektes wurde im Anwendungstools DecarboNoise mit der Eingabe einer geforderten Gesamtlebensdauer für das Bauprojekt LSS und der Eingabe der jeweiligen Bauteillebensdauern der Restlebensdauer-Ansatz umgesetzt.

4.2.2 Kostenmodell

Für die Lebenszykluskostenanalyse von Lärmschutzsystemen wird unterschieden zwischen

- Erstellungskosten: Baukosten,
- Betriebs- und Unterhaltskosten: inkl. Bauwerksüberwachung, Unterhaltsmaßnahmen und kleinere Reparaturen,
- Instandsetzungskosten: Kosten des Ersatzes von Teilen des Bauwerks zur Gewährleistung seiner Gebrauchstauglichkeit,
- und Kosten am Ende des Lebenszyklus: Kosten des Rückbaus und der Entsorgung des Bauwerks am Ende seiner Lebensdauer, i.d.R. mit Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands am Standort.

Kosten für Miete, Pacht, und Verwaltungskosten werden hingegen vernachlässigt.

Die Baukosten für die untersuchten Varianten des Lärmschutzsystems sollten projekt- und standortspezifisch ermittelt werden, da Baukosten sich in verschiedenen Regionen deutlich unterscheiden können und auch im Zeitverlauf schwanken.

Bei der Schätzung der Kosten von Instandhaltung (B2), Instandsetzung (B3) und Austausch/Ersatz (B4) ergibt sich die Schwierigkeit unterschiedlicher länderspezifischer Abgrenzungen dieser Leistungen. Bei der Abgrenzung des

deutschen „Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen“ (BMDV/BMVI, 2021) wird beispielsweise zwischen Straßenbetrieb und Straßenerhaltung unterschieden, wobei die „bauliche Unterhaltung“ beiden Bereichen zugeordnet werden kann. In der SN 640 900a zum Erhaltungsmanagement in der Schweiz wird zwischen betrieblichen und baulichen Unterhalt unterschieden, wobei der bauliche Unterhalt auch Maßnahmen im Bereich der Instandsetzung umfasst. Eine Übersicht befindet sich im Anhang 1 dieses Berichts.

Zur Beschreibung des Aufwandes in dieser Phase liegen nur wenige Angaben vor. Grundsätzliche Untersuchungen hierzu wurden vorgelegt von Ghielmetti, Mühlebach, Niederegger (2009) sowie Vanhooreweder, Marcocci und De Leo in CEDR (2017). In CEDR (2017) werden neben den „klassischen“ LS-Anlagen (Massivbauweise, Modulbauweise) auch begrünte LS-Anlagen wie z.B. Bewehrte Drahtgitterwände mit Erdfüllung und Steilwälle grundsätzlich thematisiert; es werden neben der Schadenerfassung grundsätzliche Hinweise zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit der Anlagen gegeben (Vermeidung von Baumängeln, visuelle Kontrolle der akustischen Dichtheit etc.) ohne auf einen zeitlichen Bezug näher einzugehen (vgl. ff.).

In einem nächsten Schritt wird festgelegt, zu welchem Zeitpunkt diese Kosten anfallen. Die Baukosten fallen meist zu Beginn des Lebenszyklus an (Zeitpunkt „0“): bei LSS meist innerhalb eines Jahres. Die Kosten während der Nutzungsphase (Modul B nach DIN EN 17472) werden im Rahmen der Planung von Unterhalts- und Werterhaltungsmaßnahmen durch die Betreiber der Anlagen terminiert. In ASFiNAG (2023), S. 23 beispielsweise wird zwischen den folgenden drei Maßnahmen unterschieden: Kassettentausch (KT), Instandsetzung (INLS - diese beinhaltet sowohl den Tausch der Kassetten als auch des Betonsockels) und Generalerneuerung (GELS – Neubau aller Bauteile inkl. Fundament) unterschieden. Für die Schweiz differenzieren (Ghielmetti, Mühlebach, Niederegger, 2009:49) anlagenbezogen unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen für typische Situationen. In beiden Dokumenten wird der Umfang der Maßnahmen durch die Bauteile charakterisiert, die ausgetauscht bzw. erneuert werden. Damit wäre es naheliegend, die Terminierung von Maßnahmen der Instandsetzung/Ersatz an den erwarteten Lebensdauern der betroffenen Bauteile auszurichten. Allerdings findet man in heute verfügbaren Dokumenten und Publikationen unterschiedliche Angaben zu diesen Lebensdauern. Eine Übersicht dazu zeigt Anhang 1.

Einen Auszug von Erfahrungswerten des Betriebsdienstes in den D-A-CH-Ländern aus den vorstehenden Regelwerken zeigt Tabelle 15. Es werden allerdings keine Kosten angegeben, sondern nur die Maßnahmen beschrieben, die vom Betriebsdienst nach Vorgabe eingeplant werden. Eine Unterscheidung

nach landschaftspflegerischen Auflagen aus dem Genehmigungsprozess – i.d.R. der Verkehrsanlage- oder dem Gestaltungswillen bei der LSS-Planung ist darin nicht ersichtlich.

Tabelle 15: Zusammenstellung von Anforderungen bzw. Erfahrungswerten des Betriebsdienstes in den D-A-CH-Ländern aus den vorstehenden Regelwerken [Anzahl pro Jahr]; letzte Zeile gibt nationalen Bezug an. *D/AT / ***CH.**

Reinigen	Mähen	Bewässern und Schneiden
Ingenieurbauwerke und deren Entwässerungseinrichtungen reinigen // Abfallbeseitigung: 1/Jahr*	<u>Intensivbegrünung</u> (Bankette/Gräben/Mulden) 1-2 / Jahr (Sichtfelder: 2/Jahr)* (AT: zweckabhängig öfter)	Raumgitterwände
	<u>Extensivbegrünung</u> 0,33 – 1/Jahr (AT: 0,33-0,5/Jahr)** (CH: gegen Neophyten öfter)***	0,33/Jahr (Gehölzschnitt)*/**
		0,14/Jahr (Gehölzschnitt 3/3 auf 7 Jahre)***
		Anwuchs- und Entwicklungspflege von 3 (bis 5) Jahren für Sträucher (Bewässerung) **

Um diese Maßnahmen besser charakterisieren zu können, wurde im Rahmen von decarboNoise eine Umfrage bei Betreibern von LSS durchgeführt. Die Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt dargestellt. Es hat sich gezeigt, dass im Rahmen des Projektes keine Kenn- oder Richtwerte für die Höhe und die Terminierung dieser Kosten von den Straßenbetreibern übernommen werden konnten. Ebenso sind keine eindeutigen Aussagen zur Planung von Maßnahmen der Instandsetzung/Erneuerung ableitbar. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Kosten und die Periodizität von Maßnahmen vom Standort des LSS abhängen, z.B. kürzere Erneuerungszyklen infolge Feuchtigkeit in Waldlagen oder erhöhte Kosten in steileren Hanglagen.

Aus diesem Grund wurde entschieden, dass die Anwendenden des Bewertungstools sowohl die Kosten während der Nutzungsphase (Modul B nach DIN EN 17472) als auch den Zeitpunkt, an welchem die Kosten anfallen,

projektspezifisch eingeben werden müssen. Es wird jedoch vereinfachend angenommen, dass Kosten für Betrieb- und Unterhalt jährlich anfallen.

Um die Schätzung der Kosten für die Anwendenden zu vereinfachen, können die Kosten mit Hilfe der Mengenbilanz der wichtigsten Bauteile / Baumaterialien unter zur Hilfenahme von Kostenkennwerten abgeschätzt werden. Dieses vereinfachte Vorgehen kann die Anwendung des Bewertungsmodells unterstützen, wenn zum Zeitpunkt der Planung noch keine Kostenschätzung vorliegt.

Die Anwendenden geben die Kostenkennwerte pro Einheit für die passende Bezugseinheit und alle Objekte ein, die in der jeweiligen Variante des Bauwerks vorkommen. Dabei wird unterschieden zwischen Kostenkennwerten für Neubau, Erneuerung und Rückbau. Je nach Datengrundlage können sie entweder nur die Material/Entsorgungskosten enthalten oder auch die damit verbundenen Bauleistungen. Für Betrieb- und Unterhalt sind vor allem die Flächen als Bezugseinheit sinnvoll für die Reinigung (falls notwendig) oder auch die Grünpflege. In einem letzten Schritt werden die Gegenwartswerte der Kosten im Lebensweg bestimmt, indem man die jeweiligen Zahlungen im Zeitverlauf diskontiert. Dazu müssen die Anwendenden des Bewertungssystems einen Zinssatz für die Diskontierung eingeben. Für den Variantenvergleich werden die Kapitalwerte der jeweiligen Varianten verwendet, dh. die Summe aller Barwerte der Kosten im Lebensweg.

4.2.3 Umfrage zur Erfassung der Aufwendungen in der Nutzungsphase

Differenzierungen nach Betriebs- und Unterhaltsaufwendungen in der Nutzungsphase unterschiedlicher LSS haben sich im Projekt decarboNoise sowohl hinsichtlich der Kosten als auch der Abschätzung der THG-Emissionen z.B. über des Geräteeinsatz bei der Grünpflege nicht umsetzen lassen. Zu unterschiedlich sind einerseits die räumlichen Bedingungen alpiner Gebiete gegenüber überwiegend flachem Gelände. Zusätzlich erlaubt das Portfolio der beteiligten Anlagenbetreiber bisher nur in wenigen Fällen eine Betrachtung der potenziell als nachhaltig angesehenen LSS, welches noch keine als gesichert anzusehende Auswertung z.B. der Lebensdauer gleicher Bauwerke an unterschiedlichen Standorten erlaubt.

Gleichwohl haben Hinweise aus der Literatur (Ghielmetti, Mühlebach, Niederegger (2009)) dazu geführt, dass versucht wurde, eine Differenzierung der in den verschiedenen nationalen Regelwerken für Betrieb und Unterhalt verankerten Vorgaben zu erzielen.

Mit einer Umfrage im Rahmen des Forschungsprojektes sollte die Beschreibung der Betriebsphase von LS-Anlagen vertieft werden, um auch den damit verbundenen Aufwand an THG-Emissionen quantifizieren zu können. Dazu sollten Erkenntnisse zu den mit der Betriebsphase verbundenen Tätigkeiten und Betriebsmittel bzw. den Maschineneinsatz gewonnen werden für:

- Betriebsdienst (Mähen / Bewässern);
- Inspektion
- Unterhaltsmaßnahmen / Instandsetzung
- Umgang mit Risiken durch Unsicherheit (z.B. materialabhängige Dichte von Inspektionsintervallen wg. Standsicherheit der Bauwerke).

Die vollständige Umfrage ist in Anlage 2 enthalten, die Auswerteergebnisse sind in Anlage 3 dargestellt. Die Umfrage wurde digital durchgeführt mittels des Umfrageinstrumentes „LIMESURVEY“. Begleitend zur Aussendung durch Beteiligte der Begleitkommission (insbesondere innerhalb von ASFInAG und ASTRA) wurde versucht die Umfrage durch direkte Ansprache von Verantwortlichen bei der Autobahn GmbH sowie der Hessischen wie Nordrhein-Westfälischen Landesstraßenbauverwaltung sowie weiteren Einzelpersonen in Schweiz und Deutschland möglichst weit zu streuen, um eine breite Datenbasis zu erhalten. Der Umfragestart erfolgte am 13.12.2023. Das Umfrageende war am 12.04.2024 durch Schließen der Antwortmöglichkeiten. In diesem Zeitraum wurde die Umfrage 76-mal gestartet, dabei wurden insgesamt 63-mal Antworten eingegeben. Unter Ausschluss erkennbarer Mehrfachantworten einzelner Antwortgebender sowie ohne (über die Angabe der Nationalität

hinaus) leere und inhaltlich unsinnige Antworten konnten insgesamt 36 sinnvoll nutzbare Antworten identifiziert und ausgewertet werden. Da nicht alle Fragen von allen Antwortgebenden beantwortet wurden, differiert dennoch die Anzahl der ausgewerteten Antworten verschiedener Fragen.

Im Anschluss an die Auswertung wurden mit Datum vom 21.03.2024 alle Personen kontaktiert, die im Rahmen der Umfrage einerseits mindestens einen Kommentar abgegeben sowie ihre Emailadresse angegeben haben. Einen Überblick über dieser Zahl der Personen nach Nationalität und Gesamtanzahl der Antworten zeigt Abbildung 32.

In der o.g. E-Mail wurde um Rückmeldung zur Vereinbarung eines ca. 30-minütigen Gesprächstermins im Hinblick auf die abgegebenen Kommentare gebeten.

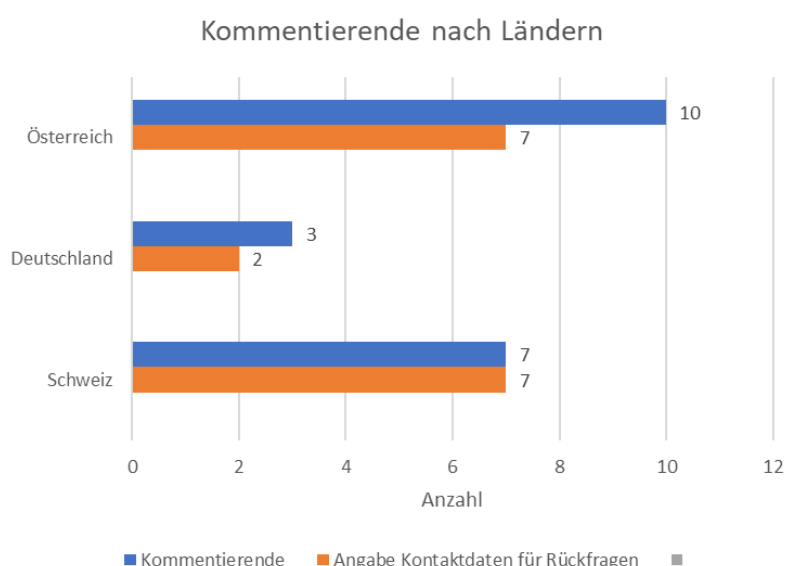


Abbildung 32: Anzahl der Personen, die mindestens einen Kommentar hinterlassen haben, nach Ländern.

Im Ergebnis können folgende Aussagen festgehalten werden:

- a) Eine Unterscheidung nach der Lage der LS-Anlagen wird für sinnvoll erachtet, da
 - der personelle und/oder maschinelle Aufwand, der mit der Lage der Pflegeflächen in Verbindung steht, ist von großer Bedeutung: Alpines Gelände erfordert z.T. erhebliche Sicherungsmaßnahmen für den „manuellen“ Einsatz von Pflegemaßnahmen an Böschungen, die maschinell nicht erbracht werden können; dies gilt abseits alpiner Bereiche auch für vergleichbar z.B. einseitig abschüssiger Lagen.

- LS-Anlagen im Umfeld bebauter Gebiete neben der Funktionalität auch architektonische Ansprüche erfüllen sollten, was in Verbindung mit der Materialwahl und erwarteter Dauerhaftigkeit gesehen wird.
 - begrünte LS-Anlagen neben dem Bewässerungsaspekt ausreichende Stellfläche für ihre Pflege benötigen, um z.B. im bebauten Umfeld möglichst geringen Einfluss auf die Verkehrslage zu produzieren.
- b) Eine Berücksichtigung der Exposition i.V. mit der Lage der LS-Anlagen wird für sinnvoll erachtet, da hiermit spezielle Schäden in Verbindung stehen können; beispielhaft wird ein Moosproblem an einer optisch neuen LS-Wand mit Konstruktion als „offene“ Holzpaneele (Abstand zwischen zwei senkrechten Paneelen) angeführt: Trotz augenscheinlich bautechnisch korrekter Ausführung bildet sich an einer Stelle zunehmend Moos; es wird vermutet, dass dadurch eine Verbindung zur schallabsorbierenden Füllung hergestellt wird, die wiederum die Feuchtigkeit aufnimmt und das angrenzende Holz durchfeuchtet.

Darüber hinaus werden Synergieeffekte gesehen bei der Errichtung von begrünten LS-Anlagen bei angrenzender Nutzung durch private Gärten.

Fazit der Umfrage zur Grundlagenermittlung der Betriebsphase

Die Betriebsphase der LS-Anlagen kann quantitativ nur estimativ-abschätzend beschrieben werden, basierend auf den Erfahrungswerten, welche in den nationalen Anforderungskatalogen zur Beschreibung der situationsbezogenen, erforderlichen Leistungen niedergelegt sind. Hierzu bedarf es einer Abschätzung der THG-Emissionen für den durchschnittlichen Geräte- und Fuhrpark der Straßenbetreiber, der derzeit nicht bekannt ist. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass personalkostenaufwändige Pflege nicht zwingend mit hohen THG-Emissionen verbunden sein muss, die überwiegend aus schwerem Gerät resultiert. Eine Vernachlässigung des Maschineneinsatzes in der Nutzungsphase, der gegenüber Herstellungs-/Errichtungs- und Rückbauphase und auch gegenüber dem erforderlichen Maschineneinsatz bei Austausch und Ersatz von Bauteilen nur eine untergeordnete Rolle spielt, erscheint daher auch aus Gründen des Bilanzierungsaufwandes gerechtfertigt.

In der Folge wurde den unterschiedlichen Grünpflegesituationen dadurch Rechnung getragen, dass der erforderliche Aufwand durch Anwendende des Tools DecarboNoise im Kostenansatz verändert werden kann sowie Auswirkungen der Lage auf die Lebensdauer von Bauteilen über die Eingabe von einzelnen Lebensdauerangaben je Bauteil abgebildet werden können.

Auf die Entfernung von Graffiti als Teil der Unterhaltsarbeiten wurde grundsätzlich verzichtet, unabhängig davon, ob durchsichtige Elemente betroffen sind (Verlust der Sicht- und/oder Belichtungsfunktion) oder nicht; dies begründet sich damit, dass aus Aufwandsgründen häufig nur politisch verbotene Graffiti entfernt werden.

4.3 Treibhausgasbilanzierung (OST)

Zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen werden Ökobilanzen eingesetzt, auch Lebenszyklusanalysen oder Life-Cycle-Assessment (LCA) genannt. Sie sind in vielen Standards und Beurteilungssystemen zum nachhaltigen Bauen integriert, meist zur Berechnung der Umweltwirkungen von Bauwerken, Bauteilen oder Baustoffen. Für die Ökobilanzierung stehen verschiedene Normen zur Verfügung. Den allgemeinen methodischen Rahmen liefert die ISO 14040ff. Für den Baubereich wurden internationale Normen zu sogenannten Umweltproduktdeklarationen geschaffen (EN 15804). Sie tragen zu einem vergleichbaren Vorgehen bei der Ökobilanzierung bei.

Eine Ökobilanz besteht aus zwei Teilen: den technischen Daten der Prozesskette des Lebenswegs eines Bauwerks (z.B. den Energieverbrauch der Betonherstellung) und Bewertungsverfahren zur Abschätzung der Umweltwirkungen (z.B. die Treibhausgas-Emissionen). Diese technischen Daten werden als «Öko-Inventare» und die Bewertungsverfahren als «Wirkungsmodelle» bezeichnet.

- Die technischen Daten für die Öko-Inventare werden i.d.R. von Unternehmen erhoben und bereitgestellt. Heutzutage existieren Datenbanken, in denen diese Datensätze gesammelt und interessierten Nutzern zu Verfügung gestellt werden. Viele Datenbanken werden in Lizenz mit Ökobilanzsoftware-Paketen angeboten (z.B. Ecoinvent, USLCI⁴, Industrie data 2.0⁵). Teilweise werden die Ökoinventardaten aber auch exklusiv von einem Softwareanbieter mit seinem Produkt mitgeliefert (z.B. in GaBi von Sphera (Sphera LCA Datenbank 2025)). Eine der ältesten und weltweit genutzten Datenbanken ist Ecoinvent. Sie wird vom Ecoinvent-Zentrum in der Schweiz verwaltet und

⁴ Die U.S. Life Cycle Inventory (USLCI) Datenbank wurde vom NREL (National Renewable Energy Laboratory) entwickelt und unterstützt die Analyse von Umweltwirkungen von Materialien, Komponenten und Produkten, die in den USA hergestellt werden.

⁵ Diese Datenbank umfasst mehr als 300 Datensets, die von folgenden Industrieverbänden gesammelt wurden: Plastics Europe, World Steel und ERASM (European Detergents and Surfactants Industries).

weiterentwickelt⁶. In Deutschland wird mit dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen und der Datenbank ÖKOBAUDAT gearbeitet (BMWSB 2025).

- Bei den Wirkungsmodellen greift man auf Expertenwissen über Umweltwirkungen zurück. International werden eine Vielzahl verschiedener Wirkungsmodelle verwendet, z.B. für den Treibhauseffekt oder die Zerstörung der Ozonschicht.

In diesem Abschnitt wird zunächst dargestellt, auf welchen Datengrundlagen die Bilanzierung der THG-Emissionen für die Prozessketten der Herstellung von Baumaterialien aufbaut. Anschließend werden die Systemgrenzen der Bilanzierung der THG-Emissionen der LSS beschrieben. Im dritten Schritt wird beschrieben, wie die Bilanzen erstellt werden.

4.3.1 Datengrundlage: Lebensweg der Baumaterialien

Für Anwendungen im Baubereich wurden in den letzten Jahrzehnten Datenbanken entwickelt, die eine einfache Anwendung von Ökobilanzdaten ermöglichen. Sie liefern für Baumaterialien und -produkte direkt die Ökobilanzergebnisse ausgedrückt in den Einheiten der verwendeten Wirkungsmodelle (z.B. kg CO₂-Eq. für das Wirkungsmodell der Treibhausgas-Emissionen).

In der Schweiz werden diese Daten von der «Ökobilanzplattform im Baubereich» vom Bund veröffentlicht. Sie basieren auf einem eigenen Datenstandard, dem UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2018, werden durch unabhängige Gutachter geprüft und die grundlegenden Daten und Annahmen werden vollständig veröffentlicht. Sie stellt Anwendenden in der Bauwirtschaft eine verlässliche Datengrundlage mit schweizweit repräsentativen und anerkannten produkteneutralen Ökobilanzdaten zur Verfügung. Asphaltrechner (in Bearbeitung).

In Österreich wurde im Rahmen des VIF 2020 Forschungsprojektes Decarbonisation First (06/2021 bis 01/2023) eine Datensammlung mit für Österreich repräsentativen THG-Emissionsfaktoren (ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten) für die relevanten Baustoffe von Infrastrukturbauwerken erstellt. Dabei lag eine Priorität darauf, den Katalog zu einem möglichst hohen Anteil

⁶ Seit der Veröffentlichung der ersten Version im Jahr 2003 bietet es die weltweit führende Sammlung von Ökoinventardaten an. Federführend beteiligt sind die ETH Zürich und Lausanne, PSI, Empa sowie agroscope ART. Gefördert wird sie von verschiedenen Bundesämtern der Schweiz.

auf EPDs (Environmental Product Declaration) aufzubauen, d.h. konform zur DIN EN 15804

In Deutschland stellt das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) mit der Plattform ÖKOBAUDAT eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung. Im Zentrum der Plattform steht die Online-Datenbank mit Ökobilanz-Datensätzen zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen. Es werden Datensätze für die relevanten Bauprodukte konform zur DIN EN 15804 bereitgestellt.

Leider ist der UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2018 nicht vollständig kompatibel mit der DIN EN 15804 bzw. den darauf basierenden EPD-Produktkategorieregeln. Werner und Frischknecht (2019) haben im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA, der Lignum und des Verbands der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft die beiden Ökobilanzdaten-Bestände verglichen. Die nachfolgende Tabelle fasst die drei wesentlichen Unterschiede zusammen.

Tabelle 16: Unterschiede zwischen EPDs und Schweizer Ökobilanzdaten im Baubereich.

Unterschiede in Sachen:	Ökobilanzen im Baubereich (Schweiz)	EPD (Österreich und Deutschland)
Datenbasis	Transparent, basiert auf Datenstandard UVEK DQRv2:2018 öffentlich einsehbar, durch wissenschaftliches Gremium geprüft	Transparenz sehr unterschiedlich, Annahmen teilweise nicht nachvollziehbar; Überprüfung durch externe Sachverständige aber keine Veröffentlichung der Hintergrundberichte.
Betrachtung von Prozessen des Recyclings bzw. der Abfallbehandlung	Umweltwirkung wird aufgeteilt zwischen dem Produkt, das zu Abfall wird, und dem Produkt zu dessen Herstellung der Abfall eingesetzt wird.	Umweltwirkung wird dem Produkt zugerechnet, das zu Abfall wird, bis das Ende der "Abfalleigenschaft" erreicht ist (gemäß nationaler Gesetzgebung).
Primärenergie	Verwendet als Basis den oberen Heizwert (unterer Heizwert + Kondensationswärme)	Verwendet als Basis den unteren Heizwert

Für einige Baumaterialien führen diese Unterschiede dazu, dass ein Ökobilanzierung mit EPDs zu anderen Ergebnissen führt als die Schweizer Ökobilanzen im Baubereich. Beispielsweise bei Betonen sind die THG-Emissionen in den EPDs systematisch bis zu 30 % tiefer als die THG-

Emissionen der Schweizer Ökobilanzdaten im Baubereich, da Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen in Zementwerken nicht berücksichtigt werden.

Weitere wichtige Unterschiede sind:

Die Berücksichtigung von «Vorteilen und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen» (Modul D nach EN 15804) als Option in den EPDs. Hier kann beispielsweise die Wiederverwendung, das Recycling und die Energierückgewinnung als Abfällen am Ende des Lebenswegs eines Produktes mitberücksichtigt werden (z.B. für Plastik oder Holz). In den Schweizer Ökobilanzen im Baubereich werden diese Vorteile und Belastungen dem neuen Produkt zugerechnet, das diese Abfallstoffe weiterverwendet.

Die Berücksichtigung der Speicherung von Kohlendioxid während der Nutzung eines Produktes. In verschiedenen EPDs wird diese Speicherung im Herstellungsprozess berücksichtigt, sodass es beispielsweise bei Baustoffen aus Biomasse zu negativen THG-Emissionen in den Modulen A1 bis A3 kommt. Am Ende des Lebenswegs werden diese THG-Emissionen wieder freigesetzt, sodass sie in der Summe des gesamten Lebenswegs nicht berücksichtigt werden. In den Schweizer Ökobilanzen im Baubereich wird die Speicherung von Kohlenstoff getrennt betrachtet als «Biogener Kohlenstoff», der im Baumaterial enthalten ist (z.B. in Holz) angegeben in Kilogramm Kohlenstoff (kg C). Die daraus bei der Entsorgung entstehenden THG-Emissionen (z.B. bei der Verbrennung) werden nicht berücksichtigt, da es sich um «zyklische CO₂-Emissionen handelt», dh. Kohlendioxid, welches beim Wachstum der Pflanzen aus der Atmosphäre entnommen wird und bei der Verbrennung der Biomasse aus diesen Pflanzen wieder abgegeben wird.

Vor dem Hintergrund dieser Ausgangslage werden im Bewertungstool DecarboNoise die bereits erwähnten länderspezifischen Datengrundlagen verwendet: Ökobilanzen im Baubereich (CH), Ökobaudat (D) und die österreichische Datensammlung repräsentativer THG-Emissionsfaktoren (A). Es werden im Anwendungstool die Informationen zu «Vorteilen und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen» (Modul D), um eine weitgehende Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicher zu stellen.

Dennoch wird dieses Vorgehen dazu führen, dass die Schätzung der Treibhausgasemissionen in den drei Ländern zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Sie sind u.a. zurückzuführen auf

- Unterschiedlicher Strommodelle: Die Strombereitstellung wird häufig aufgrund eines länderspezifischen Strommixes modelliert. In Deutschland führt die Stromherstellung beispielsweise zu höheren THG-Emissionen als in der Schweiz, weil der Anteil der Kohlekraftwerke

höher ist. Das wirkt sich für alle Baumaterialien aus, deren Herstellung zu einem Stromverbrauch führt.

- Unterschiedliche Anteile von Sekundärmaterialien bei der Herstellung von Baustoffen. Dieser Anteil ist beispielsweise in der Schweiz höher als in Deutschland für Armierungseisen und Beton, da mehr Bauabfälle hochwertig wiederverwertet werden.
- Unterschiedliche Transportdistanzen in der Produktionskette. Die THG-Daten für Baumaterialien enthalten auch Transporte entlang der Wertschöpfungskette, z.B. den Transport von Holz bis zum Sägewerk. Diese Transportdistanzen können länderspezifisch variieren.

4.3.2 Systemabgrenzung THG-Bilanzierung

Die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen geht im Wesentlichen von den gleichen Systemgrenzen aus wie die Schätzung der Lebenszykluskosten (vgl. Abschnitt 4.2.1). Es gibt allerdings zwei wichtige Unterschiede:

Modul A1-5 (Herstellungs- und Errichtungsphase): Während die Kosten dieser Phase durch die Baukostenabrechnung vollständig erfasst werden, baut die Bilanzierung der THG-Emissionen auf den Datengrundlagen auf, die in Abschnitt 4.3.1 beschreiben wurden. In den Schweizer Ökobilanzdaten im Baubereich basieren diese Daten auf einer einheitlichen Systemabgrenzung, die jedoch den Transport der Baumaterialien/-teile zur Baustelle und den Einbau nicht berücksichtigt. Informationen zu Modulen A4 und A5 müssen daher zusätzlich abgeschätzt werden. Im Bewertungstool DecarboNoise berücksichtigen wir dabei vereinfachend nur Materialien, die in größeren Mengen eingesetzt werden (z.B. Aushub, Kies oder Beton). Bei den Umweltproduktdeklarationen (EPDs), die den österreichischen und deutschen Daten zugrunde liegen, kann die Systemabgrenzung von Baumaterial zu Baumaterial variieren. Die Module A1-3 sind in allen EPDs abgedeckt, Informationen zu den Modulen A4 und A5 fehlen aber bei den meisten Baumaterialien. Daher sind auch hier ergänzenden Abschätzungen notwendig.

Modul B (Nutzungsphase): Bei den Lebenszykluskosten werden auch die Kostenfolgen einer Bepflanzung abgeschätzt. Dieser Aspekt wird bei der Bilanzierung der THG-Emissionen vernachlässigt. Wir gehen davon aus, dass die THG-Emissionen der für die Grünpflege eingesetzten Maschinen gering sind. Außerdem vernachlässigen wir die Speicherung von CO₂ in der Bepflanzung (Biomasse) während der Lebensdauer der LSS. Grund dafür sind einerseits methodischen Unsicherheiten bei diesen Abschätzungen. Andererseits gehen wir davon aus, dass dieser Effekt gering ist.

4.3.3 Bilanzierung

Die Bilanzierung der THG-Emissionen geht von der Menge an Baumaterialien aus, die während der Lebensdauer der LSS eingesetzt werden (inkl. Ersatz). Diese Mengen müssen hergestellt, transportiert, eingebaut, rückgebaut und entsorgt werden. Dazu werden diese Mengen mit den Daten zum Lebensweg der Baumaterialien multipliziert (siehe Abschnitt 4.3.1), wobei diese Mengen in unterschiedlichen Maßeinheiten dargestellt werden können wie Masse, Volumen, Fläche oder Stückzahlen.

Bei der Schätzung dieser Mengen wählen wir zwei unterschiedliche Ansätze:

- Mengenschätzung direkt über die Dimensionierung der Bauwerke: Ein Teil der Mengen der Baumaterialien kann direkt über die Dimensionierung der Bauwerke abgeschätzt werden. Dies betrifft vor allem Massengüter wie Kiessande und Aushub oder Materialien, die eindeutig einem Element des Bauwerks zugeordnet werden, z.B. Kupfer für die Abdeckung.
- Mengenschätzung über eine standardisierte Zusammensetzung der Bauteile: Die Mengen des größten Teils aller Baumaterialien wird über Annahmen zu der Materialzusammensetzung der Bauteile abgeschätzt. Ein einfaches Beispiel ist Stahlbeton, der aus Armierungseisen und Beton besteht. Im Bewertungstool können die Anwendenden zwischen verschiedenen Varianten von Stahlbeton auswählen, die sich nur im Bewehrungsgehalt unterscheiden. Aufgrund der Auswahl rechnet das Bewertungstool die entsprechenden Mengen an Armierungseisen und Beton aus. Ebenso wird für andere Bauteile wie Paneele oder Steher vorgegangen. Allerdings kann hier die Zusammensetzung der Bauteile deutlich stärker variieren. Daher können die Anwendenden die Zusammensetzungen dieser "standardisierten Bauteile" jederzeit anpassen und auch neue Bauteile hinzufügen.

Durch dieses Vorgehen wird versucht, eine möglichst transparente und vergleichbare Grundlage für die Bilanzierung zu schaffen. Im Prototyp des Bewertungstools, der im Projekt decarboNoise entwickelt wurde, wird eine erste Auswahl an "standardisierten Bauteilen" vorgegeben ohne Anspruch an Vollständigkeit und Repräsentativität.

4.4 Weitere Bewertungskriterien

In diesem Abschnitt werden die methodischen Grundlagen für die Ermittlung der Ausprägung der verbleibenden Bewertungskriterien beschrieben: Änderungen der Biodiversität und des Mikroklimas, Flächeninanspruchnahmen sowie THG-Einsparung durch Stromerzeugung. Die Grundlagen der Bewertung

möglicher Einschränkungen der akustischen Wirksamkeit werden ergänzend dazu in Abschnitt 3.2 dargestellt.

Im Unterschied zu den Lebenszykluskosten und den THG-Emissionen sollten diese Kriterien in Bezug auf den Standort des LSS betrachtet werden. Einige dieser Kriterien sind in dicht besiedelten Stadträumen relevanter als in ländlichen Räumen (z.B. Änderungen des Mikroklimas). Bei der Bewertung der Flächeninanspruchnahme und der THG-Einsparung durch Stromerzeugung sollte die Verfügbarkeit von Flächen bzw. von Stromabnehmern standortspezifisch geprüft werden. Die hier vorgeschlagenen Methoden zur Ermittlung der Ausprägungen berücksichtigen keine standortspezifischen Aspekte. Sie liefern daher nur Hinweise auf mögliche Wirkungen von LSS als Unterstützung der Planung.

4.4.1 Änderung der Biodiversität

Wir gehen davon aus, dass eine Bepflanzung von LSS einen positiven Beitrag zur Biodiversität leistet: für Pflanzen ebenso wie für Tiere. Die Planenden können insbesondere zwei Aspekte beeinflussen:

- Größe der bepflanzten Fläche durch Wahl der Bauweise und Entscheid zur Bepflanzung: hier ist eine quantitative Bewertung in Abhängigkeit von der Fläche möglich.
- Auswahl der Pflanzen mit dem Ziel einen möglichst guten Lebensraum für Insekten und Vögel zu bieten, den Erhalt heimischer Arten zu fördern, möglichst viel Kohlendioxid zu speichern und Verdunstung zu ermöglichen.

Als Datengrundlagen benötigen wir Angaben zur Qualifizierung verschiedener Pflanzenarten nach den oben genannten Kriterien. Eine wertvolle Informationsquelle bietet die internationale Datenbank «Plant Trait Database», die webbasiert verfügbar ist (<https://www.try-db.org>). Sie kann Werte liefern für bestimmte Merkmale von Pflanzenarten wie die Menge an Biomasse (g Trockensubstanz pro m²) als Indikator für die Qualität des Lebensraums für Insekten und die Speicherung von Kohlendioxid. Ebenso könnte die Blattverdunstungsrate (in mmol/m²/s) als Indikator für die Verdunstung verwendet werden. Leider weist diese Datenbank aktuell viele Lücken auf, sodass sie im Moment zu wenig Daten für eine differenzierte Bewertung begrünter Lärmschutzsysteme liefert.

Aus diesem Grund mussten wir unseren Bewertungsansatz noch weiter vereinfachen und schlagen als Indikator die Anzahl der verwendeten heimischen Pflanzenarten vor. Da die Auswahl dieser Pflanzenarten

standortspezifisch erfolgen sollte, stellt das Projekt decarboNoise keine Listen von geeigneten Arten zur Verfügung. Im Rahmen des Anwendungstools wird aber exemplarisch eine solche Liste für die Schweiz erarbeitet, die in allen drei Modellierungen implementiert ist.

<http://www.naturawall.ch/medien/medienpool/pflanzliste-mischbegrueung-nov-2018.pdf>

<http://www.kokosystems.at/begrueung-der-kokowall-mit-sichtschutz-pflanzen>

4.4.2 Änderungen des Mikroklimas

Die Bewertung der Auswirkung des Lärmschutzsystems auf das Mikroklima fokussiert auf seinen möglichen Beitrag zur Hitzeminderung im Sommer. Die Planenden können insbesondere zwei Aspekte beeinflussen:

- Größe der bepflanzten Fläche durch Wahl der Bauweise und Entscheid zur Bepflanzung: hier ist eine quantitative Bewertung in Abhängigkeit von der Fläche möglich. Die Bepflanzung trägt immer zur Hitzeminderung bei aufgrund der Verdunstung.
- Die Wahl des Materials und der Farbe des nicht bepflanzten, oberirdischen Teils des LSS. Ausschlaggebend ist dabei das Rückstrahlungsvermögen der Materialien Fläche (Albedo).

Für die Rückstrahlungsvermögen unterschiedlicher Materialien sind verschiedene Studien für Oberflächen von Bodenbelägen oder Fassaden verfügbar (z.B. Hoffmann und Geissler, 2022). Sie zeigen, dass insbesondere der Farbeindruck einen großen Einfluss hat. So strahlen dunkle Oberflächen deutlich weniger Wärme ab als helle Oberflächen - auch wenn das gleiche Material verwendet wird.

Vor diesem Hintergrund haben wir entschieden, die Bewertung zu vereinfachen und lediglich den Anteil der bepflanzten Fläche und den Farbeindruck zu bewerten. Ein LSS trägt dann maximal zur Hitzeminderung bei, wenn es komplett bepflanzt ist. Bei einem nur teilweise oder gar nicht bepflanzten LSS schneidet eine Variante mit hellem Farbeindruck besser ab als eine Variante mit dunklem Farbeindruck.

4.4.3 Flächeninanspruchnahme

Da in einigen Ländern / Regionen eine erhebliche Nutzungskonkurrenz von Landflächen besteht (vor allem in urbanen Regionen), wird die Flächeninanspruchnahme als zusätzliches Kriterium verwendet. Betrachtet wird die Grundfläche der verschiedenen Varianten eines Lärmschutzsystems (inkl. Bepflanzung).

Mögliche Unterschiede in Bezug auf die Versiegelung von Flächen durch wasserundurchlässige Beläge werden hingegen nicht berücksichtigt.

4.4.4 THG-Einsparung durch Stromerzeugung

Die Nutzung von LSS für die Stromerzeugung durch Photovoltaik-Anlagen wird aktuell in allen drei Ländern diskutiert. Um diesen Entscheid zu unterstützen, soll das Bewertungssystem den möglichen Beitrag von Photovoltaik-Anlagen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen durch die Stromerzeugung grob abschätzen können (unter Berücksichtigung der zusätzlichen indirekten Treibhausgas-Emissionen infolge der Produktion der Photovoltaik-Anlagen).

Für die Abschätzung der möglichen THG-Emissionen durch die Stromerzeugung in PV-Modulen, die auf den Lärmschutzsystemen montiert werden, wird von den folgenden Parametern ausgegangen:

- Fläche der PV-Module in m²,
- Leistung der PV-Module pro m² (in kWp),
- Ertrag der PV-Module pro kWp in abhängig von Standort und Ausrichtung (in kWh pro Jahr),
- Treibhausgas-Emissionen für die Erzeugung einer kWh mit einem PV-Modul inkl. Herstellung und Entsorgung der Anlage (in kg CO₂-Eq pro kWh)
- Durchschnittliche Treibhausgas-Emissionen für die Erzeugung einer kWh im Stromnetz, in das die PV-Anlage einspeist (in kg CO₂-Eq pro kWh).

Für die Bewertung werden die eingesparten jährlichen THG-Emissionen abgeschätzt als Differenz zwischen den THG-Emissionen der PV-Anlage und den THG-Emissionen des Kraftwerksparks, der das nationale Stromnetz versorgt. Dabei wird angenommen, dass jede von der PV-Anlage eingespeiste kWh eine kWh im Stromnetz ersetzt - unabhängig von dem Zeitpunkt der Einspeisung (z.B. Winter oder Sommer). Damit wird die Wirkung der PV-Anlage tendenziell überschätzt, da sie zum Zeitpunkt der Einspeisung meist in Konkurrenz zu anderen PV-Anlagen steht, die ebenfalls ins Stromnetz einspeisen. Es wird außerdem von den THG-Emissionen des heutigen Kraftwerksparks ausgegangen. Auch hier besteht die Gefahr einer Überschätzung der Wirkung, da infolge der Umsetzung der Klimapolitik die THG-Emissionen aus der Stromherstellung in den kommenden Jahrzehnten stark sinken werden.

Vor dem Hintergrund dieser erheblichen Unsicherheiten geben wir die eingesparten THG-Emissionen lediglich für ein Jahr an (bezogen auf die aktuelle Situation). Wir empfehlen, diesen Wert nicht über die gesamte Lebensdauer des LSS hochzurechnen und mit den Ergebnissen der THG-Bilanzierung des Bauwerks zu vergleichen.

5 Berechnungstool

In diesem Abschnitt wird das Bewertungstool DecarboNoise beschrieben. Dazu werden zunächst die Anwendungsfälle (“use cases”) dargestellt (Abschnitt 5.1). Anschließend wird das zugrundeliegende Datenmodell (Abschnitt 5.2) beschrieben. Die Ergebnisse des Tools werden am Beispiel einer fiktiven Anwendung als einen breit gefächerten Variantenvergleich für ein LSS (Abschnitt 5.3) dargestellt. Im letzten Abschnitt wird ein Anwendungsbeispiel beschrieben (Abschnitt 5.4)

Eine detailliertere Beschreibung des Bewertungstools findet sich im Anwenderhandbuch, welches dem Bericht als Anhang 4 beiliegt. Hier findet man auch die Nutzerführung für die Umsetzung des Tools in MS Excel, die Formeln zur Abschätzung der Materialmengen auf der Grundlage der Dimensionierung und die Datengrundlagen im Prototyp für alle drei Länder.

5.1 Anwendungsfälle (“Use cases”)

Insgesamt lässt sich für alle drei betrachteten Länder der lärmtechnische Planungsprozess in drei Fälle untergliedern:

- Aus-/Neubauplanung (Straßenbau),
- Ersatzbau Lärmschutz,
- Lärmsanierung.

In allen drei Fällen kann bei der Ausgestaltung der LSS das decarboNoise-Bewertungstool zum Einsatz kommen, um über die Ausgestaltung des jeweiligen LS-Anlage ein Dekarbonisierungsoptimum zu erzielen oder entsprechende Unterschiede zwischen den Bauwerken offenzulegen. Mit der fortschreitenden Lebensdauer der LS-Anlagen rückt der Bedarf für Erhaltung und Erneuerung zunehmend in den Fokus der Betreiber. Eine Verringerung der akustischen Anforderungen an die Lärmschirme bestehender LS-Anlagen ist aus gegenwärtiger Sicht nicht zu erwarten.

Eine grafische Darstellung hierzu findet sich in der folgenden Abbildung 33.

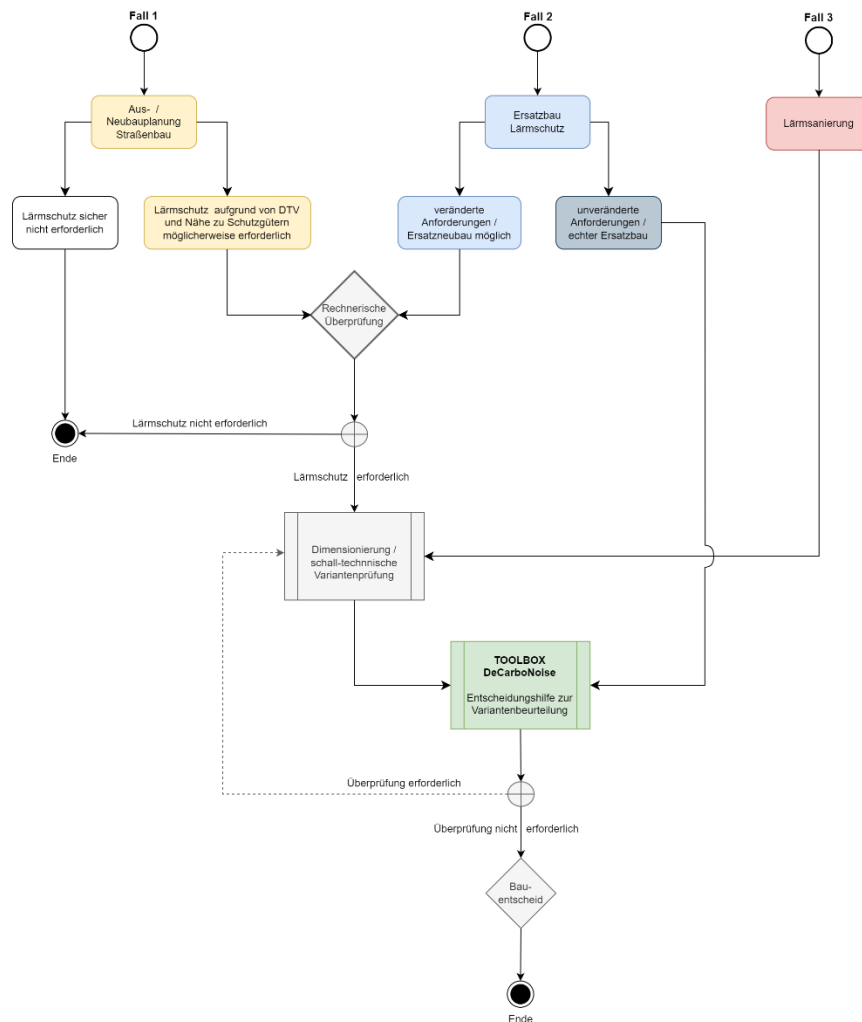


Abbildung 33: Tool DecarboNoise im lärmtechnischen Planungsprozess.

Sowohl im Fall von Neu- und Ausbauplanung von Straßenquerschnitten sowie bei der Lärmsanierung kann das Anwendungstool DecarboNoise zum Einsatz kommen (Anwendungsfälle Neubau und Lärmsanierung). Default-Angaben können genutzt werden, um in frühen Phasen der LS-Planung (d. h. schalltechnische Dimensionierung liegt vor) eine erste Einschätzung auf Fragestellungen zur Nachhaltigkeit der geplanten LS-Anlage zu gewinnen. Das Anwendungstool DecarboNoise unterstützt damit bei der Entscheidung für den später zu realisierenden LS-Anlagentyp.

Einen zweiten Anwendungsfall stellt der Ersatzbau von LS-Anlagen oder Teilen davon dar. Fragestellungen zu Entscheidungen über die Materialität bei Austausch von Bauteilen wie Wandpaneelen und Abdeckungen können

unterstützt werden, wenn die Lebensdauer nicht austauschbedürftiger Bauteile (z.B. Fundament und Pfosten) auf die erwartete Restlebensdauer reduziert wird.

Durch Variation der Lebensdauer einzelner Bauteile können Einflüsse auf das Gesamtergebnis aufgezeigt und so die Bandbreite der erwartbaren Entwicklung aufgezeigt werden. Dies trägt zu robusteren Entscheidungsgrundlagen bei und stellt damit einen dritten Anwendungsfall dar.

5.2 Datenmodell

Für die Entwicklung des ersten Prototyps zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen gingen wir von einem Datenmodell aus, das sich grob an der Schlüsseltabelle «Bauteile Hauptbauteile» aus der deutschen ASB-ING orientiert. Es kann für zukünftige Anwendungen weiterentwickelt werden durch (i) bessere Anpassung an die Begriffe der Baupraxis in der drei Ländern und (ii) Weiterentwicklung der Unterscheidung von Objekten in Bauteile (je nach Bedarf: Vereinfachung oder weitere Detaillierung).

Auf der obersten Ebene wird eine Auswahl von Werten für Parameter eingegeben, die für diese gesamte Bewertung relevant sind. Sie umfassen die geplante Nutzungsdauer des geplanten LSS. Anhand dieses Parameterwerts und Informationen zu den Lebensdauern der Objekte auf Bauteilebene kann abgeschätzt werden, wie oft ein Objekt bzw. Bauteil während des gesamten Lebenswegs des Bauwerks ersetzt werden muss.

Auf dieser Ebene werden auch Werte für die Lebenszyklusanalyse eingegeben: einerseits der Zinssatz für die Diskontierung und andererseits ein Richtwert für eine vereinfachte Schätzung der Unterhaltskosten (als Anteil der Baukosten).

Da die THG-Emissionen der Transporte zur Baustelle von dem Standort des Projekts abhängen, können an dieser Stelle auch die Transportdistanzen der Baustoffe und Bauteile angegeben werden, die entweder eine erhebliche Masse haben oder bei denen mit längeren Transportdistanzen zu rechnen ist. Die Entfernung kann sich - abhängig vom Planungsstadium- auf die durchschnittliche Entfernung der Massengut-Herstellungsorte bis zum konkreten Einbauort beziehen oder eine pauschale Entfernung zwischen zuständigem Bauhof und Einbauort berücksichtigen.

Auf der nächsten Detaillierungsebene wird zwischen verschiedenen Abschnitten des geplanten Bauwerks unterschieden. Das Anwendungstool erlaubt es, dass in einem Projekt unterschiedliche Typen von LSS modelliert werden oder LSS des gleichen Typs mit unterschiedlichen Dimensionen (z.B. Höhen), unterschiedlichen Materialien oder Typen der Foundationen (abhängig

vom Baugrund). Daher ermöglicht das Bewertungstool die Unterscheidung verschiedener Abschnitte. Innerhalb eines Abschnitts geht man von den gleichen Dimensionen und der gleichen Materialisierung aus.

Attribute: Name, Nutzungsdauer, Zinssatz für Diskontierung, Schätzwert, Unterhaltskosten, Geschätzte Transportdistanzen zur Baustelle

Attribute: Länge, Breite, Höhe, Fläche PV, Leistung PV, Ausrichtung PV. Anteil begrünte Fläche, Regionalität der Bepflanzung, Gesamtfarbeindruck

Attribute: Nutzungsdauer, Parameter der Dimensionierung (siehe Dokumentation)

Attribute: Materialmengen pro Bezugsmenge Bauteil und Kostenkennwerte

Attribute: Dichte, THG-Emissionen (Herstellung, Einbau, Entsorgung, Transporte), Kostenkennwerte

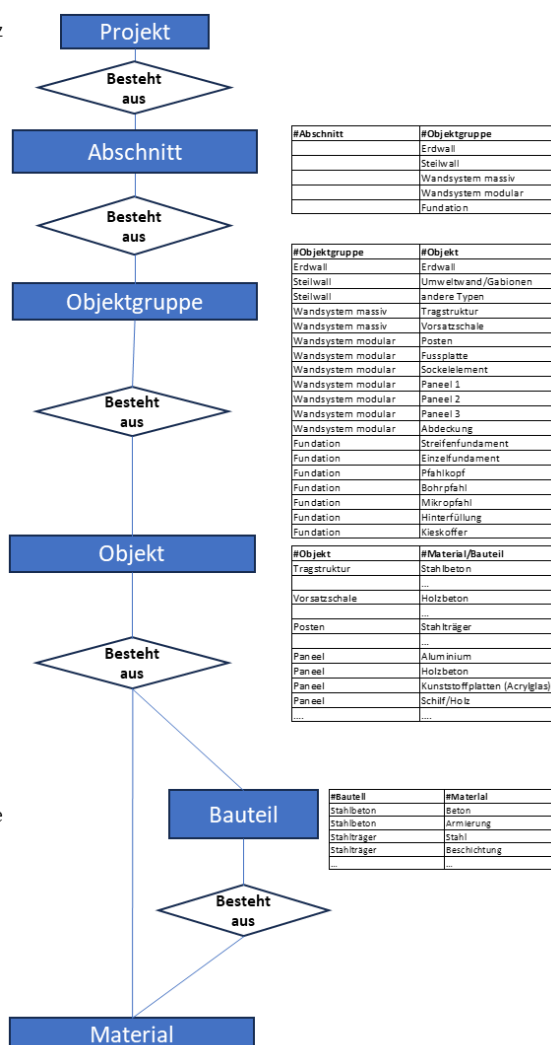


Abbildung 34: Übersicht über das Datenmodell (vereinfacht).

Auf der Ebene des Abschnitts wählt man den Typ des LSS, den man errichten möchte, z.B. einen Steilwall oder ein LSS in modularer Bauweise. Er wird im Datenmodell als Objektgruppe bezeichnet. Die Fundation wird als eigene Objektgruppe definiert, da man bei LSS in massiver oder modularer Bauweise zwischen unterschiedlichen Typen von Fundationen auswählen kann (z.B.

Streifenfundation oder Pfahlfundation). Im Prinzip kann man auch mehr als eine Objektgruppe wählen, z.B. für einen Erdwall auf den ein LSS in modularer Bauweise mit Pfahlfundation errichtet wird.

Für den jeweiligen Abschnitt werden die groben Dimensionen eingegeben wie Länge, Höhe und Breite des jeweiligen Objektes. Diese Angaben dienen einerseits zur Schätzung der Flächeninanspruchnahme (siehe Abschnitt 4.4.3). Andererseits wird eine theoretische Wandfläche abgeschätzt als Produkt von Länge und Höhe - unter Vernachlässigung der Neigung bei Erd- und Steilwällen. Dieser Wert wird als Bezugseinheit verwendet für die Ermittlung von Vergleichswerten für Lebenszykluskosten (Kapitalwert/Bezugsfläche) und Treibhausgasemissionen ($\text{CO}_2\text{-Eq/Bezugsfläche}$).

Für jeden Abschnitt werden außerdem Parameterwerte für die Stromerzeugung mit PV, die Bepflanzung und den Farbeindruck eingegeben.

Jeder Objektgruppe ist eine Auswahl von Objekten zugeordnet. Diese Zuordnung kann von Anwendenden nicht verändert werden. Aber es können aus den zugeordneten Objekten diejenigen ausgewählt werden, die in der Projektvariante verwendet werden sollen. Für die ausgewählten Objekte werden Parameterwerte für die Dimensionierung eingegeben; bei allen anderen Objekten dieser Objektgruppe werden die Werte der Eingabefelder auf null gesetzt.

Auf der Ebene der Objekte werden die Dimensionen eingegeben, z.B. Länge, Breite, Anzahl oder Volumen, und das entsprechende Material oder Unterbauteil (z.B. Pfahlkopf) ausgewählt. Für die meisten Objekte muss ebenfalls eine Lebensdauer eingegeben werden, um die Instandsetzungs- / Ersatzzyklen zu ermitteln.

Jedem Bauteil werden im Datenmodell ein oder mehrere Baumaterialien zugeordnet. Diese Zuordnung und auch die Materialmengen pro Einheit des Bauteils sind im Bewertungstool als Default-Werte hinterlegt. Sie können von Anwendenden verändert werden. Kostenkennwerte werden ebenfalls pro Bauteil eingegeben.

Für jedes Baumaterial werden die THG-Emissionen für Herstellung (Modul A1-3 nach EN 17472), Transporte (Module A4 und C2), Einbau und Rückbau (Module A5 und C1) und Entsorgung (Module C3-4) gespeichert. Diese Werte sind im Tool hinterlegt, können aber ebenfalls angepasst werden. Kostenkennwerte werden ebenfalls pro Baumaterial eingegeben.

5.3 Ergebnisse der Anwendung

Für die Entwicklung des Bewertungstools wurde ein fiktives Bauwerk definiert für welches vereinfachte Varianten entwickelt wurden. Das Bewertungstool wurde an diesem Bauwerk getestet, um zu gewährleisten, dass alle relevanten Unterschiede abgebildet werden.

Das Bauwerk und seine Varianten wurden im weiteren Verlauf zum Testen des Prototyps des Bewertungstools für alle drei Länder verwendet. Die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten dargestellt, um zu zeigen welche Ergebnisse das Bewertungstool liefert. Auf dieser Grundlage werden auch die zu erwartenden Unterschiede in der Bewertung der unterschiedlichen Varianten beschrieben und diskutiert.

5.3.1 Beschreibung des fiktiven Bauwerks und der Varianten

Das fiktive Bauwerk ist 40 m lang und 4 m hoch. Es wird auf einer geraden und ebenen Strecke errichtet. Der Baugrund und das Mikroklima unterstützen die geplante Bepflanzung, sodass mit keinen Einschränkungen zu rechnen ist. Für die Berechnung des Ertrags der Solaranlage wird vom Standort Rapperswil (Kanton St. Gallen, Schweiz) und einer Südausrichtung der Wand ausgegangen. Es wird eine (Mindest-)Lebensdauer des Gesamtbauwerks von 80 Jahren angesetzt.

Zur Entwicklung der Varianten wird von den folgenden Entwurfsparametern ausgegangen, von deren Ausprägung eine Variation der Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung erwartet werden:

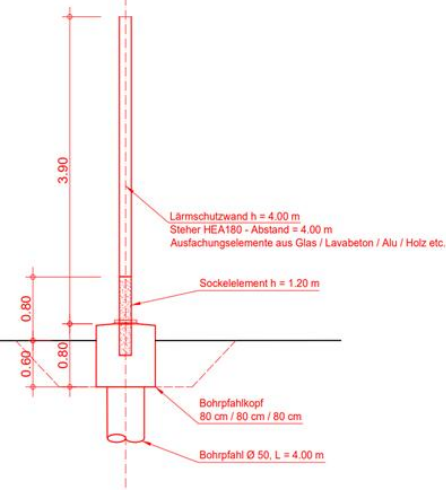
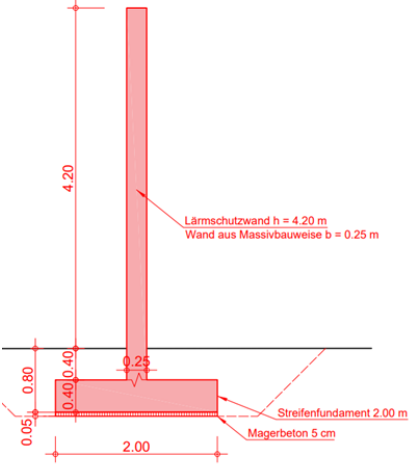
- **Foundation:** Da für die Foundation von Lärmschutzwänden häufig Beton und Stahl verwendet wird, beeinflusst die Wahl der Foundation (Streifenfundament, Einzelfundament, Bohrpfähle oder Mikropfähle) die Lebenszykluskosten und die Treibhausgasemissionen.
- **Bauweise:** Die Bauweise (Modulbauweise, Massivbauweise, Steilwall oder Erdwall) beeinflusst die Materialbilanz des Lärmschutzsystems und damit die Lebenszykluskosten und die Treibhausgasemissionen.
- **Transparenz:** Wir gehen davon aus, dass eine durchsichtige Lärmschutzwand nicht begrünt wird und auch keine Photovoltaik-Module installiert werden.
- **Anteil der Begrünung:** Wir gehen davon aus, dass der Anteil der Begrünung an der Wandfläche die Möglichkeit der Installation von PV-Modulen einschränkt.

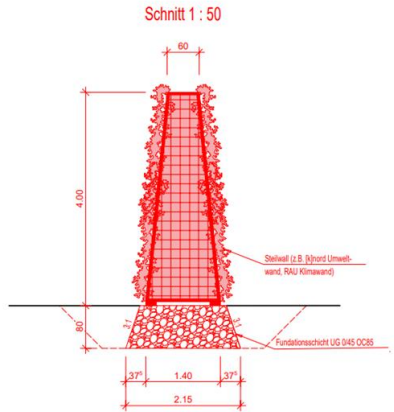
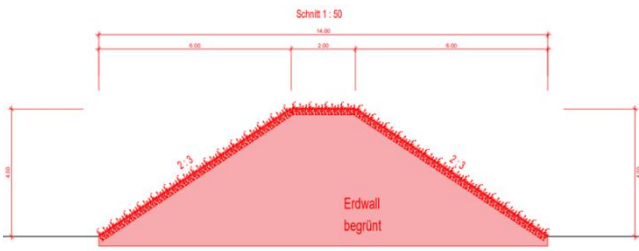
Die betrachteten Varianten sind in den folgenden Tabellen skizziert.

Tabelle 17: Eigenschaften der betrachteten Varianten des fiktiven Bauwerks.

	V1	V2	V3	V4	V5
BAUWEISE	Modulbauweise nicht durchsichtig	Modulbauweise - durchsichtig	Massivbauweise	Steilwall	Erdwall
DIMENSIONEN	Höhe: 4m, Länge: 40m; Breite: 1.4m	Höhe: 4m, Länge: 40m; Breite: 0.8m	Höhe: 4m, Länge: 40m; Breite: 2.6m	Höhe: 4m, Länge: 40m; Breite: 2.85m	Höhe: 4m, Länge: 40m; Breite: 14m
BEPFLANZUNG	96m ² 3 regionale Arten	Keine	96m ² 3 regionale Arten	320m ² 3 regionale Arten	656m ² >10 regionale Arten
PHOTO-VOLTAIK	96m ²	Keine	96 m ²	24m ²	keine

Tabelle 18: Beschreibung der wichtigsten Unterschiede zwischen den Varianten.

Variante	Skizze
Modulbauweise nicht durchsichtig (V1) und durchsichtig (V2) Lärmschutzwand mit Posten (H-Träger, Metall) und Sockelelement (Stahlbeton) mit Pfahlfundation (Stahlbeton). In V1 werden verschiedene Untervarianten betrachtet mit Paneelen aus Holzbeton (V1-1), Schilf-Lehm (V1-2), Aluminium (V1-3) und Holz (V1-4). Für die Holzvariante werden außerdem noch Varianten der Fundation betrachtet (V1-4-1 bis 1-4-3). In V2 wird diese Konstruktion mit einem Paneel aus Glas betrachtet (12mm).	 Lärmschutzwand h = 4.00 m Steher HEA180 - Abstand = 4.00 m Ausfachungselemente aus Glas / Lavabeton / Alu / Holz etc. Sockelelement h = 1.20 m Bohrpfahlkopf 80 cm / 80 cm / 80 cm Bohrpfahl Ø 50, L = 4.00 m
Massivbauweise (V3) Stahlbetonwand mit Vorsatzschale aus Holzbeton (nicht in der Skizze dargestellt). Streifenfundament (Stahlbeton mit Unterlagsboden)	 Lärmschutzwand h = 4.20 m Wand aus Massivbauweise b = 0.25 m Streifenfundament 2.00 m Magerbeton 5 cm

Steilwall (V4) Gestell aus Drahtgitter mit Erdfüllung (Abdichtung mit Kokosmatt und PE-Folie), fundiert mit einem Kiesbett. PV-Module werden auf der Krone installiert (nicht in Skizze dargestellt).	
Erdwall (V5) Erdwall, nicht fundiert und nicht befestigt.	

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse des Variantenvergleichs beschrieben.

5.3.2 Ergebnisse des Variantenvergleichs

5.3.2.1 Vergleich der THG-Emissionen

Der Vergleich der THG-Emissionen der unterschiedlichen Bauweisen zeigt erwartungsgemäß, dass der Erdwall zu den geringsten Belastungen führt. Die THG-Emissionen des Steilwalls sind nur wenig höher.

Betrachtet werden hier die Summen der THG-Emissionen im Lebensweg der Bauwerke dividiert durch die theoretische Wandfläche (= Länge multipliziert mit der Höhe des Bauwerks).

Die modulare Bauweise mit durchsichtigen Paneelen führt zu den höchsten THG-Emissionen im Lebensweg, während die modulare Bauweise mit durchsichtigen Paneelen (V1: Holzbeton-Paneele) und die massive Bauweise zu ähnlichen Werten führen.

Die Werte der Ergebnisse der drei Länder weisen teilweise Unterschiede von bis zu 50 % auf. Die Reihenfolge der Bewertung der Varianten zeigt sich aber als robust.

Im Prototyp des Bewertungstools werden die Ergebnisse außerdem nach den Phasen des Lebenszyklus und den Teilen des Bauwerks unterschieden. Diese Unterscheidung ist in den folgenden Graphiken am Beispiel der Bewertung mit den österreichischen Daten dargestellt.

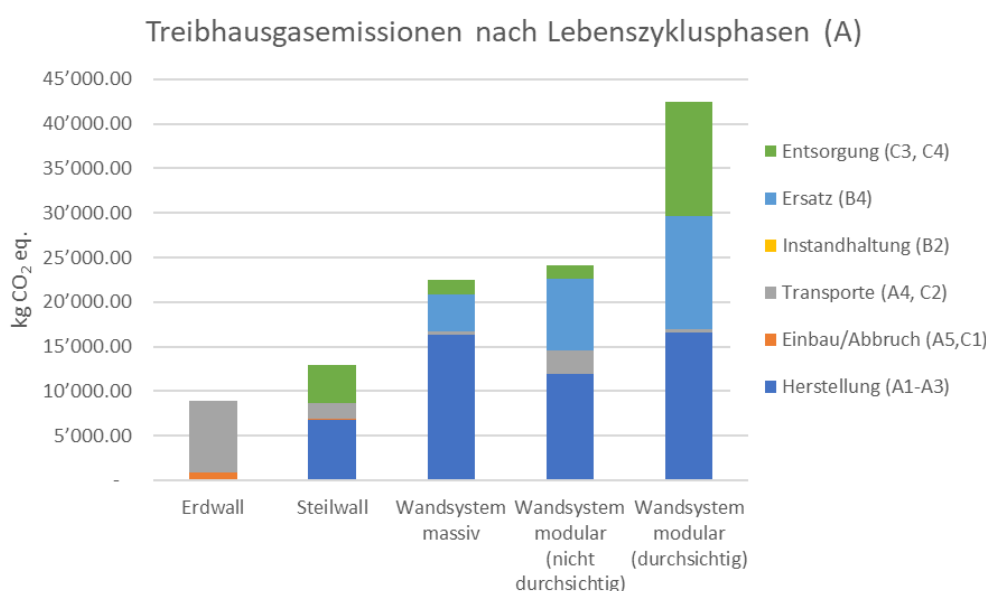


Abbildung 35: Vergleich der THG-Emissionen der Bauweisen unterschieden nach Phasen im Lebenszyklus am Beispiel der Ergebnisse der Bilanzierung mit österreichischen Daten

Sie zeigen die große Bedeutung von Ersatz und Entsorgung für die modulare Bauweise mit durchsichtigen Paneelen. Transporte hingegen spielen eine große Rolle beim Erdwall, da hier größere Materialmengen transportiert werden müssen. Aber auch beim Steilwall wird unterstellt, dass die Füllung zur Baustelle transportiert werden muss.

Wie die folgende Abbildung zeigt, ist insgesamt der Beitrag der Foundation zu den THG-Emissionen im Lebensweg aber relativ gering. Das ist u.a. auf ihre lange Lebensdauer zurückzuführen.

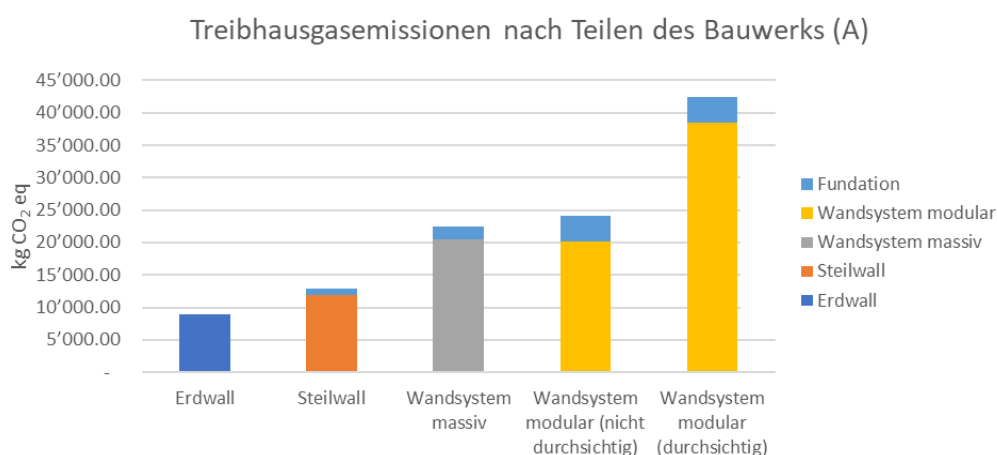


Abbildung 36: Vergleich der Bauweisen unterschieden nach Teilen des Bauwerks am Beispiel der Ergebnisse der Bilanzierung mit österreichischen Daten

Eine detaillierte Analyse der modularen Bauweise zeigt deutliche Unterschiede in den THG-Emissionen zwischen den verschiedenen Paneelen gibt. Die Variante mit Holzpaneelen schneidet in allen drei Ländern am besten ab, gefolgt von den Lehm-Schilf-Paneelen. Bei der Bewertung der Aluminium-Paneele zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Deutschland und den anderen Ländern. Dies ist wahrscheinlich auf Annahmen zum Anteil von Sekundärmaterial bei der Aluminiumherstellung zurückzuführen.

Tabelle 19: Ergebnisse der Bilanzierung der THG-Emissionen der modularen Bauweise mit unterschiedlichen Paneelen dargestellt als Summen der THG-Emissionen im Lebensweg dividiert durch das Produkt aus Länge und Höhe des Bauwerks ("theoretische Wandfläche"). Die Werte sind gerundet.

		Holzbeton	Lehm-Schilf	Aluminium	Holz	Glas
Österreich	THG (kg CO ₂ eq.) pro m ₂	150	120	130	90	265
Deutschland	Wandfläche THG (kg CO ₂ eq.)	210	165	255	150	315
Schweiz	pro m ² theoretische Wandfläche	170	130	150	110	330

Eine detaillierte Analyse der verschiedenen Varianten der Foundation am Beispiel der modularen Bauweise mit Holzpaneelen zeigt den positiven Effekt von Mikropfählen. Im Vergleich zum Einzelfundament kann man in dieser Variante nochmals rund 25 % der THG-Emissionen im Lebensweg einsparen. Auch bei dieser Auswertung zeigen sich Unterschiede zwischen den Ergebnissen in den drei Ländern. Die Reihenfolge der Ergebnisse von bleibt aber auch hier robust.

Tabelle 20: Ergebnisse der Bilanzierung der THG-Emissionen der modularen Bauweise mit Holzpaneelen und unterschiedlichen Foundationen dargestellt als Summen der THG-Emissionen im Lebensweg dividiert durch das Produkt aus Länge und Höhe des Bauwerks ("theoretische Wandfläche"). Die Werte sind gerundet.

		Streifenfundament	Einzelfundament	Bohrpfähle	Mikropfähle
Österreich	THG (kg	85	100	90	75
Deutschland	CO ₂ eq.)	150	170	150	130
Schweiz	pro m ² Wandfläche	110	130	110	95

5.3.2.2 Vergleich der Lebenszykluskosten

Die Abschätzung der Lebenszykluskosten der Varianten des fiktiven Bauwerks basiert auf Kostenkennwerten, die als Default-Werte im Anwendungstool hinterlegt sind. Damit ist nur eine erste grobe Abschätzung möglich. Auf eine detaillierte Auswertung wird daher an dieser Stelle verzichtet. Es entsteht aber auf Basis der hinterlegten Kostensätze der Eindruck, dass die Unterschiede in

den Lebenszykluskosten zwischen den verschiedenen Varianten des Bauwerks relativ gering sind.

Zur Illustration der Darstellung der Ergebnisse im Bewertungstool zeigen die nachfolgenden zwei Abbildungen die Auswertung der Lebenszykluskosten nach Lebenszyklusphasen und nach Bauherr- und Betreiberkosten am Beispiel der Auswertung für Österreich.

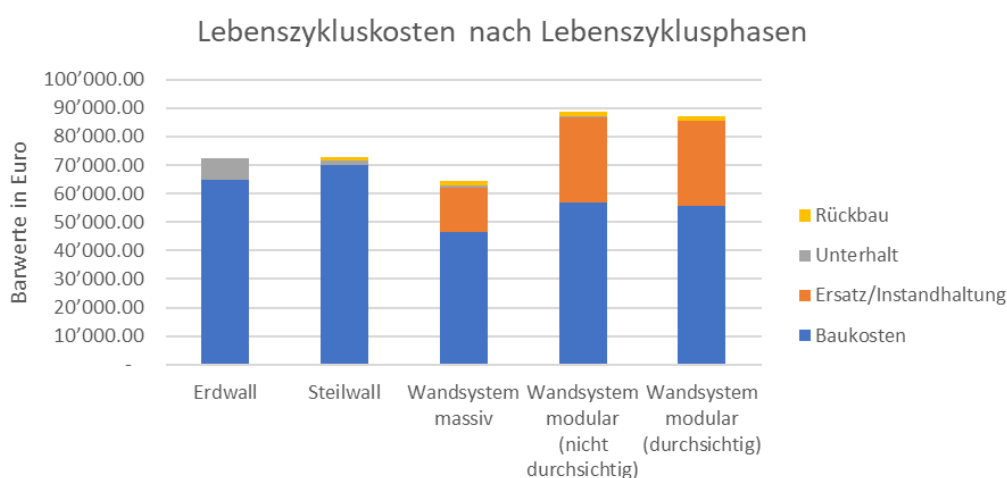


Abbildung 37: Vergleich der Lebenszykluskosten der Bauweisen unterschieden nach Phasen im Lebenszyklus am Beispiel der Ergebnisse der Schätzung mit österreichischen Daten

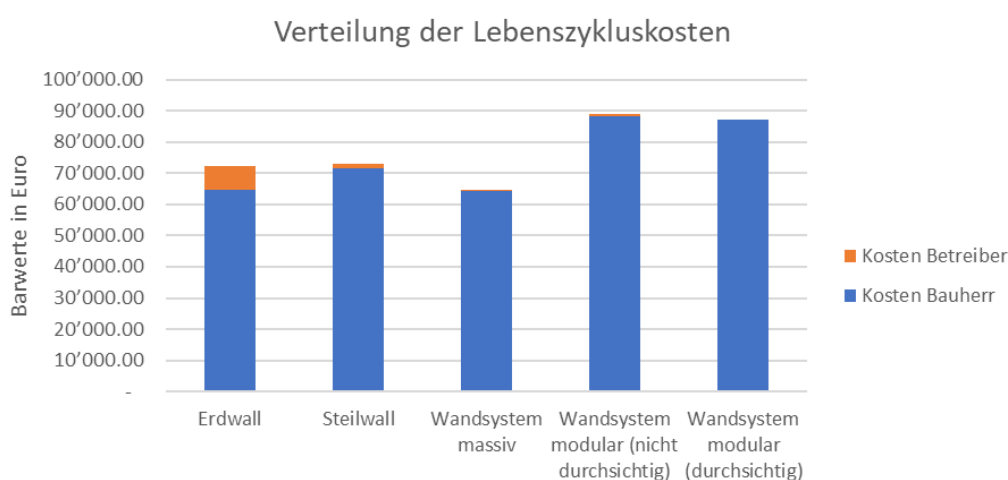


Abbildung 38: Vergleich der Lebenszykluskosten der Bauweisen unterschieden nach Bauherrn- und Betreiberkosten am Beispiel der Ergebnisse der Schätzung mit österreichischen Daten

5.3.2.3 Vergleich der akustischen Wirksamkeit

Das Bewertungstool liefert Hinweise auf mögliche Einschränkungen der LSS für die akustische Wirksamkeit auf der Grundlage von Expertenwissen und den Messergebnissen dieses Projektes.

Dabei werden standortspezifische Faktoren des Projektes nicht berücksichtigt. Es werden nach Ergebnisklassen und Nationalität der Bewertungsgrundlagen zugeordnete Textbausteine als ergänzende Informationen ausgegeben.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Varianten des fiktiven österreichischen Bauwerks.

Tabelle 21: Hinweise für akustische Wirksamkeit für unterschiedliche LSS-Varianten in der österreichischen Version des Berechnungstools.

	Wandsystem modular (durchsichtig)	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)
Luftschalldämmung	Unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und wenn die aktuellen Richtlinien beachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Luftschalldämmung ein Wert von 25 dB nach EN 1793-6 erfüllt werden kann.				
Schallreflexion	Bei der Schallreflexion wird ein Wert von 5 dB voraussichtlich nicht erfüllt.			Laut Herstellerinformationen und unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus im Einklang mit den aktuellen Richtlinien, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Schallreflexion ein Wert von 5 dB erfüllt werden kann.	
Wirkung PV-Module	keine Einschränkung		Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflexion ein Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.		
Wirkung Begrünung	keine Einschränkung	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflexion ein Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.			

5.3.2.4 Vergleich der Änderung der Biodiversität

Das Bewertungstool liefert Hinweisen auf mögliche positive Effekte auf die Biodiversität am Standort des Bauwerks. Die Bewertung ist stark vereinfacht und standortspezifische Faktoren des Projektes werden nicht berücksichtigt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Varianten des fiktiven Bauwerks.

Tabelle 22: Ergebnisse des Variantenvergleichs hinsichtlich Biodiversität.

	Erdwall	Steilwall	Wand- system massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Begrünte Fläche (m ² , beidseitig)	650	320	96	96	0
Regionalität der Bepflanzung	sehr artenreich	mittel	mittel	mittel	wenig
Wirkung	Das System verfügt über eine große Fläche, die sehr artenreich begrünt ist (mehr als 80% Begrünung, beidseitig).	Das System verfügt über eine große begrünte Fläche (mehr als 80% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.	Das System verfügt über eine kleine begrünte Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.		Das System ist nicht begrünt.

5.3.2.5 Vergleich der Änderung des Mikroklimas

Das Bewertungstool liefert Hinweise auf mögliche Effekte des Bauwerks auf die Hitzeminderung im Sommer am Standort des Bauwerks. Die Bewertung ist stark vereinfacht und standortspezifische Faktoren des Projektes werden nicht berücksichtigt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Varianten des fiktiven Bauwerks.

Tabelle 23: Ergebnisse des Variantenvergleichs hinsichtlich Mikroklimas.

	Erdball	Steilwall	Wand- system massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Anteil begrünter Fläche	100%	100%	30%	30%	0%
Material Oberfläche LSS (ohne Begrünung);	Bepflanzung	Kokosnetz	Holzbeton	Holzbeton	Glas
Gesamtfarb- eindruck Oberfläche	hell	hell	hell	hell	hell
Wirkung	Das Lärmschutzsystem trägt durch die Begrünung zur Hitzeminderung bei (mehr als 80% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen sind von untergeordneter Bedeutung.		Das Lärmschutzsystem ist nicht/kaum begrünt Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen leisten keinen großen Beitrag zur Wärmespeicherung mit Ausnahme der PV-Paneele.		

5.3.2.6 Vergleich der THG-Einsparung durch Stromherstellung und Flächeninanspruchnahme

Das Bewertungstool liefert eine Abschätzung der Werte für die Bewertungskriterien der THG-Einsparungen durch Stromherstellung mit Photovoltaik am Standort und für die Flächeninanspruchnahme.

Wie bereits in Abschnitt 4.4.4 beschrieben sind die Schätzwerte für die THG-Einsparungen für die THG-Emissionen eher zu hoch, da man davon ausgeht, dass jede erzeugte Kilowattstunde Strom eine Kilowattstunde im Stromnetz ersetzt, die mit dem durchschnittlichen Kraftwerkspark erzeugt wird. Nicht berücksichtigt sind Unterschiede in der Stromerzeugung während des Tages bzw. im Jahresverlauf. Außerdem wird davon ausgegangen, dass 100 % des erzeugten Stroms in das Netz eingespeist werden können.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Varianten des fiktiven Bauwerks.

Tabelle 24: Ergebnisse des Variantenvergleichs hinsichtlich THG-Einsparung durch Stromherstellung und Flächeninanspruchnahme.

	Erdwall	Steil-wall	Wand-system massiv	Wand-system modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Anteil jährlich eingesparte Treibhausgas-emissionen (in kg CO ₂ eq) bezogen auf den aktuellen Strommix	0	2'500	10'000	10'000	0
Flächen-inanspruch-nahme (in m ²)	560	115	100	56	32

5.3.2.7 Plausibilisierung der Ergebnisse des Variantenvergleichs

Die Ergebnisse der Bewertung der ausgewählten Lärmschutzsysteme sind exemplarisch und beziehen sich auf ein fiktives und stark vereinfachtes Bauwerk. Sie sind nicht auf andere Beispiele des jeweiligen Lärmschutzsystems übertragbar. Je nach Standort, Höhe, Baugrund und anderen Faktoren können sich die Ergebnisse deutlich unterscheiden.

In diesem Abschnitt werden sie mit Ergebnissen aus anderen Studien verglichen, die sich mit den Treibhausgasemissionen oder den Lebenszykluskosten von Lärmschutzsystemen beschäftigen. Es wurden zwei Beiträge aus Fachzeitschriften verwendet (Morgan et al. (2001) und Abdulkareem et al. (2021)) und ansonsten auf Auftragsstudien und Masterarbeiten zurückgegriffen (Afnan A. I. (2023), Duschen S. und Jorre S. (2021), Werner, F. (2019), Tavajoh S. (2023) und ASFINAG (2023)). Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Studien teilweise von unterschiedlichen funktionalen Einheiten und Systemgrenzen ausgehen. Nur zwei weitere Studien betrachten das gesamte Lärmschutzsystem (inkl. Foundation); die anderen Studien betrachten nur Lärmschutzwände in Modulbauweise (ohne Foundation). Einzelne Studien analysieren nur die Treibhausgasemissionen der Paneele.

Die größte Übereinstimmung bei den Ergebnissen der Analyse der Treibhausgasemissionen zeigen die Studien in Bezug auf die relative Bedeutung der unterschiedlichen Phasen des Lebenswegs. Sie kommen übereinstimmend zum Schluss, dass die Materialherstellung am meisten zu den Treibhausgasemissionen beiträgt, in den Phasen A1-3 bzw. B4. Die Errichtung des Bauwerks, die Betriebsphase und die Entsorgung hingegen sind von untergeordneter Bedeutung. Dieses Ergebnis kann durch die vorliegende Studie anhand der Varianten des fiktiven Bauwerks bestätigt werden für Varianten V1, V2, V3 und V4. Bei der Variante V5 «Erdwall» hingegen werden die Transporte zur Baustelle und die Baumaschinen in der vorliegenden Studie deutlich wichtiger.

Eine zweite Übereinstimmung zeigen die verschiedenen Studien bei der ungefähren Rangordnung der betrachteten Varianten. Wie die Ergebnisse der hier vorgestellten Analyse zeigen auch ASFiNAG (2023) und Duschen und Jorre (2021) den Steilwall (V4) als Bestvariante (unter Vernachlässigung des Erdwalls in der vorliegenden Analyse). Da ASFiNAG (2023) und Duschen und Jorre (2021) keine durchsichtigen Lärmschutzwände betrachten, stellen die Modulbauweise mit Aluminiumpaneelen (V1-3) und Modulbauweise mit Leichtbetonpaneelen (V1-1) die schlechtesten Varianten dar. In der vorliegenden Studie sind sie die zweitschlechtesten Varianten (nach der durchsichtigen Lärmschutzwand) wobei die Aluminiumpaneele (V1-3) leicht besser abschneiden als die Lavabetonpaneele – im Unterschied zu ASFiNAG (2023). Bei Duschen und Jorre (2021) sind die Aluminiumpaneele klar die schlechteste Variante während die Betonpaneele (hier mit Blähschiefer) deutlich besser abschneiden. Die Modulbauweise mit Holzpaneelen ist in der vorliegenden Studie und bei ASFiNAG (2023) die zweitbeste Variante, schneidet aber bei Duschen und Jorre (2021) relativ schlecht ab. Die Modulbauweise mit Schilf-Lehm-Paneelen wird von dieser Studie und ASFiNAG (2023) als drittbeste Variante eingestuft.

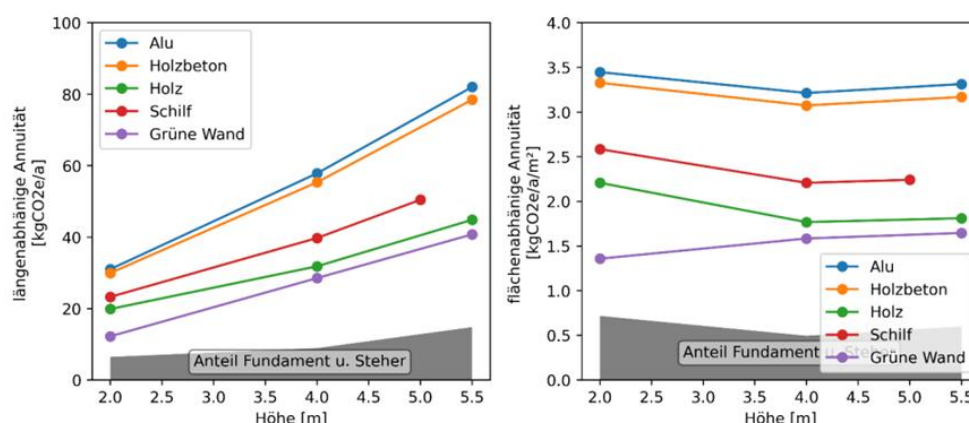


Abbildung 39: THG-Emissionen von LSW-Aufbauten bei Exposition in der Ebene oder im Einschnitt im optimalen Lebenszyklus (die graue Fläche zeigt den in bei allen klassischen Wandaufbauten gleichen Anteil des Fundaments und des Stehers (für die Grüne Wand gibt ist diesen Anteil nicht). Quelle: ASFiNAG (2023), S. 25.

Je detaillierter man aber die Ergebnisse der verschiedenen Studien betrachtet, desto größer werden die Unterschiede, beispielsweise bei der Modulbauweise mit Paneelen aus Schilf-Lehm bzw. Weidenpaneelen, Paneelen aus Holz und Paneelen aus Aluminium.

- Bei den Paneelen aus Schilf-Lehm bzw. Weidenpaneelen sind die Unterschiede vor allem auf Annahmen zu der Materialzusammensetzung zurückzuführen. Die vorliegende Studie unterschätzt wahrscheinlich die Mengen an Holz und Schilf während Afnan 2023 von einer ganz anderen Materialzusammensetzung ausgehen.
- Bei den Paneelen aus Holz sind die Unterschiede auf Annahmen zu den Materialqualitäten und/oder der Materialzusammensetzung zurückzuführen. In Duschen und Jorre 2021 werden die Holzpaneele mit Brettschichtholz hergestellt, während die vorliegende Studie von luftgetrocknetem Vollholz ausgeht, basierend auf Werner 2019. Dies führt bei Duschen und Jorre 2021 zu deutlich höheren Treibhausgasemissionen. Bei ASFiNAG 2023 kommt hinzu, dass das Paneel auch aus einer Faserzementplatte besteht. Dies treibt die Treibhausgasemissionen zusätzlich in die Höhe.
- Bei den Paneelen aus Aluminium sind die Unterschiede auf unterschiedliche Annahmen zum Recyclinganteil in der Aluminiumherstellung zurückzuführen. Duschen und Jorre 2021 gehen davon aus, dass 100% Primärmaterial eingesetzt werden. In der vorliegenden Studie wird für die Schweiz angenommen, dass rund die Hälfte des Aluminiums aus Aluminiumschrott hergestellt wird. Das führt

zu erheblichen Unterschieden bei den Treibhausgasemissionen der Aluminiumherstellung.

Auf dieser Grundlage kommen wir zum Schluss, dass die hier vorgestellten Ergebnisse für die Treibhausgasemissionen der verschiedenen Varianten des fiktiven Bauwerks grundsätzlich plausibel sind. Genauere Abklärungen und eine sorgfältige Dokumentation der Annahmen sind jedoch notwendig für:

- Materialzusammensetzung der verschiedenen Typen von Paneelen;
- Unterschiede in den Prozessketten der Materialherstellung, z.B. bei Holz und Aluminium.

Auch der Vergleich mit der Studie zu Lebenszykluskosten von Morgan et al. (2001) zeigt die Plausibilität der Ergebnisse der vorliegenden Studie. Wie in Abbildung 40 gezeigt, liegen die Ergebnisse der Lebenszykluskosten für die betrachteten Varianten relativ nahe beieinander mit zwei Ausreißern: der Erdwall als deutlich günstigste Variante und einem System der Firma «Noishield» als teuerste Variante mit Modulbauweise mit Aluminium- bzw. Stahlpaneelen. Ausschlaggebend für die schlechte Bewertung ist die Kombination aus hohen Baukosten und einer niedrigen erwarteten Lebensdauer.

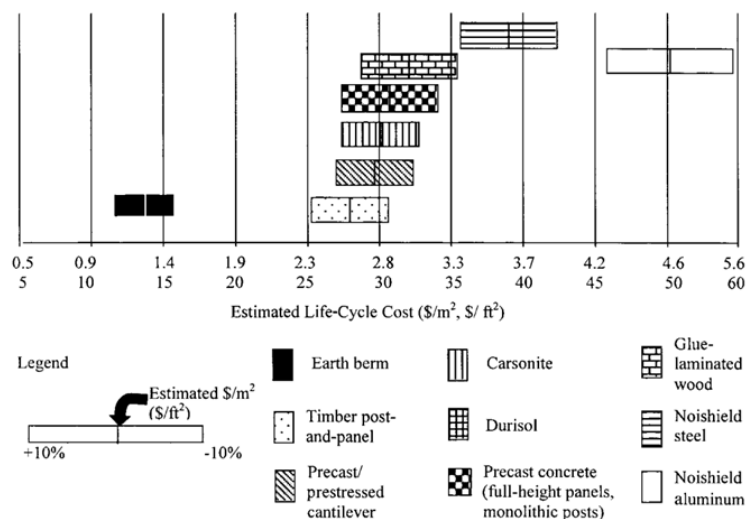


FIG. 5. Estimated LCC Considering Variability of $\pm 10\%$

Abbildung 40: Vergleich der geschätzten Lebenszykluskosten verschiedener Lärmschutzsysteme. Quelle: Morgan et al. (2001), S. 235.

Morgan et al. (2001) bestätigen aber auch die schlechte Datenverfügbarkeit für die Analyse von Lebenszykluskosten von Lärmschutzsystemen.

Hinzu kommen Preisunterschiede für Bauleistungen zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz und auch innerhalb der Regionen in den unterschiedlichen Ländern. Außerdem sind auch die Kosten von Baumaterialien teilweise erheblichen Schwankungen unterworfen, beispielsweise die Kosten für Baustahl für die Steher / Pfosten.

5.4 Anwendungsbeispiel

Als Anwendungsbeispiel wurde ein Projekt des ASTRA zur Verfügung gestellt. In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie dieses Projekt mit dem Bewertungstool analysiert werden kann und welche Ergebnisse diese Bewertung liefert. Da in diesem Projekt keine Bepflanzung der Wand vorgesehen ist, konzentriert sich die Analyse auf die Treibhausgasbilanzierung und die Lebenszykluskostenanalyse.

Projektbeschreibung: Die Lärmschutzwand des Projektes Genfersee ist an der Autobahn zwischen Lausanne und Genf, in der Gemeinde Chavannes-de-Bogis, gebaut worden. Hierbei handelt es sich um eine modulare Lärmschutzwand. Die 696 m lange Lärmschutzwand kann in drei Abschnitte unterteilt werden. Die Abschnitte sind 108 m, 316 m und 272 m lang. Der erste und dritte Abschnitt sind konstruktiv gleich ausgeführt. Diese zwei Abschnitte haben eine Paneelhöhe von 2.8 m. Im mittleren Abschnitt beträgt die Höhe der Hauptpaneele ebenfalls 2.8 m. Diese Paneele werden im zweiten Abschnitt jedoch mit 20 mm dicken Glaspaneelen überhöht. So beträgt die Gesamthöhe der Paneele im mittleren Abschnitt 4.2 m.



System: Modulbauweise
Länge: 696 m
Höhe: 3.7 m, 5.2 m
Breite: 2.3 m

ELEVATION TYPE
PANNEAU H=4.80m 1:50

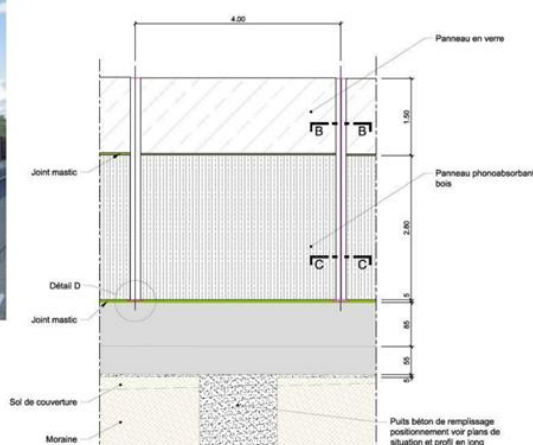


Abbildung 41: Beschreibung der Lärmschutzwand im Projekt des ASTRA. Quellen: Google-Maps und interne Projektdokumentation ASTRA.

Die Paneele werden an 2,8 m hohen HEA 180 Trägern respektive 4,2 m hohen HEB 200 Trägern befestigt. Die Träger sind an einem Streifenfundament aus Stahlbeton verankert. Das Fundament fundamentierte zusätzlich zur Lärmschutzwand auch die Leitplanke

Das Hauptpaneel ist aus Holz gebaut. Bei dieser Variante wird ein Holzkasten mit einem Dämmungsmaterial, in diesem Falle Steinwolle, gefüllt.

Die Nachhaltigkeitsbewertung des Projekt Genfersee basiert auf einer Lebensdauer des Bauwerkes von 100 Jahren. In dieser Zeit müssen gewisse Bauteile ersetzt werden. Es wird angenommen, dass die Stahlstützen nach 60 Jahren und die Glas- und Holzpaneele nach 30 Jahren ersetzt werden müssen.

Das Fundament ist als Teil eines Betonbauwerks dimensioniert, das auf der gesamten Länge der Lärmschutzwand die Foundationen der Lärmschutzwand, des Fahrbahnrückhaltessystems, die Straßenentwässerung und das Sockelelement zum Spritzschutz kombiniert. Daher wird nur der Teil des Bauwerks betrachtet, der als Foundation der Lärmschutzwand und als Sockelelement für den Spritzschutz notwendig ist. Die Systemgrenze wird in der Abbildung unten beschrieben. Es wird angenommen, dass das Fundament der Wand T-förmig ist. Das Fundament hat unter dieser Annahme eine Fußbreite von 2,3 m und eine Querschnittsfläche von 1,05 m².

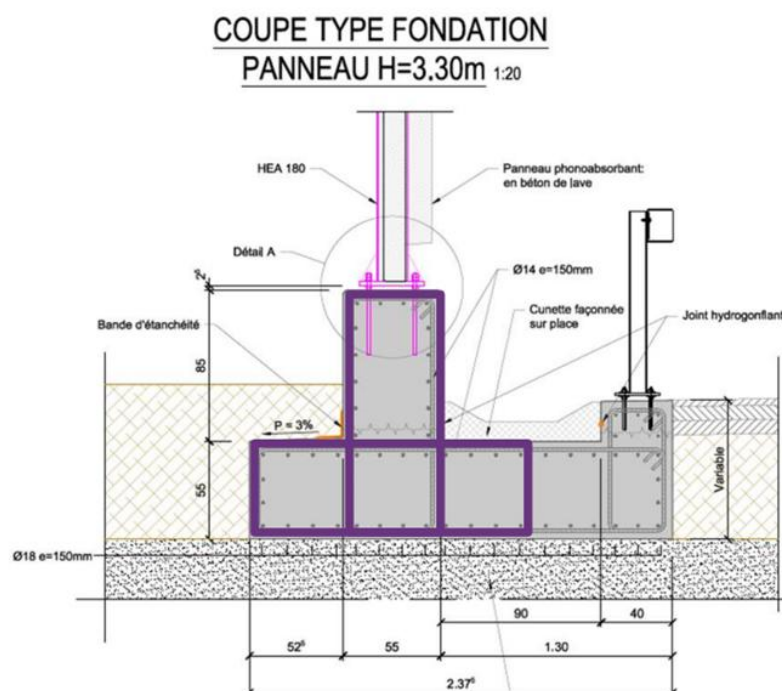


Abbildung 42: Querschnitt des Fundationsbauwerk. Quelle: interne Projektdokumentation ASTRA.

Bei der Datenerfassung wird vereinfachend nicht mehr zwischen dem Fundament und dem Sockelelement der modularen Bauweise unterschieden. Beide Bauteile werden als Teil des Fundaments betrachtet.

Die Dateneingabe im Tool wird in den folgenden beiden Abbildungen beschrieben.

Für die Eingabe werden zwei Abschnitte unterschieden, die sich in Länge und Höhe unterscheiden (siehe Abbildung 43).

	Name	Formel	Einheit
Abschnitt 1			
Parameter allgemein			
	Länge	696 m	
	Höhe	2.8 m	
	Breite der technisch versiegelten Fläche	2.3 m	
	Wandfläche (theoretisch)	1948.8 m ²	
	Flächeninanspruchnahme	1600.8 m ²	
Abschnitt 2			
Parameter allgemein			
	Länge	316 m	
	Höhe	4.3 m	
	Breite der technisch versiegelten Fläche	2.3 m	
	Wandfläche (theoretisch)	1358.8 m ²	
	Flächeninanspruchnahme	726.8 m ²	

Abbildung 43: Dateneingabe für gewählte Abschnitte für Anwendungsbeispiel.

Für jeden Abschnitt werden zwei Objektgruppe ausgewählt: Wandsystem modular und Fundation.

Im ersten Abschnitt besteht das Wandsystem nur aus Holzpaneelen. Das Sockelelement wird als Teil der Fundation abgebildet. Im Wandsystem modular wird außerdem eine Abdeckung aus verzinktem Stahlblech erfasst (nicht in der Abbildung unten dargestellt).

Wandsystem modular	Abstand der Pfosten/Steher	7.5 m	Fundation	Material_1	Stahlbeton (150 kg -
	Höhe des Wandsystems	2.8 m		Material_2	Magerbeton (ohne -
	Material	HEA 180 verzinkt -		Länge	696 m
	Lebensdauer	60 Jahre		Querschnittfläche Material_1	1.05 m ²
	Länge Neubau	262.64 m		Querschnittfläche Material 2 (Magerbeton)	1.1 m ²
	Länge Erneuerung	175.0933333 m		Volumen_Material_1	730.8 m ³
	Länge Rückbau	437.7333333 m		Volumen_Material_2	803.88 m ³
	Material	Fussplatte HEA 180 -			
	Anzahl Neubau	93.8 Stk.			
	Anzahl Erneuerung	62.53333333 Stk.			
	Anzahl Rückbau	93.8 Stk.			
	Material	Betonfertigteile, Ni -			
	Stärke	0 m			
	Lebensdauer	50 Jahre			
	Volumen Neubau	0 m ³			
	Volumen Erneuerung	0.00 m ³			
	Volumen Rückbau	0.00 m ³			
	Material	Massivholzplatte, -			
	Fläche	1950 m ²			
	Lebensdauer	30 Jahre			
	Fläche Neubau	1950 m ²			
	Fläche Erneuerung	4550.00 m ²			
Wandsystem modular	Fläche Rückbau	6500.00 m ²			

Abbildung 44: Detaildateneingabe für Abschnitt 1 für Anwendungsbeispiel.

Der zweite Abschnitt besteht aus Holz- und Glaspaneelen und einer Abdeckung aus verzinktem Stahlblech (nicht in der Abbildung unten dargestellt). Wie auch im ersten Abschnitt wird das Sockelelement als Teil der Foundation abgebildet.

Wandsystem modular			Foundation		
	Abstand der Pfosten/Steher	4 m		Material_1	Stahlbeton (150 kg-
	Höhe des Wandsystems	4,3 m		Material_2	Magerbeton (ohne -
	Material	HEB 200 verzinkt -		Länge	316 m
	Lebensdauer	60 Jahre		Querschnittfläche Material_1	1.05 m ²
	Länge Neubau	344 m		Querschnittfläche Material 2 (Magerbeton)	1.1 m ²
	Länge Erneuerung	229.3333333 m		Volumen_Material_1	331.8 m ³
	Länge Rückbau	573.3333333 m		Volumen_Material_2	364.98 m ³
	Material	Fussplatte HEB -			
	Anzahl Neubau	80 Stk.			
	Anzahl Erneuerung	53.33333333 Stk.			
	Anzahl Rückbau	80 Stk.			
	Material	Betonfertigteil, f -			
	Stärke	0 m			
	Lebensdauer	50 Jahre			
	Volumen Neubau	0 m ³			
	Volumen Erneuerung	0.00 m ³			
	Volumen Rückbau	0.00 m ³			
	Material	Massivholzplatt -			
	Fläche	1075 m ²			
	Lebensdauer	50 Jahre			
	Fläche Neubau	1950 m ²			
	Fläche Erneuerung	1950.00 m ²			
	Fläche Rückbau	3900.00 m ²			
	Material	Polycarbonat (2 -			
	Fläche	474 m ²			
	Lebensdauer	30 Jahre			
	Fläche Neubau	474 m ²			
	Fläche Erneuerung	1106.00 m ²			
	Fläche Rückbau	1580.00 m ²			
	Material	Polycarbonat (2 -			
	Fläche	0 m ²			
	Lebensdauer	30 Jahre			
	Fläche Neubau	0 m ²			
	Fläche Erneuerung	0.00 m ²			
	Fläche Rückbau	0.00 m ²			

Abbildung 45: Detaildateneingabe für Abschnitt 2 für Anwendungsbeispiel.

Die Ergebnisse der Bilanzierung der THG-Emissionen zeigen, dass der zweite Abschnitt zu höheren Belastungen führt, trotzdem er deutlich kürzer ist. Das ist vor allem auf den Ersatz der Glaspaneele zurückzuführen, die nach dem angenommenen Lebensdaueransatz innerhalb von 100 Jahren dreimal ersetzt werden müssen. Im ersten Abschnitt ist dieser Effekt deutlich geringer aufgrund der tieferen THG-Emissionen der Holzpaneele. Die hohen THG-Emissionen sind hier vor allem auf das Fundationsbauwerk zurückzuführen, d.h. die Foundation inkl. Sockelelement.

Der erste Abschnitt führt aufgrund seiner Länge zu höheren Lebenszykluskosten, Hier sind in beiden Abschnitten die Baukosten maßgeblich.

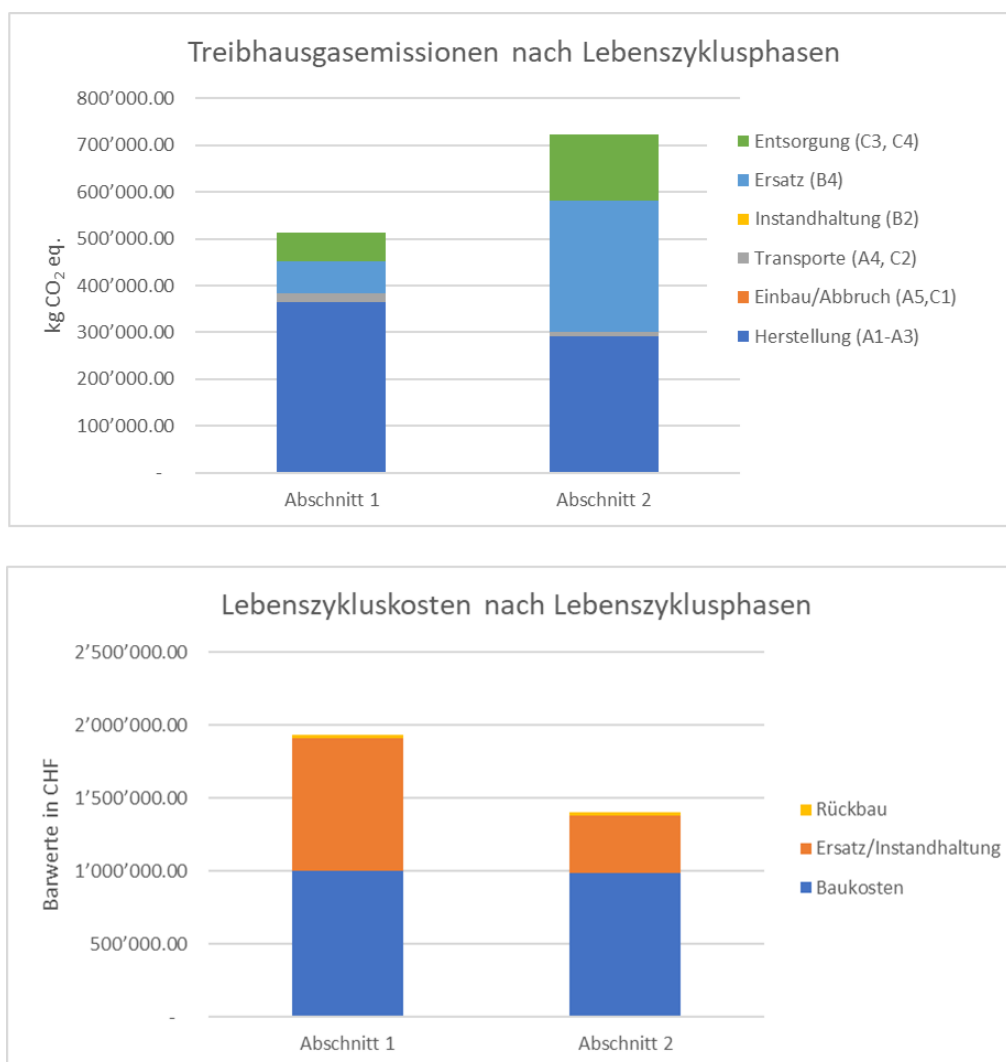


Abbildung 46: THG-Emission (oben) und Lebenszykluskosten (unten) nach Lebenszyklusphasen

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Vergleich beider Abschnitte normiert auf einen Quadratmeter Wandfläche. Hier zeigt sich der deutliche Abstand zwischen den beiden Abschnitten bei den THG-Emissionen während es kaum Unterschiede bei den Lebenszykluskosten gibt.

Tabelle 25: Vergleich der Treibhausgasemissionen und der Lebenszykluskosten der beiden Abschnitte bezogen auf einen Quadratmeter Wandfläche.

	Abschnitt 1	Abschnitt 2
Treibhausgasemissionen (in kg CO ₂ eq. pro m ² Wandfläche)	260	530
Lebenszykluskosten (in CHF pro m ² Wandfläche)	980	1030

Die Bewertung zeigt in diesem Anwendungsbeispiel zwei Verbesserungspotenziale. Einerseits könnte man prüfen, ob man in Abschnitt 2 auf durchsichtige Paneele verzichten könnte. Andererseits könnte man Varianten für das Fundamentbauwerk prüfen, mit denen die Menge an Stahlbeton verringert werden kann. Bei einer weiteren Optimierung müssen aber zwingend die standortspezifischen Anforderungen an das Bauwerk ebenso berücksichtigt werden wie die Rahmenbedingungen im Ausführungsprojekt und im Erhaltungsmanagement.

6 Projekterkenntnisse und Orientierungshilfen für Straßenbetreiber

Im Zuge des Forschungsprojekts decarboNoise fanden umfangreiche Recherchen, experimentelle Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten statt, um Erkenntnisse und Werkzeuge zur Nachhaltigkeitssteigerung von Lärmschutzinfrastruktur im Straßenverkehr bereitzustellen. Während das entwickelte Berechnungstool als Werkzeug ausführlich in Abschnitt 5 dieses Berichtes behandelt wurde, befasst sich dieser Abschnitt mit für das Forschungsvorhaben relevanten Erkenntnissen und Orientierungshilfen für Straßenbetreiber.

6.1 Akustischen Messungen

Zur Untersuchung potenziell nachhaltiger Lärmschutzsysteme (LSS) wurden akustische Messungen der Schallreflexion (EN 1793-5) und der Luftschalldämmung (EN 1793-6) an exemplarischen Lärmschutzwänden (LSW) aus Schilf sowie exemplarischen Steilwällen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in Relation zu Messergebnissen aus der SOPRANOISE-Datenbank gesetzt.

Anhand dieser Analysen konnte gezeigt werden, dass LSW mit Schilf als Konstruktionsmaterialien vergleichbare Einzahlwerte DL_{SI} der Luftschalldämmung wie LSW ohne Schilf erreichen können. Beispielweise wiesen alle drei untersuchten Schilf-LSW einen DL_{SI} auf, der den für das Berechnungstool definierten Schwellwert von 25 dB überschritt. Wie bei konventionellen LSW gilt auch bei Schilf-LSW der Grundsatz, dass direkte Transmissionspfade durch die Wand wie z.B. Luftspalten möglichst vermieden werden sollten. Zudem kann durch die Kombination mit anderen Konstruktionsmaterialien, die eine massive Schicht in der LSW bilden, das Luftschalldämmungsverhalten positiv beeinflusst werden.

Hinsichtlich Schallreflexionseigenschaften zeichnete sich für die zwei unterschiedlichen untersuchten Schilf-LSW ein differenziertes Bild. Je nach Verarbeitung des Schilfs als Teil des Wandaufbaus zeigten unterschiedliche akustische Frequenzbereiche ein ausgeprägtes oder moderates Schallreflexionsverhalten. Bei den ermittelten Gesamtbewertungen für die untersuchten LSW erreichte lediglich eine untersuchte Wand an einer Messposition den für das Berechnungstool definierten Schwellwert von $DL_{RI} = 5$ dB. Da bei den experimentellen Untersuchungen zwei unterschiedliche Varianten untersucht wurden, kann an dieser Stelle keine verallgemeinernde Aussage zum Schallreflexionsverhalten von LSW aus Schilf getätigt werden. Aus etablierten Konstruktionsvarianten kann jedoch abgeleitet

werden, dass sich z.B. akustisch poröse Schichten in der LSW, in die Schall ungehindert eindringen kann, tendenziell positiv auf das akustische Absorptionsverhalten auswirken, und zu einer geringeren Schallreflexion führen können.

Die messtechnischen Untersuchungen an drei verschiedenen Steilwällen in Österreich führten zu Einzahlwerten der Luftschalldämmung DL_{SI} , die deutlich über 30 dB liegen. Eine naheliegende Erklärung für diese Messergebnisse ist die hohe Masse und hohe Dicke ($> 0,7$ m) der Wälle. Hinsichtlich Schallreflexion konnte ein Trend zu niedrigeren Werten der Einzahlwerte der Schallreflexion DL_{RI} für mit Pflanzen bewachsene Wälle beobachtet werden. Eine mögliche Erklärung für diesen festgestellten Trend könnten durch den Bewuchs verursachte akustische Reflexions- und Streuungseffekte sein, die das Eindringen des Schalls in Wandschichten mit höherer Schallabsorptionswirkung verhindern. Da die Wirkung und Entwicklung von Modellen zur Beschreibung dieser akustischen Effekte eigene Forschungsschwerpunkte für sich darstellen, sind für verallgemeinernde Schlussfolgerungen zum akustischen Einfluss von Begrünung von LSS weitere Untersuchungen erforderlich. Es kann jedoch auf Basis der durchgeführten messtechnischen Untersuchungen das Risiko der Erhöhung der Schallreflexion durch Begrünung der LSS nicht ausgeschlossen werden. Zudem befindet sich eine mögliche Begrünung von LSS im Spannungsfeld einer Reihe nichtakustischer Effekte, wie der Erhöhung der Biodiversität, Hitzeminderung, optischer Aufwertung und erforderlichem Wartungsaufwand. Bei optischen Begutachtungen von begrünten LSW im Zuge von vorangegangenen Untersuchungen konnte beobachtet werden, dass Bewuchs in Schichten der LSW eindringen kann, und dadurch die Zerstörung akustischer Dichtungen sowie von akustischem Absorbermaterial in der Wand nicht ausgeschlossen werden kann.

Hinsichtlich der Montage von PV-Elementen auf LSS ist bekannt, dass PV-Elemente i.d.R. ein stark ausgeprägtes Schallreflexionsverhalten besitzen. Verdeckt das PV-Element nach der Montage eine Schicht des LSS mit geringeren Schallreflexionseigenschaften, so kann sich die akustisch wirksame Absorptionsfläche am LSS verringern, und ein ausgeprägteres Schallreflexionsverhalten die Folge sein. Eine Quantifizierung des akustischen Einflusses von PV-Elementen sollte jedoch individuell für LSS-Konstruktionsvarianten erfolgen und zudem relevante Immissionspunkte berücksichtigen.

6.2 Erkenntnisse aus Anwendungsbeispielen des Berechnungstools

Auf Basis der Untersuchungen in decarboNoise wurden folgende entscheidende Entwurfparameter für die Bewertung des Beitrags von Lärmschutzsystemen (LSS) zur nachhaltigen Entwicklung definiert:

- Bauweise: im Rahmen des Projektes wird zwischen Modulbauweise, Massivbauweise, Steilwall oder Erdwall unterschieden.
- Die Wahl des Materials für Paneele im Falle einer Modulbauweise.
- Die Wahl des Typs und Dimensionierung der Foundation.
- Der Anteil der Wand- und Wallflächen, die für die Begrünung bzw. für PV-Module genutzt werden.
- Die Anzahl der heimischen Arten bei der Bepflanzung.

Es zeigten sich zwei Extremvarianten in den Bewertungsergebnissen: die einer durchsichtigen Lärmschutzwand in Modulbauweise und jene eines Erdwalls.

Durchsichtige Lärmschutzwand in Modulbauweise: Dieses System benötigt wenig Fläche und schafft Zusatznutzen, indem es die optische Trennwirkung des LSS vermindert. Es führt jedoch zu verhältnismäßig hohen Baukosten und Treibhausgasemissionen. Zusätzlicher Nutzen durch Begrünung (Biodiversität und Hitzeminderung) und Stromerzeugung ist nicht möglich, ohne die Funktionalität einer durchsichtigen Lärmschutzwand (LSW) einzuschränken. Transparente LSW weisen in der Regel ein stark ausgeprägtes Schallreflexionsverhalten auf.

Erdwall: Dieses System ist verhältnismäßig kostengünstig und bietet einen hohen Zusatznutzen durch die Begrünung. Falls man sich für die Installation von PV-Modulen entscheidet, wird der Zusatznutzen der Begrünung eingeschränkt, aber eine Stromproduktion ermöglicht. Ein signifikanter Nachteil des Systems liegt in seiner verhältnismäßig hohen Flächeninanspruchnahme.

Alle anderen Varianten liegen zwischen den zuvor beschriebenen Extremvarianten und zeichnen sich durch die folgenden Vor- und Nachteile aus:

Steilwall: Dieses System ist ebenso verhältnismäßig kostengünstig und bietet einen hohen Nutzen durch die Begrünung (Biodiversität und Hitzeminderung). Die Installation von PV-Modulen ist auf die Krone des Walls beschränkt. Die Treibhausgasemissionen liegen in einer vergleichbaren Größenordnung wie mit Modulbauweise mit Holz- oder Schilf-Lehm-Paneele. Die Flächeninanspruchnahme ist etwas größer als bei den Varianten mit Modul- oder Massivbauweise. Die akustische Wirksamkeit ist eingeschränkt bei der Schallreflexion.

Modulbauweise mit nicht-durchsichtigen Paneelen: Dieses System benötigt verhältnismäßig wenig Grundfläche. Der Zusatznutzen der Begrünung hängt vom gewählten Anteil der begrünten Wandfläche ab. Das gleiche gilt für die Stromerzeugung. Die Bewertung der Treibhausgasemissionen und die akustische Wirksamkeit hängen primär von der Wahl der Paneele und der Bauweise des Fundaments ab. Bei den Treibhausgasemissionen schneiden das Holz- bzw. das Schilf-Lehm-Paneel und ein Fundament mit Mikropfählen am besten ab. Die meisten Treibhausgasemissionen werden durch das Leichtbeton- bzw. Aluminiumpaneel und das Einzelfundament verursacht. Bei Schilf-Lehm-Paneele besteht ein Risiko der Einschränkung der akustischen Wirksamkeit bei der Schallreflexion. Das gleiche gilt für eine Bepflanzung der LSS auf der zur Fahrbahn zugewandten Seite. Die Unterschiede bei den Lebenszykluskosten sind in den verschiedenen Untervarianten gering.

Massivbauweise: Dieses System schneidet hinsichtlich der THG-Emissionen ähnlich ab wie die Modulbauweise, wobei auch hier die Wahl der Bauweise des Fundaments und die Wahl des Wandmaterials entscheidend sind. Die akustische Wirksamkeit hinsichtlich der Schallreflexion ist nur gegeben durch eine lärmabsorbierende Vorsatzschale auf der zur Fahrbahn zugewandten Seite. Wenn diese Seite bepflanzt wird, kann die Schallreflexion eingeschränkt sein. Da hier nur eine Variante betrachtet wird, ist ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Bauweisen an dieser Stelle nicht möglich.

6.3 Asset Management als Basis für Re-use

Wie auch im Rahmen der in diesem Projekt durchgeführten Umfrage (vgl. Anlagen 2 und 3) deutlich wurde, bestehen die LSW-Portfolio derzeit zu großen Teilen aus Anlagen in klassischen Bauweisen bzw. Materialien, deren Herstellung THG-intensiv ist. Unter diesen Gesichtspunkten tritt die Frage einer möglichen Dekarbonisierung der Bestandsanlagen im Rahmen des Asset managements für Anlagenbetreiber auf.

Wie aus den Berechnungsbeispielen deutlich wurde, kann über die Materialauswahl ein Teil der anfallenden THG-Emissionen gesteuert werden:

Dies betrifft beispielsweise Stahlelemente, bei denen der Anteil der eingeschmolzenen Sekundärrohstoffe unmittelbar zur Emissionssenkung der THG beiträgt (Re-use von Stahlschrott).

Darüber hinaus ergeben sich z.B. durch den Einsatz von Hanf, das als akustisches Absorbermaterial am Markt verfügbar ist, neue Möglichkeiten zur THG-Reduzierung beispielsweise auch klassischer Aluminiumkassetten, die bisher oft mit Mineralwolle gefüllt werden. Deren Aufbereitung und Neufüllung mit nachwachsenden Materialien können zur Weiternutzung bestehender

Anlagenbestandteile und so zur Verringerung der THG-Emissionen beitragen (Re-use z.B. von Aluminiumkassetten).

Voraussetzung dafür ist eine Inspektion, Aufbereitung, Katalogisierung und digitale Lagerhaltung als Folgeprozesse bei Ausbau-/Ersatz bestehender LSS. Diese sind dazu als Teil der Beschreibung des wie-gebaut-Anlagenbestandes zu erfassen nach Art, Größe und Lagerungsort bzw. (Wieder-)Verfügbarkeitsdatum.

Die bisher bereits angestrebte Standardisierung der LSS trägt zu einer sinnvollen Erweiterung der bestehenden Prozesse um die Dekarbonisierung solcher Bestandsanlagen bei:

In Abbildung 47 ist ein einfaches generisches Modell über den Lebenszyklus von Lärmschutzeinrichtungen dargestellt, aus dem die grundlegenden Aufgaben sowie die entsprechend benötigten Daten als auch resultierende Arbeitsergebnisse dargestellt werden. Angefangen mit der Planung einer Lärmschutzeinrichtung ausgehend von der Bedarfsermittlung, in der eine Lärmprognose vorgenommen und im Abgleich mit gesetzlichen normativen Anforderungen der Bedarf und der Umfang des Lärmschutzes festgeschrieben wird. Dazu werden Daten aus dem Straßenbauprojekt oder -im Sanierungsfall- aus der Straßendatenbank benötigt, insbesondere zur Trassierung und zum prognostizierten Verkehrsaufkommen. Als Ergebnis wird eine Lärmprognose vorgelegt, die dann Grundlage für Auswahl und Planung der konkreten Lärmschutzmaßnahme darstellt; Überlegungen zur Standardisierung finden hier Anwendung. Die Entscheidung für die Ausführungsplanung wird schließlich aus der Genehmigungsplanung übernommen und mit Vergabe zum Bau umgesetzt.

Die anschließende Nutzungsphase betrifft die Aspekte der betrieblichen Erhaltung, deren Dokumentationsprozesse für die Vertiefung prädiktiver Aussagen zur Lebensdauer von Bauwerken und ihren Teilen sowie zur Weiterverwendung bestehender Bauteile von entscheidender Bedeutung sind.

Am Ende der technischen Lebensdauer erfolgt dann entweder ein Rückbau, in der Regel aber aufgrund des benötigten Lärmschutzes eine Ersatzmaßnahme.

Die anfallenden Daten aus den Prozessen zum Bestand werden in einer Bauwerksdatenbank vorgehalten, in der der Ausgangszustand als sogenanntes wie-gebaut-Modell hinterlegt wird und alle Daten während der Nutzungsphase zur Bauwerksüberwachung und zu durchgeführten Maßnahmen ebenfalls abgelegt werden. Bedeutsam ist hierbei die Maschinenlesbarkeit der gesammelten Daten, vorzugsweise in einer Datenbank mit standardisierten Vorgaben zu den einzelnen Prozessen. Prozesse des Austauschs von Bauteilen sollten jedenfalls historisiert erfolgen.

Im Falle einer Ersatzmaßnahme werden ebenfalls die bisherigen Daten historisiert und das neu gebaute Bauwerksmodell übernommen. Die ausgebauten Bestandteile werden im Fall der aufbereitbaren Bauteile ebenfalls katalogisiert und mit ihrem Aufbereitungsprozess im Rahmen der durchgeführten Maßnahmen der Wiedernutzung zugeführt.

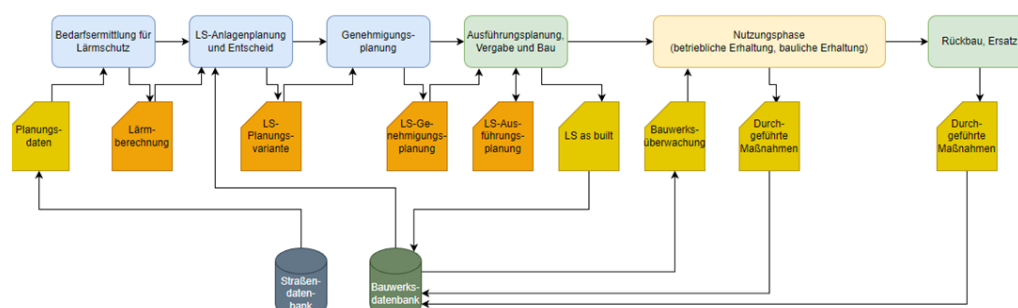


Abbildung 47: Generisches Modell zum Lebenszyklus von Lärmschutzeinrichtungen

6.4 Lebensdauer

Die Lebensdauer von Bauteilen bzw. Bauwerken kann als *die* kritische Einflussgröße auf die Beurteilung der verbundenen THG-Emissionen angesehen werden: Ihre Schwankungen, die unmittelbar auf die Erneuerung von Bauwerken bzw. den Ersatz von Bauteilen einwirken, können positiv wie negativ das Zusammenspiel „passender“ Ersatzintervalle beeinflussen.

Viele der bisherigen Untersuchungen (z.B. (Ghilmetti et al., 2009), (Lindner et al., 2019), (SMART NOISE, 2022) beziehen sich auf die Vielfalt der seit den 1980er Jahren, als mit der verstärkten Errichtung von Lärmschutzanlagen gegen Straßenlärm begonnen wurde (für Deutschland vgl. (BMDV, 2023:8) und (Lindner et al., 2019:36), entstandenen Anlagen, mit denen heute im Sinne des Anlagenbestandes umgegangen werden muss. Damit verbunden sind Erkenntnisse, die in Teilen zu einer zunehmenden Standardisierung i.d.R. nationaler Bauweisen führen (z.B. (Pigasse & Kragh, 2011), schweizerisches (Fachhandbuch Trasse/Umwelt, 2023), österreichische Ausführungsbestimmungen für Lärmschutzwände, z.B. in RVS 15.04.82). Mit der Standardisierung ist eine Verbesserung der Vorausschätzung zur erwarteten Lebensdauer zu erwarten (vgl. voriger Abschnitt).

Vielfältige Bestandsbauweisen, –materialien und -materialkombinationen sowie eine Anzahl von weiteren Einflussfaktoren wie z.B. Klima, Lage, Exposition

oder „technische“ Aspekte der Nutzung (z.B. Passung von Verkehrsmenge und Querschnitt) führen trotz ingenieurtechnisch fachgerechter Planung und Bauüberwachung zu deutlichen Abweichungen gegenüber den beschriebenen theoretischen Lebensdauern.

Das in decarboNoise entwickelte Berechnungstool bietet daher die Möglichkeit, die Lebensdauer einzelner Objekte bzw. Bauteile der LS-Systeme zu variieren, um die Folgen erhöhter oder verringerter Lebensdauer abschätzen zu können und so zu einer realistischen Bandbreite bei der Abschätzung der zu erwartenden Treibhausgasemissionen zu gelangen.

6.5 Weitere Erkenntnisse

Aus dem Projekt ergeben sich zusätzliche Erkenntnisse, die bei der Bewertung der Anlagen nicht berücksichtigt wurden, da sie in erheblichem Maße standortabhängig sind:

Es zeigte sich, dass Graffiti-Probleme bei stark begrünten LSS in der Regel nicht auftreten - dies kann sich lageabhängig als Vorteil erweisen, wenn auf aufwändige Entfernung verzichtet werden kann.

Neben den betrachteten Aspekten zu Biodiversität und Hitzeminderung kann eine „grüne“ LSW weitere positive Effekte auf den Standort haben wie z.B. Bindung von Feinstaub und die Einbindung in die Landschaftsgestaltung.

Im Siedlungsraum ist insbesondere bei angrenzenden Privatflächen von einer hohen Akzeptanz grüner Wände auszugehen, die neben den erwünschten kleinklimatischen Effekten zusätzliche Spielräume für die Bepflanzung und Pflege eröffnen können (Eigeninteressen der Anwohner) sowie aufgrund der angrenzenden (privaten) Freiflächen für Bewässerung sicherstellen.

Ebenfalls standortabhängig können auch hinterfüllte Gabionenwände oder Lehmwände einen Beitrag zur Biodiversität leisten, indem sie Rückzugsräume für Insekten und Kleintiere bilden können.

6.6 Weitere Orientierungshilfen für Straßenbetreiber

Aus Sicht der Verfasser lassen sich aus dem Projekt decarboNoise zwei weitere Punkte als Orientierungshilfen für Straßenbetreiber ableiten

Der erste Punkt betrifft grüne Steilwände, die –zumindest im kommunalen Umfeld- eine seit den 1980er Jahren erprobte LSA-Lösung darstellen, die zwischenzeitlich auch im Außerortsbereich zum Einsatz kommt. Um diese

angemessen in frühen Planungsstadien berücksichtigen zu können, sollten im Zusammenhang mit den Ergebnissen der akustischen Untersuchungen in Kapitel 3 Anforderungen an die Schallabsorption lageabhängig gestellt werden. Dies bietet die Möglichkeit Vorteile wie die Einbindung ins Landschaftsbild sowie bei der Beurteilung der Wirkungen auf Biodiversität und Hitzeentwicklung dem jeweiligen Standort angemessen berücksichtigen zu können.

Ein zweiter Punkt betrifft die bereits erfolgten Anstrengungen des Asset managements von LSS, die zugunsten der Dekarbonisierung von Bestandsbauteilen weiter vorangetrieben werden können. Standardisierung, Aufbereitung und planmäßige Wiederverwendung können als Teilprozesse zur Dekarbonisierung im Sinne von Re-Use beispielsweise weit verbreiteter modular aufgebauter LSS aus Aluminiumkassetten genutzt werden. Deren absorbierende Füllung besteht bisher überwiegend aus Mineralwolle. Ein Ersatz durch nachwachsende Rohstoffe wie Hanf, der als Absorberfüllung am Markt verfügbar ist, leistet damit auch für Bestandsbauwerke einen Beitrag zur Dekarbonisierung von LSS.

7 Literatur

AASHTO (2013a): Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic Signals. American Association of State Highway Officials (AASHTO). Washington, DC

AASHTO (2013b): Transportation Asset Management Guide: Designed to replace pages of "Standard specifications for highway bridges" and contains revisions to "Standard specifications for structural supports for highway signs, luminaires and traffic signals". A Focus on Implementation. Washington, DC

Ahac M., Ahac S und Lakušić S. (2021): Long-Term Sustainability Approach in Road Traffic Noise Wall Design. Sustainability 2021, 13 (2): 536. Verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/su13020536>, zuletzt abgerufen am 13.04.2024

AMSfree (2022). Stöckner, M., Hajdin, R., König, M., Gavin, K., Liu, L., Schiffmann, F., Blumenfeld, T., Brow, I., Exchange and exploitation of data from Asset Management Systems using vendor free format.

BIM4AMS (2022). Hajdin, R., König, M., Grossauer, K., Stöckner, M., Liu, L., Schiffmann, F., Blumenfeld, T., Stöckner U., BIM-Erweiterung durch Implementierung der Nutzung baustofftechnischer Daten von Straßen und Brücken im AMS (BIM4AMS). Österreichische Forschungsförderungs-Gesellschaft (FFG). Wien. (VIF 2019)

CEDR (2017): Technical Report 2017-02. State of the art in managing road traffic noise: Noise barriers. ISBN: 979-10-93321-27-1

Bundesamt für Strassen (ASTRA): Fachhandbuch Trasse / Umwelt. Technisches Merkblatt Bauteile / Lärmschutz (21 001-11300)

Bundesamt für Strassen (ASTRA): 18007 Grünräume an Nationalstrassen (2015)

Bundesamt für Strassen (ASTRA): ASTRA 86063 Betrieb NS - Tätigkeitsverzeichnis (2011)

Bundesamt für Strassen (ASTRA): 18007 Grünräume an Nationalstrassen (2015)

Bundesamt für Strassen (ASTRA): Fachhandbuch T/U, Technisches Merkblatt Bauteile / Lärmschutz – Einleitung (21 001-11300). (2020)

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, zuvor Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)) (2020): Leitfaden zur Prüfung

von Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken (Abgrenzung Ersatzneubau)

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, zuvor Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)) (2021): Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen. Verfügbar unter >> <https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/Daten/Leistungsheft-Strassenbetrieb.pdf?blob=publicationFile&v=3> <<, zuletzt abgerufen am 13.05.2024

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) (2023): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Nutzungsdauer von Bauteilen - Stand: 24.02.2017, verfügbar unter >>https://www.nachhaltigesbauen.de/fileamin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf<<, zuletzt abgerufen am 13.05.2024

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) (2025): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/#:~:text=Das%20BNB%20ist%20ein%20Instrument,f%C3%BCr%20Geb%C3%A4ude%20und%20ihr%20Umfeld>, letzter Zugriff am 28.11.2025

Calvi, G.; Moratti, M.; O'Reilly, G. J.; Scattarreggia, N.; Monteiro, R.; Malomo, D.; Calvi, P. M.; Pinho, R.: Once upon a Time in Italy: The Tale of the Morandi Bridge. In: Structural Engineering International 29 (2019), Nr. 2, S. 198–217

Connolly, L., Sheils, E., O'Connor, A., Walbaum, H., Hewitt, A., Conter, M., Brero, G., Tavajoh, S, Final Programme Report CEDR Call 2020 Resource Efficiency and Circular Economy, 2024.

Conter, M., Fuchs, A. & Paul, R., 2021. SOPRANOISE – T2.2 report - Update and analysis of noise barrier database including new current results.

Deutsches Institut für Normung (DIN), DIN 31051:2019-06 – Grundlagen der Instandhaltung, DIN, Beuth Verlag, Berlin.

European Committee for Standardization (CEN), 2022. EN 17472:2022 – Nachhaltigkeit von Bauwerken - Nachhaltigkeitsbewertung von Ingenieurbauwerken - Rechenverfahren (deutscher Titel)

European Committee for Standardization (CEN), 1997. EN 1793-3:1997 – Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum (deutscher Titel).

- European Committee for Standardization (CEN), 2019. EN 1793-5:2019 – Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 5: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern (deutscher Titel).
- European Committee for Standardization (CEN), 2021. EN 1793-6:2021 – Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 6: Produkt-spezifische Merkmale - In-situ-Werte der Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern (deutscher Titel).
- Europäische Kommission, 2019. Mitteilung der Kommission - Der europäische Grüne Deal.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640>, letzter Zugriff am 02.12.2025.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2019): Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. (RLS-19). Köln. FGSV
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2021): Merkblatt für die Reinigung von Straßen. Ausgabe 2020, 28 S. A 4 (R 2). Köln. FGSV-Verlag.
- Gabler Wirtschaftslexikon, Definition: Was ist „Lebenszyklus“, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/lebenszyklus-39913>, letzter Zugriff am 11.11.2025.
- Ghielmetti, M., Mühlebach, A. & Niederegger, A. (2009): Unterhalt von Lärmschirmen. FE 2004/201 (Schweiz). Im Auftrag des Bundesamtes für Straßenbau (ASTRA) Hajdin, R.; Lee, H.-O.; Honeger, C.; Nowacki, M.; Cao, R.; Beamish, S.; Valdes-flores, M.; Morgado, J.; Lategan, W., Roffe, J.-C.; Tanasic, N.: Innovative Approaches to Asset Management: 2019R19EN - Technical Report. La Defense, France, 2019
- Heller, S., Degelmann, R., Korn, M.: Guidelines für ein Infrastructure Asset Management im Freistaat Bayern. In: Straße und Autobahn 69 (2018), Nr.6
- Hauff, V., Angnelli, S., Brundtland, G. H., 1987. Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung.
- Informationsportal Nachhaltiges Bauen, Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen,
<https://www.nachhaltigesbauen.de/hintergrund/instrumente-und-kompetenzen>; letzter Zugriff am 11.11.2025.
- International Organization for Standardization (ISO). ISO 55000:2014 - Asset Management - Übersicht, Leitlinien und Begriffe (deutscher Titel)

- Lebhardt, A.; Seiler, D., Gerdes, A., Bombeck, A., Lennerts, K. (2021): Lebenszyklusmanagement für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur - Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden, indikatorgestützten Systems. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Brücken- und Ingenieurbau Heft B 159.
- Lindner, P., Hartmann, B., Schulze, C. & Hübelt, J. (2019): Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe V: Verkehrstechnik – 316
- Maschinenportal24, Lebenszyklus, <https://maschinenportal24.de/dictionary/lebenszyklus>, letzter Zugriff am 11.11.2025
- Morgenthal, G.; Rau, S., Hallermann, N., Schellenberg, K., Henar, M.-S., Schubert, M., Kübler, O. (2023): Potenziale von Monitoringdaten in einem Lebenszyklusmanagement für Brücken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Brücken- und Ingenieurbau Heft B 190.
- Morgan, Susan M.; Dianne H. Kay and S. Narayan Bodapati, (2021): STUDY OF NOISE BARRIER LIFE-CYCLE COSTING. Journal of Transportation Engineering Vol. 127, Issue 3 (June 2001)
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV) (2009): Qualitätssicherung bauliche Erhaltung. Bauwerksdatenbank. Teil Lärmschutzwände und -dämme (RVS 13.04.32)
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV) (2017): Entwurf und Planung, Lebenszykluskostenermittlung für Brücken. (RVS 13.05.11)
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV) (2019): Grünflächenpflege. Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) 12.05.11
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV) (2019): Berechnung von Schallemissionen und Lärmschutz (RVS 04.02.11)
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV) (2021): Qualitätssicherung bauliche Erhaltung, Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten: Teil Lärmschutzbauwerke (RVS 13.03.71)
- Oltean-Dumbrava, Crina., Watts, G. & Miah, A. (2012): Procurement of Sustainable Noise-Reducing Devices: State-of-the-Art Review from EU Project QUIESST. Journal of Management in Engineering, Seite 324 – 329

- Oltean-Dumbrava Crina., Watts G. and Miah A. (2013): Transport infrastructure: making more sustainable decisions for noise reduction. *Journal of Cleaner Production* 42 (2013) 58-68.
- Oltean-Dumbrava Crina, Miah A, Watts G, (2015) Towards a more sustainable surface transport infrastructure: A case study of applying multi criteria analysis techniques to assess transport noise reducing devices. *International Journal of Cleaner Production*, 112 (4): 2922–2934
- Oltean-Dumbrava Crina and Miah A. (2016): Assessment and relative sustainability of common types of roadside noise barriers. *Journal of Cleaner Production* 135 (2016) 919-931.
- Pelzeter, Andrea (2017): Lebenszyklus-Management von Immobilien – Ressourcen- und Umweltschonung in Gebäudekonzeption und –betrieb. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.); GEFMA Deutscher Verband für Facility Management. Berlin; Wien; Zürich: Beuth
- Pigasse, Gilles und Jørgen Kragh (2011): Optimised noise barriers. A state-of-the-art report. vejdirektoratet, Report 194 – 2011; verfügbar unter >>https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/optimised_noise_barriers.pdf<<, zuletzt abgerufen am 02.05.2024
- PIARC: Asset Management Manual: A Guide for Practitioners. <https://road-asset.piarc.org/en>, letzter Zugriff am 20.11.2025
- Resolution der Generalversammlung der Vereinten Nationen, verabschiedet am 1. September 2015: Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für eine Nachhaltige Entwicklung.
- Sphera Life Cycle Assessment Datenbank, <https://lcadatabase.sphera.com>, letzter Zugriff am 28.11.2025
- Stöckner M, Hajdin, R, König M: BIM im Asset Management für Verkehrsanlagen Sachstand zur Forschung. Straße und Autobahn 8/2023.
- Stöckner et al. (2025): Modularer Modellaufbau als Systemansatz zur Berechnung der THG-Emissionen im Lebenszyklus von Lärmschutzanlagen (S. 445 - 455). In: Florian Schäfer (Hrsg.): 4. Kolloquium Straßenbau in der Praxis. Tagungshandbuch 2025.Heft 4/1, Expert. Tübingen. online verfügbar unter >><https://elibrary.narr.digital/journal/kstr/2025/1><<
- Weninger-Vycudil et al., 2022: Holistischer Bewertungs- und Analyseprozess für optimiertes Lifecycle-Management von Lärmschutzwänden.

Österreichische Forschungsförderungs-Gesellschaft (FFG). Wien.
Österreich. SMART NOISE (VIF 2017).

Umweltbundesamt, 2021. Treibhausgas-Emission / Emissionsquellen. [Online]
Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#energie-stationar>
[Zugriff am 21. Mai 2023].

Wehr, R., Fuchs, A., Conter, M., Hoislbauer, H. & Strohmayer, G., 2019.
Prüfhandbuch zur akustischen Abnahmeprüfung von Lärmschutzwänden
an Straßen und Autobahnen. Technisches Planungshandbuch der
ASFiNAG (Erstausgabe).

7.1 Weitere Quellen

Anweisung Straßeninformationsbank für Ingenieurbauten, Teilsystem
Bauwerksdaten (ASB-ING) verfügbar unter
>><https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Erhaltung/ASB-ING.html><<, zuletzt abgerufen am 02.05.2024

Fachhochschule St. Pölten (2023): Pressemitteilung Lärmschutzwände aus
Lehm. verfügbar unter >><https://nachrichten.idw-online.de/2023/12/20/laermschutzwaende-aus-lehm><<, zuletzt abgerufen am
02.05.2024

Grossberger, H. et al. (2023): LeWeLaS – Lehm als Werkstoff für
Lärmschutzwände im System Bahn, verfügbar unter
>><https://research.fhstp.ac.at/projekte/lewelas-lehm-als-werkstoff-fuer-laermschutzwaende-im-system-bahn><<, zuletzt abgerufen am 02.05.2024

[https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/verkehr/service/downloads/Leitfaden
- Laermschutz mit Regelplanung Stand 01.01.2015 .pdf](https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/verkehr/service/downloads/Leitfaden_-_Laermschutz_mit_Regelplanung_Stand_01.01.2015_.pdf), zuletzt
abgerufen am 30.10.2025

Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA), verfügbar
unter >><https://www.okstra.de/><<, zuletzt abgerufen am 02.05.2024

RAU-Alpin_Datenblatt.pdf, verfügbar unter https://www.rau.bayern/rau-alpin-laermschutzwand.html?file=files/rau_inhalt/datenblaetter/RAU-Alpin_Datenblatt.pdf&cid=129 und <https://www.rau.bayern/rau-alpin-laermschutzwand.html>; Abruf vom 24.11.2023

RAU Klimawand [<https://rau.de/de/produkt/rau-klimawand>] Abruf vom
24.11.2023

RAU-Photovoltaik_Datenblatt.pdf, verfügbar unter https://www.rau.bayern/rau-laermschutzwand-mit-photovoltaik.html?file=files/rau_inhalt/datenblaetter/RAU-Photovoltaik_Datenblatt.pdf&cid=143; Abruf vom 24.11.2023

RAU Geosystem Süd GmbH: Webseite www.rau.de [Zugriff am 9 Oktober 2023].

Webseite <https://zentrum-fuer-peripherie.org/startseite-test/projekte/brandenburgs-alhambra/probewand> zuletzt abgerufen am 9 Oktober 2023].

Webseite <https://zentrum-fuer-peripherie.org/startseite-test/projekte/rxx-laermschutzwand-fuer-duesseldorf>, zuletzt abgerufen am 27.11.2023

Abdulkareem M., Havukainen J., Nuortila-Jokinen J., Horttanainen M. (2021), Life cycle assessment of a low-height noise barrier for railway traffic noise. Journal of Cleaner Production, 323 (2021) 129169.

Afnan A. I. (2023), Comparative Life Cycle Assessment of willow, concrete and transparent noise barriers Master thesis. State University of New York College of Environmental Science and Forestry Syracuse, New York.

ASFINAG (2023), CO₂-Fussabdruck von Lärmschutzwänden. ASFINAG Bau Management GmbH, Schnirchgasse 17, 1030 Wien.

Duschen S. und Jorre S. (2021), Ausführlicher Studienbericht zur vergleichenden Ökobilanz für vier Lärmschutzwandsysteme der[k]nord GmbH. TÜV Rheinland Energy GmbH.

Hoffmann C. und A. Geissler (2022), Baumaterialien für Städte im Klimawandel Materialkatalog mit Empfehlungen. Herausgegeben vom BWO-Bundesamt für Wohnungswesen Bern.

Morgan S.M., Kay D. H., and Bodapati S. N. (2001), Study of Noise Barrier Life-Cycle Costing. Journal of Transportation Engineering. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:3(230).

Ramseier L. und R. Frischknecht (2022), Hintergrundbericht zur Aktualisierung der Sachbilanzen von Baumaterialien. Im Auftrag der KBOB-Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, des BAFU Bundesamt für Umwelt und des AHB Amt für Hochbauten der Stadt Zürich. KBOB_BAFU_AHB_2022_Baumaterialien_v1.0.docx, 09.03.2022

SN 641 820 (2018), Kosten-Nutzen-Analysen im Straßenverkehr. Grundnorm. Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute). Zürich.

Tavajoh S. (2023), Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of the Roadside Noise barriers. Master's thesis in Design and Construction Project

Management. Dep. Of Architecture and Civil Engineering. Chalmers University of Technology.

Werner F. (2019), Arbeitsbericht: Ökobilanz von Ausfachungselementen für Lärmschutzwände. Eine Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA Lignum und des Verbands der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft.

Anhang 1: Default-Werte der Lebensdauer

Im Anwendungstool umgesetzte Default-Werte der Lebensdauer sind als Mittelwerte aus den Angaben in der folgenden Tabelle dargestellt. Die zugrundeliegenden Angaben aus der Literatur sind ebenfalls dargestellt.

Objekt	Material	Lebensdauer [Jahre]	Quelle*	Mittelwert, aufgerundet [Jahre]
Gründung	Beton	100	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	100
Fundamente	Stahlbeton	100	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	75
Fundamente	Stahlbeton	>50	BMWSB (2017)	
Pfosten / Steher	Stahl	<60	ASFiNAG (2023), S. 24	45
Pfosten / Steher	Stahl	20 - 25	Oltean-Dumbrava (2010)	
Pfosten / Steher	Stahl	50	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	
Pfosten / Steher	Beton	40	Oltean-Dumbrava (2010)	40
Pfosten / Steher	Stahlbeton	60	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	54
Pfosten / Steher	Stahlbeton	50	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	
Pfosten / Steher	Stahlbeton	50	Morgan et al. (2001)	
Pfosten / Steher	Weide (Holz)	25	Oltean-Dumbrava (2010)	25
Pfosten / Steher	Schmittholz	20 - 40	Oltean-Dumbrava (2010)	30
Pfosten / Steher	Holz	30	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Pfosten / Steher	Fiberglass	50	Morgan et al. (2001)	50
Paneel / Kassette	Aluminium	30	Oltean-Dumbrava (2010)	32

Paneel / Kassette	Aluminium	25	Morgan et al. (2001)	
Paneel / Kassette	Aluminium	40	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Paneel / Kassette	Aluminium	<35	ASFiNAG (2023), S. 24	
Paneel / Kassette	Aluminium	30	Duschen und Jorre (2021), S. 4	
Paneel / Kassette	Stahlbeton	60	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	47
Paneel / Kassette	Stahlbeton	50	Morgan et al. (2001)	
Paneel / Kassette	Stahlbeton	30	Duschen und Jorre (2021), S. 4	
Paneel / Kassette	Holzbeton	<35	ASFiNAG (2023), S. 24	35
Paneel / Kassette	Holz	15	Duschen und Jorre (2021), S. 4	24
Paneel / Kassette	Holz	20	ASFiNAG (2023), S. 24	
Paneel / Kassette	Holz	30	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Paneel / Kassette	Holz (Tropenhartholz sowie Nadelholz/Weichholz)	25	Morgan et al. (2001)	
Paneel / Kassette	Holz	20	RVS (2011) SMART NOISE	
Paneel / Kassette	Holz	30	Werner (2019)	
Paneel / Kassette	Acryl- / Verbundglas	30	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	30
Paneel / Kassette	Kunststoff	25	Morgan et al. (2001)	25
Paneel / Kassette	Stahl	30	Morgan et al. (2001)	30
Paneel / Kassette	Alle Paneele NICHT Holz, d.h. aus sonstigen Materialien	40	RVS (2011) SMART NOISE	k.A.
Paneel / Kassette	Schilf-Lehm	20	ASFiNAG (2023), S. 24	20
Paneel / Kassette	Mauerwerk	40	Morgan et al. (2001)	40

Paneel / Kassette	Beton	50	Morgan et al. (2001)	50
Paneel / Kassette	Lavabeton	30	Werner (2019)	30
Vorsatzschale	(Absorptionselement)	>30	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	30
Vorsatzschale	Holzbeton	50	Morgan et al. (2001)	50
Steilwall begrünt	Rau-Umweltwand	40	ASFiNAG (2023), S. 24	54
Steilwall begrünt	Rau-Umweltwand	60	Duschen und Jorre (2021), S. 3	
Steilwall begrünt	Rau-Umweltwand	60	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Verankerungen	Stahl	50	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	50
Damm	Erde	100	ASFiNAG (2023), S. 24	84
Böschungsbefestigung	Rasen einschl. Oberboden	100	ABBV (2010), Anlage Tabelle 11	
Böschung	Inkl. Gras/Begrünung	>50	Morgan et al. (2001)	
Böschungsbefestigung	Pflaster	110	ABBV (2010), Anlage Tabelle 11	110

*Literaturangaben vgl. Bericht D4.2

Anhang 2: Fragebogen der Umfrage zu Aufwendungen in der Nutzungsphase

DeCarboNoise

Herzlich willkommen auf der Umfrageseite von DeCarboNoise!

Wieviel CO₂-Emissionen fallen im Laufe eines gesamten Lebenszyklus von Lärmschutzanlagen an? Um dieser Frage nachzugehen bitten wir um Ihre Mithilfe bei der Grundlagenermittlung. Bitte nehmen Sie sich dafür ca. 20 Minuten Zeit. Rechts oben können Sie die Beantwortung der Fragen unterbrechen um später damit fortzufahren.

Selbstverständlich werden alle Angaben nur anonymisiert veröffentlicht. Personenbezogene Angaben dienen allein möglichen Rückfragen zu Ihren Angaben.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!



In dieser Umfrage sind 12 Fragen enthalten.

Verwaltungsangaben

Bitte wählen Sie das Land aus, zu welchem Ihre Verwaltungseinheit gehört

Bitte kreuzen Sie eine der folgenden Antworten an:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Deutschland
☐ Österreich
☐ Schweiz

Alle Umfrageeingaben werden nur anonymisiert ausgewertet!

Bitte nennen Sie Ihre Verwaltungseinheit bzw. Zuständigkeitsbereich

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Alle Umfrageeingaben werden nur anonymisiert ausgewertet!

Bitte nennen Sie Ihren Namen für Rückfragen.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Alle Umfrageeingaben werden nur anonymisiert ausgewertet!

Bitte nennen Sie Ihre Emailadresse für Rückfragen

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Alle Umfrageeingaben werden nur anonymisiert ausgewertet!

Typen von Lärmschutzanlagen

Welche Typen von Lärmschutzanlagen (LS) befinden sich in Ihrer Verwaltungseinheit? Bitte wählen Sie aus.

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Massivbauweise (Beton / Stahlbeton / Ziegel)
☐ Modulbauweise mit Stahnsystem (fundamentiert, Paneele aus Holz, Glas, Kunststoff, Aluminium, Beton)
☐ Modulbauweise mit Stahnsystem und Substratpaneele, dauerhaft vollständig begrünt (fundamentiert, Substratpaneele für dauerhaften Bewuchs der Wandfläche)
☐ begrünter Stollwerk (Pflanzröhre / Kriecherwand / bewehrte Erde... inkl. Gabionen)
☐ bewehrte Drahtgitterwand mit Erdfüllung, dauerhaft vollständig begrünt
☐ Lärmschutzwall (mit / ohne Wandschutz)

Mehrfachauswahl möglich.

Gibt es in Ihrer Verwaltungseinheit Lärmschutzanlagen, die für Photovoltaikanlagen genutzt werden?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ja
☐ Nein

Betrieb von Lärmschutzanlagen

Reinigen - Schneiden - Bewässern

Gibt es in Ihrer Verwaltungseinheit besonders pflegebedürftige Anlagen?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ja
☐ Nein

z.B. Bewässern oder überdurchschnittlich häufiges Mähen, Schneiden, Reinigen etc. erforderlich

Wenn es besonders pflegebedürftige Anlagen gibt: Bitte geben Sie eine Einschätzung zur Ursache an.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Stimmen die folgenden Ansätze mit Ihren Erfahrungen im betrieblichen Unterhalt von Lärmschutzwänden und -wällen überein?

- Reinigung etwa 1 Mal pro Jahr
- Mähen im Bereich mit Intensivbegrünung 1 bis 2 Mal pro Jahr
- Mähen im Bereich mit Extensivbegrünung jedes dritte bis 1 Mal pro Jahr
- Gehölzschnitt jedes dritte bis jedes siebte Jahr

Bitte kreuzen Sie eine der folgenden Antworten an:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ gute Übereinstimmung
☐ mäßige Übereinstimmung
☐ geringe bis keine Übereinstimmung

Erhaltung von Lärmschutzanlagen

Instandhaltung und Wartung

Können Ihrer Einschätzung nach die folgenden Erfahrungswerte zur baulichen Unterhaltung auch auf Lärmschutzwände übertragen werden?

- Autobahn: 0,2 Schäden/Bauwerk *Jahr
- Landstraße: 0,35 Schäden/Bauwerk *Jahr

Bitte kreuzen Sie eine der folgenden Antworten an:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ ja, Übertragung möglich
☐ nur eingeschränkte Übertragung denkbar, die Werte passen nicht
☐ nein, die Lärmschutzwände werden nicht durch Unfälle beschädigt
☐ derzeit keine Aussage möglich

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

Gerne geben Sie zu Ihrer Antwort einen erläuternden Kommentar.

Können Ihrer Einschätzung nach die folgenden Erfahrungswerte zur Wartung und Instandsetzung auch auf Lärmschutzwände angewandt werden?

- Autobahn: 1m/km Länge der Lärmschutzwand
- Landstraße: 10m/km Länge der Lärmschutzwand

Bitte kreuzen Sie eine der folgenden Antworten an:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ ja, Übertragung möglich
- ☐ nur eingeschränkte Übertragung denkbar, die Werte passen nicht
- ☐ nein, aufgrund anderer Anforderungen keine Übertragung möglich
- ☐ demnächst keine Aussage möglich

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

Geme geben Sie zu Ihrer Antwort einen erläuternden Kommentar.

Erneuerung von Lärmschutzanlagen

Ersatz oder Teilersatz von Lärmschutzanlagen

Bringen Lärmschutzanlagen, die sich nach theoretischen Ansätzen dem Ende ihrer Lebensdauer nähern, erhöhten Kontroll- und / oder Pflegeaufwand mit sich?
Vorbereitende Arbeiten für Erneuerung oder Ersatz sind nicht als Teil eines erhöhten Aufwands zu verstehen.

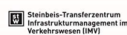
Bitte sagen Sie uns ein bisschen mehr zu Ihrer Antwort. Dafür können Sie etwas in das leere Feld schreiben.
Bitte wählen Sie die zutreffenden Punkte aus und schreiben Sie einen Kommentar dazu:

- ☐ erhöhte Kontrollhäufigkeit (von der Verkehrsebene aus)
- ☐ erhöhte Kontrollmöglichkeit (Insugenscheinnahme vor Ort)
- ☐ materialabhängig erhöhter Pflege
- ☐ anderer Mehraufwand
- ☐ nein, kein Mehraufwand

Mehrfachauswahl möglich

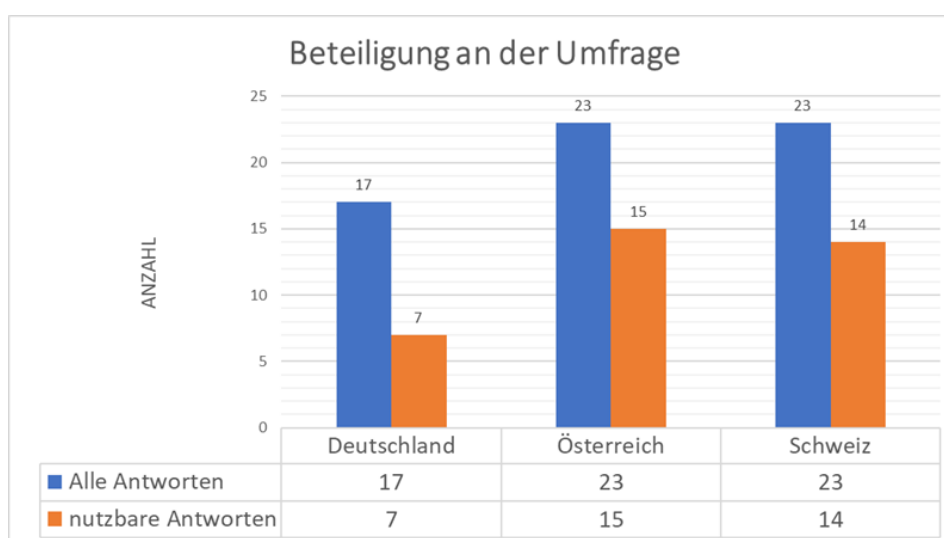
Herzlichen Dank für Ihre Unterstützung!

Ihr Forschungsteam DeCarboNoise

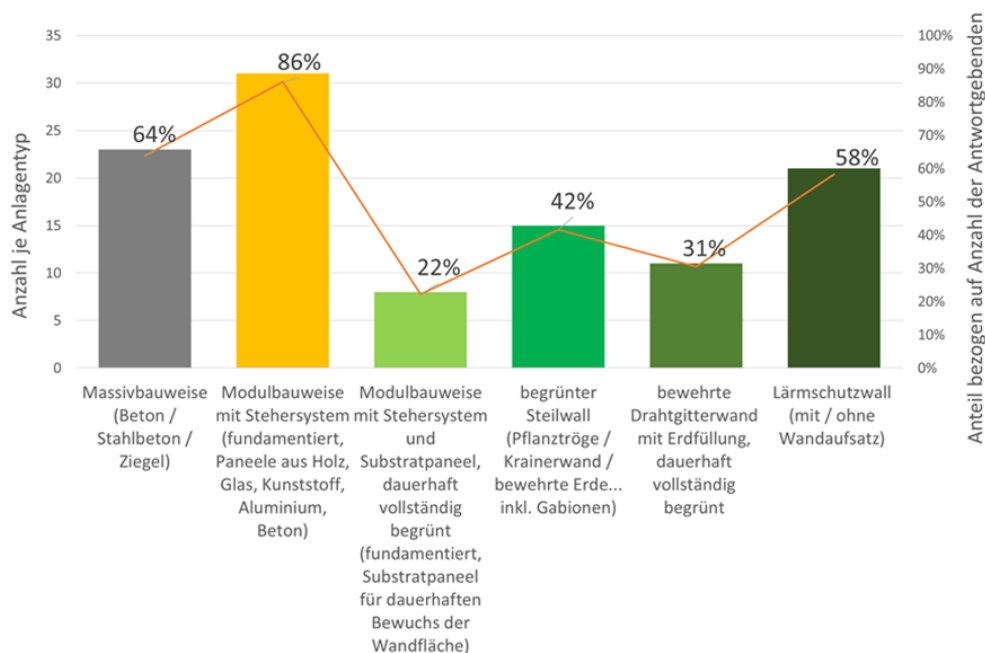


Übermittlung Ihres ausgefüllten Fragebogens:
Vielen Dank für die Beantwortung des Fragebogens.

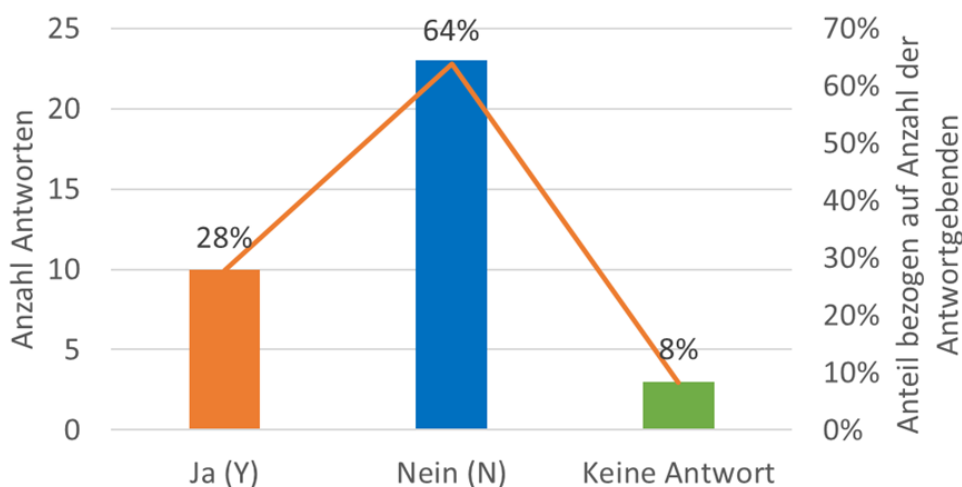
Anhang 3: Auswertung der Antworten der Umfrage zu Aufwendungen in der Nutzungsphase

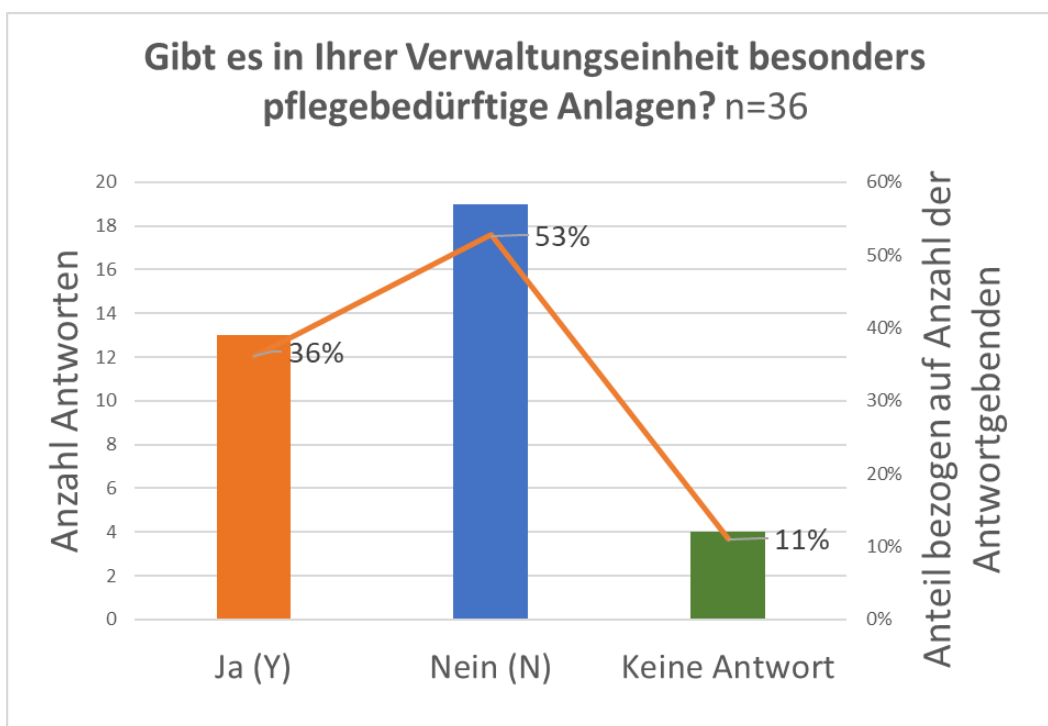


Welche Typen von Lärmschutzanlagen (LS) befinden sich in Ihrer Verwaltungseinheit? Bitte wählen Sie aus.
Mehrfachantworten; n=109



Gibt es in Ihrer Verwaltungseinheit Lärmschutzanlagen, die für Photovoltaikanlagen genutzt werden? n=36





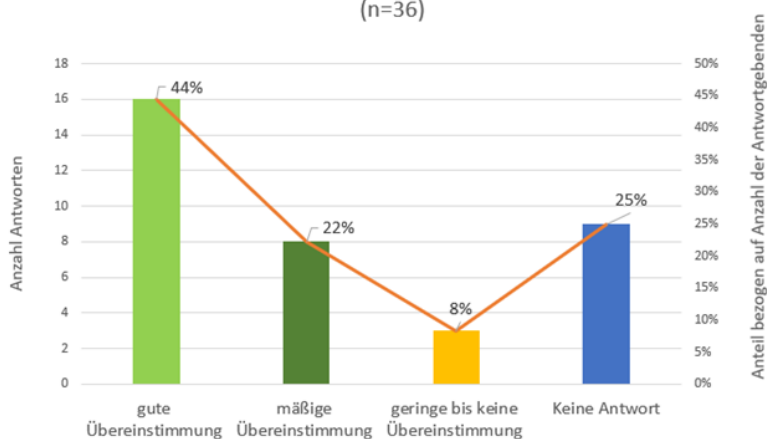
Wenn es besonders pflegebedürftige Anlagen gibt: Bitte geben Sie eine Einschätzung zur Ursache an.

Antworten:

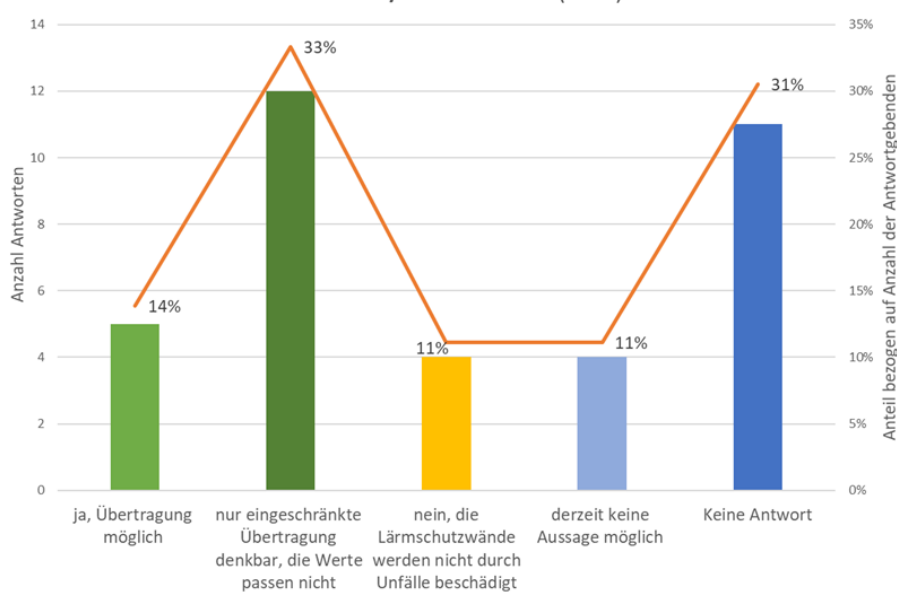
- Zugänglichkeit für Mähtätigkeit oder für Inspektionen.
- Krainerwand - wächst permanent zu, jährlich 3 Mal zu mähen.
- bewehrte Erde mit Drahtgitter, Geotextil und auch montierten Vermessungsspiegel. Erhöhter Aufwand, weil diese einmal im Jahr gemäht werden muss/soll und das nicht maschinell mit Unimog und Triomäher möglich ist sondern nur mit Hubsteiger und Heckenschere bzw. Motorsense und anschließendem Mähgut wegschaffen.
- gewollter Bewuchs.
- bewusste Bepflanzung hinter den Lärmschutzwänden.
- Stütz- und Schutzbauwerke wie bewehrte Erde oder Gabionen Wände, Bewuchs Entfernung, Höhenarbeiten.
- keine besonderen Maßnahmen nötig.
- Streckenbeschaffenheit -Gelände.
- Freischneiden.
- Glas-Elemente ->reinigen->Stadtgebiet.
- Schneiden-> Schlingpflanzen entfernen.

- Ein- und Ausbau der Pumpenanlage wegen Frostgefahr. Hintere Seite der Lärmschutzanlage ist nur zu Fuß begehbar, da Anliegergrundstücke unmittelbar angrenzen. Dadurch resultiert auch ein häufigeres Pflegen (Mähen und manuelles Abfahren des Schnittgutes) durch Anwohnerbeschwerden. Vorderseite der Anlage auch nur manuell betreubar, denn unmittelbar vor der Anlage ist eine Schutzplanke verbaut.
- Wände mit Schlingpflanzen.
- da wir zurückhaltend mit Begrünungen sind, sind mir auch keine pflegebedürftigen Anlagen bekannt.
- begrünte Anlagen sind stets aufwändig, z.B.: Tröge in großen Höhen sind mühsam in der Pflege und aufwändig, speziell begrünte Dämme müssten sogar bewässert werden, viele Anlagen sind exponiert und anfällig auf Neophytenbefall, diesen müssen bekämpft werden, was wiederum den Aufwand erhöht. Das Mähen dieser Anlagen ist maschinell fast unmöglich und generiert viel Handarbeit oder komplizierte und gefährliche Maschinen- und Personeneinsätze. Für die Pflege bedarf es spezieller Ausbildungen (Arbeiten am hängen Seil) und die Mitarbeiter müssen sich sichern (Seil oder gleichwertig).
- Lärmschutzwände müssen gegen Bewuchs freigeschnitten werden.

Stimmen die folgenden Ansätze mit Ihren Erfahrungen im betrieblichen Unterhalt von Lärmschutzwänden und -wällen überein? Reinigung etwa 1 Mal pro Jahr / Mähen im Bereich mit Intensivbegrünung 1 bis 2 Mal pro Jahr / Mähen im Bereich mit Extensivbegrünung jedes dritte bis 1 Mal pro Jahr / Gehölzschnitt jedes drittes bis jedes siebtes Jahr
(n=36)

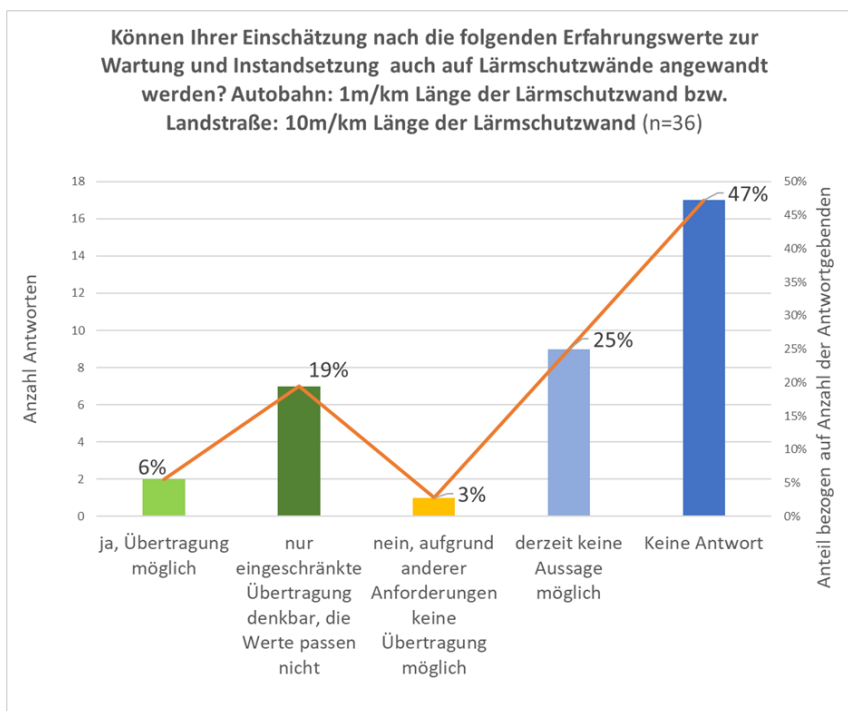


Können Ihrer Einschätzung nach die folgenden Erfahrungswerte zur baulichen Unterhaltung auch auf Lärmschutzwände übertragen werden? Autobahn: 0,2 Schäden/Bauwerk *Jahr bzw. Landstraße: 0,35 Schäden/Bauwerk *Jahr
(n=36)



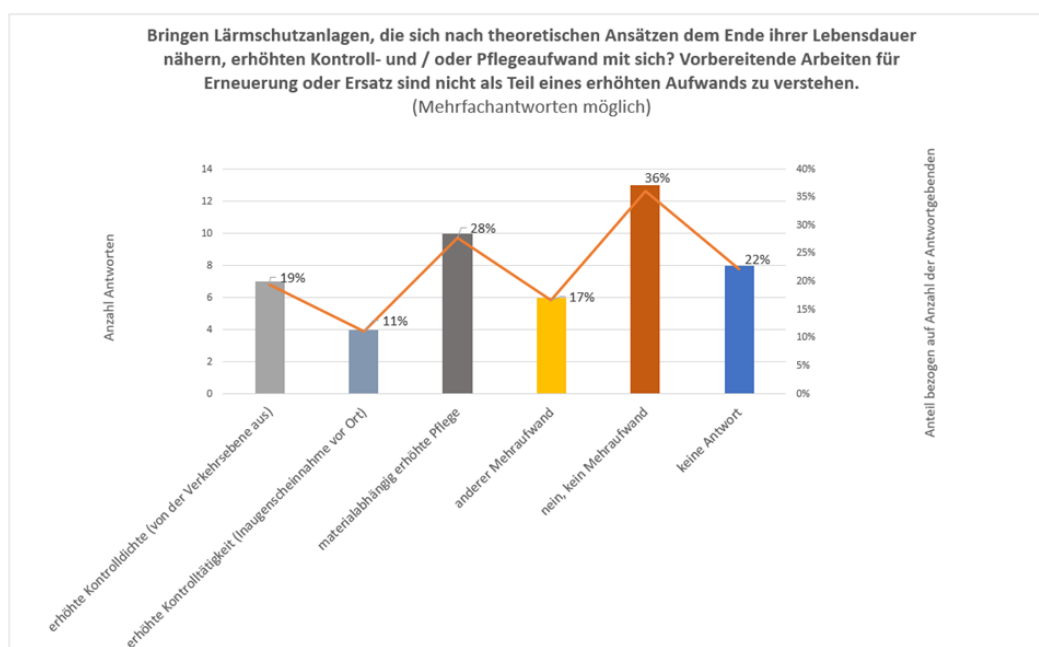
Kommentare zur Frage „Können Ihrer Einschätzung nach die folgenden Erfahrungswerte zur baulichen Unterhaltung auch auf Lärmschutzwände übertragen werden?“

- **Autobahn: 0,2 Schäden/Bauwerk *Jahr**
- **Landstraße: 0,35 Schäden/Bauwerk *Jahr“**
- Stark abhängig von Lage und Art der Ausführung, Die Bandbreite geht von "Wartungsfrei" bis 0,5/Schäden/Bauwerk*Jahr.
- Kaum Schäden durch Unfälle an den LSW; da diese nahezu überall mittels Leitscheinen bzw. Betonleitwänden abgesichert sind.
- Kommt auf das Rückhalte-System und auf die Umgebung (Waldgebiet etc.) an.
- Vor der Lärmschutzwand ist eine Schutzplanke verbaut und dadurch vor Unfällen gut geschützt. Die hintere Seite ist nur zu Fuß zu erreichen.
- Präzisierung zu ihrer Annahme: Anzahl Unfälle ohne regulärer Unterhalt (*Anm.d.Verf.: Kommentar zur Angabe eingeschränkt denkbarer Übertragung*).
- Bezogen auf Unfälle: Die Werte sind deutlich kleiner.
- Für den baulichen Unterhalt (Reparaturen infolge Alterung) treffen die Annahmen in etwa zu, obwohl die Reparatur nicht zwingend sofort erfolgt.
- Schwierig abzuschätzen, eine Statistik dazu liegt nicht vor.
- Die Lärmschutzwände auf Nationalstrassen sind üblicherweise durch Rückhaltesysteme geschützt. Es können aber Schäden infolge Unwetter oder aber größere Unfälle entstehen. Diese sind aber in der Auftretenswahrscheinlichkeit eher tief anzusiedeln.
- Tieferere Werte wären realistischer, baulicher Unterhalt weniger häufig, Unfälle sehr selten.
- es gibt wenige Schäden an LS z.B. Winterdienst; Alter; Fahrzeugbrand auf SSP bei LS; etc.
- Auf unserem Streckennetz gibt es nur eine LS die für Unfälle gefährdet ist.



Kommentare zur Frage: „Können Ihrer Einschätzung nach die folgenden Erfahrungswerte zur Wartung und Instandsetzung auch auf Lärmschutzwände angewandt werden?“

- **Autobahn: 1m/km Länge der Lärmschutzwand**
- **Landstraße: 10m/km Länge der Lärmschutzwand“**
- Annahmen TBA ZH: Instandsetzung ca. alle 20-30 Jahre, betrieblicher Unterhalt (Wartung: betrieblicher Unterhalt und ggf. Kleinreparaturen): Jährlich.
- 10m/km würden einem Ersatz alle 100 Jahre entsprechen. Dies trifft theoretisch zu, jedoch kommt die Instandhaltung noch dazu.
- Es kommt extrem darauf an, wie dicht besiedelt das Land ist, in welchem die Straße liegt und ebenso die Exposition.
- weniger 1m/km Länge der LS.



Zu jedem der Auswahlfelder bestand bei dieser Frage die Möglichkeit direkt dazu einen Kommentar abzugeben. Die nachstehenden Kommentare sind entsprechend ihrer Zuordnung durch die Befragten wiedergegeben.

Kommentare zur Frage: „Bringen Lärmschutzanlagen, die sich nach theoretischen Ansätzen dem Ende ihrer Lebensdauer nähern, erhöhten Kontroll- und / oder Pflegeaufwand mit sich? Vorbereitende Arbeiten für Erneuerung oder Ersatz sind nicht als Teil eines erhöhten Aufwands zu verstehen.“

Kommentare zu „erhöhte Kontrolldichte (von der Verkehrsebene aus)“:

- Holz offensichtliche Schäden aus dem Auto aus ersichtlich.
- Beim Einsatz unterschiedlicher Materialien, wie Holz / Aluminium / Stahl (Abdeckblech) oder Holz / Kunststoff.
- richtet sich nach den gültigen RVS-Vorgaben und Prüfergebnissen von Externen und internen Experten.
- Bei Holzelementen.
- Verankerungen und Verschraubungen benötigen vermehrte Kontrolle.

Kommentare zu „erhöhte Kontrolltätigkeit (Inaugenscheinnahme vor Ort)“:

- Oftmals auch hinter der Wand zu kontrollieren.
- Gekrümmte Wände mit Überhang auf die Fahrbahn.
- richtet sich nach den gültigen RVS-Vorgaben und Prüfergebnissen von Externen und internen Experten.

Kommentare zu „materialabhängig erhöhte Pflege“:

- speziell Lärmschutz aus Holz.
- siehe vorherige Antworten (*Anm. d. Verf.: vgl. gekrümmte Wände und Materialkombinationen*).
- richtet sich nach den gültigen RVS-Vorgaben und Prüfergebnissen von Externen und internen Experten.
- je nach Ausführung der LSW; Wenn Ausführung mit Holz besteht ein erhöhter Bedarf.
- Bei Holzelementen.
- bei Holzverkleidungen zu erwarten.
- Holzwände Kontrolle Verschraubungen.

Kommentare zu „anderer Mehraufwand“:

- Wände im Nahbereich von Gehölzsäumen.
- Je nach Ausführung -erhöhter Bedarf bei Bewuchs Entfernung.
- Entsorgung von abfallenden Betonteilen.
- Umso älter, umso mehr Ritzen und damit Bewuchs, welchen man nicht möchte.
- je länger die Lebensdauer desto mehr Aufwand bei Holzkonstruktionen.

Kommentare zu „nein, kein Mehraufwand“:

- jährliche Sichtkontrolle.
- eher nein, aber ungenügende Erfahrung aufgrund des geringen Alters der LSW in unserem Portfolio.
- bis jetzt keine Erfahrung.
- da eine LSW eine statisch geringe Relevanz hat und meist das Risiko tief ist, ist der Mehraufwand auch gering.

Anhang 4: Anwendungshandbuch Berechnungstool

Anwendungshandbuch zum Berechnungstool

DecarboNoise

Entstanden im Rahmen des Projektes
Dekarbonisierung von Lärmschutzsystemen
für eine nachhaltige Zukunft der Straßeninfrastruktur
und finanziert im Rahmen der D-A-CH Kooperation
Verkehrsinfrastrukturforschung D-A-CH 2022

Stand 03.03.2026



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
1. Einleitung	5
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung	5
1.2 Modellierte Lärmschutzanlagen	5
1.3 Einsatzbereiche des Tools	6
1.3.1 Anwendungsfälle Neubau und Lärmsanierung	6
1.3.2 Anwendungsfall Ersatzbau	6
1.3.3 Anwendungsfall Variation der Lebensdauer	7
2. Aufbau des Tools	8
3. Nutzung und Anwendung	9
3.1 Überblick und Grundsätzliches	9
3.2 Tabellenblatt „Eingabe_Projekt“	11
3.3 Tabellenblatt „Eingabe_Abschnitt“	12
3.4 Tabellenblatt „Ergebnisse“	14
4. Weitere Hinweise	16
4.1 Systemgrenzen	16
4.2 Default-Werte der Lebensdauer	17
4.3 Weiterentwicklung und Pflege des Tools	19
5. Berechnungsbeispiel	20
5.1 Einführung	20
5.2 Eingabe_Projekt	20
5.3 Eingabe_Abschnitt	20
5.3.1 Abschnitt 1	20
5.3.2 Abschnitt 2	21
5.3.3 Abschnitt 3	22
5.3.4 Abschnitt 4	23
5.3.5 Abschnitt 5	24
5.4 Kostenschätzung	25
5.5 Ergebnisse Berechnungsbeispiel	25

6.	Anhang Anwenderhandbuch:	30
6.1	Formeln auf Sheet «Eingabe Abschnitt»	30
6.2	Defaultwerte für die Kostenkennwerte	33
6.3	Daten zur Abschätzung der THG-Emissionen	34
6.3.1	Holzpaneele	34
6.3.2	Schilf-Lehm-Paneele	34
6.3.3	Metallpaneele	35
6.3.4	Durchsichtige Paneele	37
6.3.5	Holzbeton-Paneele	38
6.3.6	Umweltwand	40
6.3.7	Gabionen	41
6.3.8	Stahlbeton	42
6.3.9	Backsteinwand (Ziegel)	42
6.3.10	Pfosten bzw. Steher und Fussplatten	43
6.4	Daten für Baumaterialien	46
6.4.1	Daten Schweiz	46
6.4.2	Daten Österreich	47
6.4.3	Daten Deutschland	48
6.5	Daten zur Abschätzung der Stromerzeugung mit PV	49
6.6	Im Text erwähnte Quellen	51

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Modellierte Lärmschutzanlagen	6
Bild 2: Überblick über die Zusammenhänge im Tool	8
Bild 3: Anwendungsablauf	10
Bild 4: Benutzeroberfläche des Tabellenblatts „Eingabe_Projekt“	11
Bild 5: Benutzeroberfläche des Tabellenblatts „Eingabe_Abschnitt“	12
Bild 6: Öffnen und Schließen von Objektgruppen	13
Bild 7: Benutzeroberfläche des Tabellenblatts „Ergebnisse“	15
Bild 8: Darstellung des Systemgrenze und der darin enthaltenen Prozesse der Schweizer Ökobilanzdaten im Baubereich (Quelle: Frischknecht 2022)	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Default-Werte der Lebensdauer von Bauteilen (Mittelwerte, aufgerundet)	17
------------	--	----

Glossar

GWP	Global Warming Potential (engl. für Erderwärmungspotenzial). Bezeichnet ein Wirkungsmodell im LCA, das eine gewichtete Summe aller Treibhausgasemissionen als Bewertungskriterium verwendet. Gewichtungsfaktor ist der relative Beitrag eines Gases zum Treibhauseffekt bezogen auf der Wirkung von Kohlendioxid. Die Maßeinheit ist Kilogramm CO ₂ Äquivalent (CO ₂ eg.)
LC	Lifecycle (engl. für Lebenszyklus)
LCA	Lifecycle Assessment (engl. für Bewertung des Lebenszyklus)
LCC	Lifecycle Costs (engl. für Kosten im Lebenszyklus)
LS	Lärmschutz
LSA	Lärmschutzanlagen (bauliche Anlagen zum Zweck des Lärmschutzes)
LSS	Lärmschutzsysteme (aufeinander abgestimmte Teile baulicher Anlagen zum Zweck des Lärmschutzes)
LSW	Lärmschutzwand (Typ einer Lärmschutzanlage oder eines Lärmschutzsystems; Ausbildung als Wand)
THG	Treibhausgasemissionen (u.a. Kohlendioxid (CO ₂), Methan, Distickstoffmonoxid, fluorierte Treibhausgase wie teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid, Stickstofftrifluorid). Dieser Begriff wird in diesem Dokument synonym zu GWP verwendet.
Paneel	Wandelement oder Teil davon, in der Regel waagerecht zwischen Pfosten montiert; im Anwendungsmodul als drei Bauelemente modelliert
Pfosten	senkrechte Halterung für Wandelemente, auch als Steher oder Stütze bezeichnet
PV	Photovoltaik, auch synonym für ganze PV-Anlagen bzw. deren Ertrag unter Angabe der Einheit)

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Das Projekt decarboNoise (Kurzform für „Dekarbonisierung von Lärmschutzsystemen für eine nachhaltige Zukunft der Straßeninfrastruktur“) möchte mit der Entwicklung des vorliegenden Anwendungstools (Excel®-Anwendung) zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Lärmschutzsystemen (LSS) einen Beitrag zur Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit der Lärmschutzinfrastruktur im D-A-CH Raum leisten. Die Quantifizierung der mit den einzelnen Lärmschutzprojekten verbundenen Treibhausgasemissionen ist hierzu für die Anlagenbetreiber eine bedeutsame Entscheidungsgrundlage. Das vorliegende Anwendungstool liefert hierzu eine Hilfestellung.

Dazu wurden innerhalb der Bearbeitung für alle drei Länder nationale Datengrundlagen zur Ökobilanzierung von Lärmschutzanlagen zusammengestellt, die in den jeweiligen nationalen Anwendungen enthalten sind:

- Decarbonoise_VersionCH.xlsx (Datengrundlage Ökobilanzdaten im Baubereich)
- Decarbonoise_VersionA.xlsx (Datengrundlagen der ASFiNAG/LCCo2 Tool)
- Decarbonoise_VersionD.xlsx (Datengrundlage ÖKOBAUDAT)

Unabhängig vom Datensatz, welcher der jeweiligen nationalen Ökobilanzierung zugrunde gelegt ist, wird im Folgenden die Bezeichnung *Anwendungstool DeCarboNoise* genutzt.

Das Anwendungstool DeCarboNoise ist mit dem Einsatz von sogenannten DEFAULT-Werten darauf ausgelegt bereits in frühen Planungsphasen von Lärmschutzsystemen eingesetzt zu werden.

Mit steigender Projektkonkretisierung kann es wiederholt zum Einsatz kommen, wobei die Projektfestlegungen sich in den entsprechenden Konkretisierungen für die Berechnungsgrundlagen (Mengen und Massen) und durch Beeinflussung bzw. Veränderung von Berechnungsparametern widerspiegeln können.

1.2 Modellierte Lärmschutzanlagen

Im vorliegenden Anwendungstool DeCarboNoise können Lärmschutzanlagen (LSA) betrachtet werden, welche **Lärmschutzwände und Lärmschutzwälle (inklusive Steilwälle)** beinhalten (vgl. Bild 1).

Tröge, Einhausungen und Tunnel werden als Sonderbauwerke mit zusätzlichen Anforderungen nicht betrachtet, ebenso tiefe Bewuchsstreifen („Grünstreifen“), welche keine Bauwerke darstellen. Damit lassen sich die Lärmschutzsysteme nach ihrer Bauweise in folgende Typen unterteilen:

- Modulbauweise mit Pfostensystem (im Anwendungstool DeCarboNoise *Wandsystem modular*);
- Massivbauweise (im Anwendungstool DeCarboNoise *Wandsystem massiv*)

- Begrünte Steilwälle (Tragkonstruktion vorhanden / konstruktiver Einsatz der Bepflanzung)
- Lärmschutzwälle (Schüttung, mit / ohne Böschungsbefestigung)

Als rechnerische Kombination der Berechnungsergebnisse lassen sich damit auch Betrachtungen von Kombinationen aus Wand und Wall darstellen.

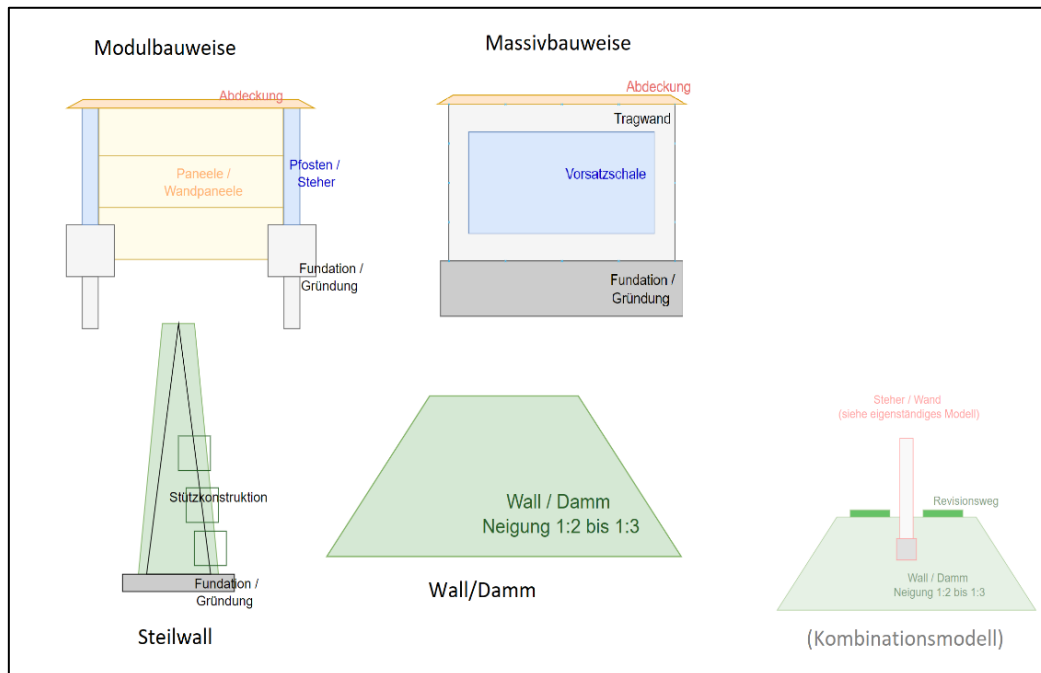


Bild 1: Modellierte Lärmschutzanlagen

1.3 Einsatzbereiche des Tools

Das Anwendungstool DeCarboNoise unterstützt drei grundsätzliche Anwendungsfälle:

1.3.1 Anwendungsfälle Neubau und Lärmsanierung

Sowohl im Fall von Neu- und Ausbauplanung von Straßenquerschnitten sowie bei der Lärmsanierung kann das Anwendungstool DeCarboNoise zum Einsatz kommen (Anwendungsfälle Neubau und Lärmsanierung).

Default-Angaben können genutzt werden, um in frühen Phasen der LS-Planung (dh. schalltechnische Dimensionierung liegt vor) eine erste Einschätzung auf Fragestellungen zur Nachhaltigkeit der geplanten LS-Anlage zu gewinnen.

Das Anwendungstool DeCarboNoise unterstützt damit bei der Entscheidung für den später zu realisierenden LS-Anlagentyp.

1.3.2 Anwendungsfall Ersatzbau

Einen zweiten Anwendungsfall stellt der Ersatzbau von LS-Anlagen oder Teilen davon dar.

Fragestellungen zu Entscheidungen über die Materialität beim Austausch von Bauteilen wie Wandpaneelen und Abdeckungen können unterstützt werden, wenn die Lebensdauer nicht austauschbedürftiger Bauteile (z. B. Fundament und Pfosten) auf deren erwartete Restlebensdauer reduziert wird.

1.3.3 Anwendungsfall Variation der Lebensdauer

Durch Variation der Lebensdauer einzelner Bauteile können Einflüsse auf das Gesamtergebnis aufgezeigt und so die Bandbreite der erwartbaren Entwicklung aufgezeigt werden. Dies trägt zu robusteren Entscheidungsgrundlagen bei und stellt damit einen dritten Anwendungsfall dar.

2. Aufbau des Tools

Dieses Handbuch erläutert die verschiedenen Elemente des Anwendungstools zur Abschätzung von Treibhausgasemissionen sowie Lebenszykluskosten von Lärmschutzsystemen (LSS) und dient als Anleitung für die Anwendung dieses Tools. Das Anwendungstool DeCarboNoise gliedert sich allgemein in den Eingabe-Bereich und den Ausgabe-Bereich. Im Eingabe-Bereich werden alle Angaben zum Projekt und zum Bauwerk getroffen, die in die Berechnung der Kennwerte einfließen. Die Berechnung erfolgt anschließend im Hintergrund des Tools, der – bei Bedarf – für Anwendende gesperrt werden kann. Im Ausgabe-Bereich werden die Berechnungsergebnisse dargestellt.

Die Bereiche sind in unterschiedliche Tabellenblätter unterteilt. Einen Überblick über die grundsätzlichen Zusammenhänge gibt das folgende Bild.

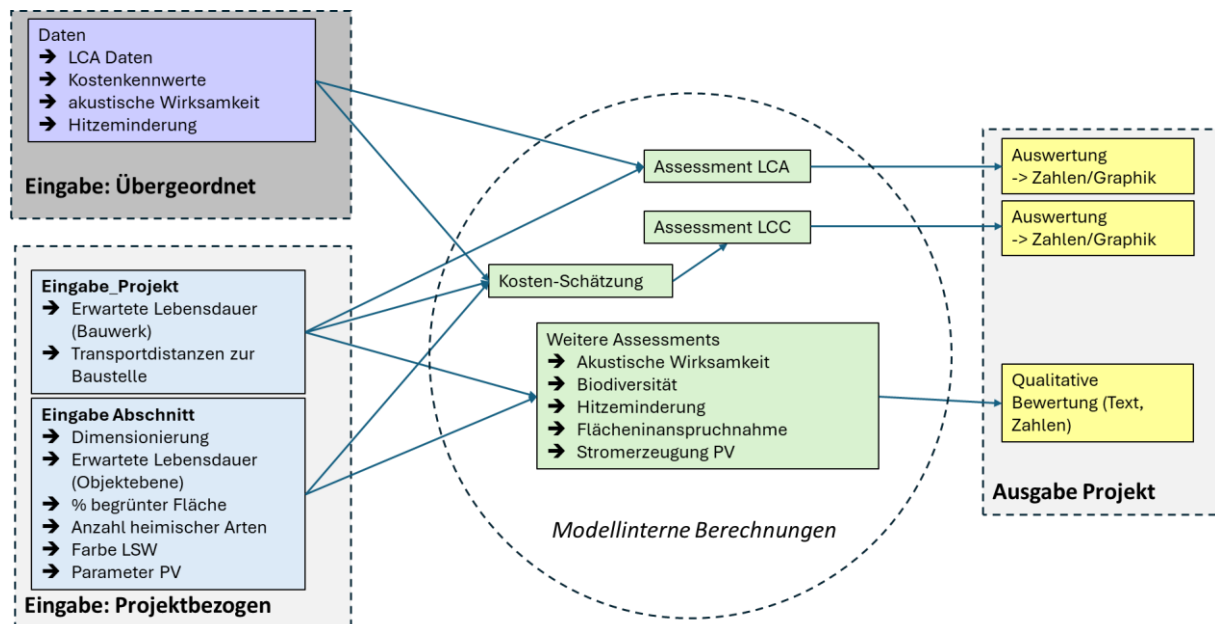


Bild 2: Überblick über die Zusammenhänge im Tool

Die in Bild 2 grün dargestellten Berechnungen finden in den ebenfalls grün markierten Tabellenblättern im Tool statt (KOSTENSCHÄTZUNG, ASSESSMENT_LCA, ASSESSMENT_LCC, WEITERE ASSESSMENTS).

In den Tabellenblättern, die grau angelegt sind, sowie in Tabellenblatt DATEN sind die benötigten Datengrundlagen hinterlegt.

3. Nutzung und Anwendung

3.1 Überblick und Grundsätzliches

Die Bereiche sind in unterschiedliche Tabellenblätter unterteilt. Einen Überblick über die Ein- und Ausgabeblätter sowie die enthaltenen Berechnungsgrundlagen gibt das folgende Bild 3. In der Folge werden die einzelnen für Anwendende wichtigen Tabellenblätter vorgestellt.

Hinweise:

Manche Parameter stehen untereinander in Zusammenhang, wenn sich Angaben auf mehrere Objekte oder Bereiche beziehen (Beispiel: Länge des Abschnitts kann sich auf mehrere bauliche Objekte beziehen). Zudem dienen einige Parameter zur Berechnung eines Zwischenwertes, indem sie bereits angegebene Werte direkt verrechnen (Beispiel: Volumen eines Objektes aus seinen geometrischen Abmessungen).

Die Parameter, die mit einem hellblauen Hintergrund gekennzeichnet sind, können von Anwendenden mit freien Werten versehen werden. Je mehr Angaben hier gemacht werden, umso aussagekräftiger sind die Berechnungsergebnisse des Anwendungstools.

Zudem gibt es Parameter, die eine voreingestellte Auswahl an möglichen Werten über ein Drop-Down-Menü bereitstellen. Diese sind mit einem grauen Hintergrund gekennzeichnet. Das Drop-Down-Menü wird mit Auswahl der Zelle geöffnet.

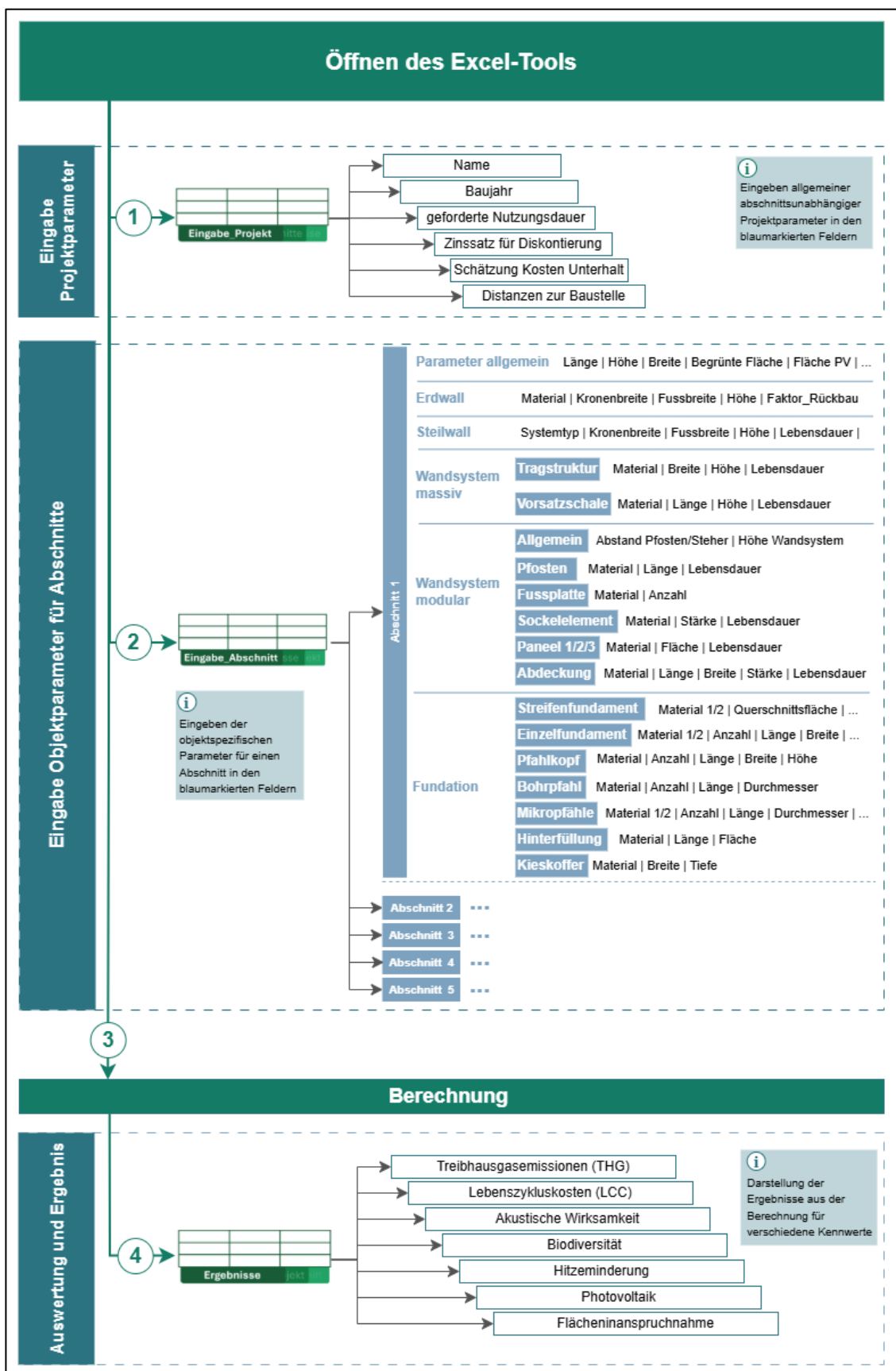


Bild 3: Anwendungsablauf

3.2 Tabellenblatt „Eingabe_Projekt“

Im Eingabe-Bereich werden zunächst allgemeine Projektparameter angegeben, die dann um konkrete technische Parameter zum Bauwerk in den jeweiligen Abschnitten ergänzt werden. Die Angaben zum Projekt im Excel-Tabellenblatt „EINGABE_PROJEKT“ stellen übergeordnete Informationen dar, die sich auf das gesamte Vorhaben beziehen.

Allgemeine Parameter zum Projekt		Parameterwerte		
1	Name	Eingabe	Einheit	Kommentar
3	Baujahr			Textfeld
4	Geforderte Nutzungsdauer	80	Jahre	Zur Schätzung des Ersatzes von Objekte innerhalb dieser Nutzungsdauer
5				
6	Zinssatz für Diskontierung (Netto-Zins)	2%	Prozent	Für die Schätzung der Lebenszykluskosten (Default-Wert: bei Bedarf überschreiben)
7	Schätzung Kosten Unterhalt/kleinere Instandhaltung in % der Baukosten		Prozent	Für die Schätzung der Lebenszykluskosten
8				
9				
10	Geschätzte Transportdistanzen zur Baustelle (vom Material/Bauteilhersteller)			
11	Pfosten	150	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
12	Umweltwand (nur Stahlgerüst)	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
13	Gabionen (nur Stahlkörbe)	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
14	Paneele - Holz	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
15	Paneele - Aluminium/Stahl	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
16	Paneele - Beton	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
17	Paneele - Lehm-Schilf	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
18	Paneele - Glas	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
19				
20				
21				
22				
23				
24				

Tabellenblätter mit spezifischen Funktionen

Bild 4: Benutzeroberfläche des Tabellenblatts „Eingabe_Projekt“

Dazu gehören die Parameter

- **Name**
Dient als kontextuelle Information.
- **Baujahr**
Dient als kontextuelle Information.
- **Geforderte Nutzungsdauer**
Eingangsgroße für die Berechnung der Lebenszykluskosten. Hieraus ergibt sich eine Schätzung des Ersatzes von Bauelementen/Objekten und in Verbindung mit dem Zinssatz eine Berechnung der Diskontierung der Lebenszykluskosten.
- **Zinssatz für Diskontierung**
Eingangsgroße für die Berechnung der Lebenszykluskosten. In Verbindung mit der geforderten Nutzungsdauer erfolgt die Berechnung der Diskontierung der Kosten.
- **Schätzung Kosten Unterhalt/kleinere Instandhaltungen**
Eingangsgroße für die Berechnung der Lebenszykluskosten.
- **Schätzung Transportdistanzen von Material bzw. Bauteilen zur Baustelle**
Die Transportdistanzen nehmen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen bei der Herstellung.

3.3 Tabellenblatt „Eingabe_Abschnitt“

Nach Eingabe der Projektparameter müssen konkrete technische Angaben zum Bauwerk im Excel-Sheet „Eingabe_Abschnitt“ gemacht werden. In diesem Tabellenblatt werden für verschiedene Abschnitte des Lärmschutzsystems, die sich beispielsweise durch unterschiedliche konstruktive Eigenschaften abgrenzen, individuell parametrisiert.

Das Anwendungstool DeCarboNoise wurde für die Eingabe von fünf Abschnitten konzipiert. Damit können unterschiedliche Teilbereiche einer Anlage abgebildet werden, z.B. unterschiedliche Höhen und/oder unterschiedliche Materialkombinationen aufeinanderfolgender Teilbereiche (z.B. aufgrund von LSA-Teilen auf Bauwerken o.ä.). Die fünf Abschnitte können aber auch zum Variantenvergleich unterschiedlicher Materialien desselben Bauwerks oder unterschiedlicher Typen von Lärmschutzanlagen verwendet werden, wie dies im Eingabebeispiel erfolgte.

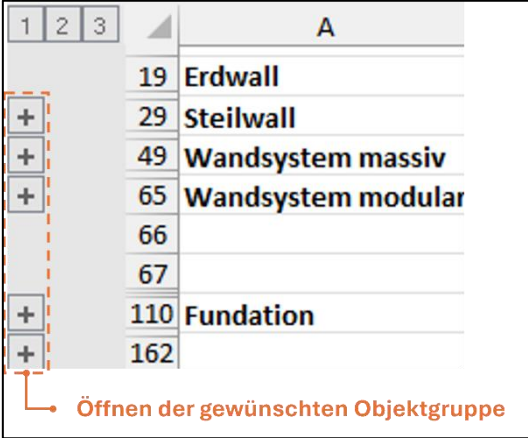
Die angelegten Abschnitte starten in den Zeilen 2, 166, 330, 494 und 658. Es besteht die Möglichkeit, diesen Abschnitten Namen zu geben, indem man diese in die jeweiligen Zellen in Spalte A schreibt (und damit „Abschnitt 1“ etc. überschreibt). Diese Namen erscheinen dann auch in der Auswertung im Tabellenblatt „Ergebnisse“.

Jeder Abschnitt ist in verschiedene Objektgruppen unterteilt, die einen bestimmten konstruktiven Teil eines Lärmschutzsystems abbilden. Innerhalb der Objektgruppen werden dann Objekte, also die technischen Bestandteile einer Objektgruppe, weiter differenziert. Die Foundation (Objektgruppe) kann sich beispielsweise wahlweise aus Streifenfundamenten (Objekt), Einzel-fundamenten (Objekt) und Bohrpfählen (Objekt) zusammensetzen. Für jeweils diese Objekte werden dann die Geometrie- und Materialparameter sowie weitere Parameter mit Werten versehen.

	Objektgruppen	Objekte	Parameter	Parameterwerte	Parametereinheit
	A	B	C	D	E
1			Name	Formel	Einheit
2	Abschnitt 1				
3	Parameter allgemein				
4			Länge		1000 m
5			Höhe	Eingabe freier Werte	7 m
6			Breite der technisch versiegelten Fläche		0,9 m
7			Wandfläche (theoretisch)		7000 m ²
8			Flächeninanspruchnahme	Berechnung eines Zwischenwertes	900 m ²
9			Anteil begrünte Fläche im Planungszustand mit Vollbewuchs		0% Prozent
10			Regionalität der Bepflanzung	mittel	
11			Gesamtfarbeindruck der Lärmschutzwand	dunkel	
12			Fläche PV-Module Position 1		0 m ²
13			Fläche PV-Module Position 2		0 m ²
14			Installierte Leistung Position 1		0 kWp/m ²
15			Installierte Leistung Position 2		0 kWp/m ²
16			Ausrichtung PV-Modul Position 1		
17			Ausrichtung PV-Modul Position 2		

Bild 5: Benutzeroberfläche des Tabellenblatts „Eingabe_Abschnitt“

Durch das Klicken der Symbole „+“ und „-“ am Rand des Tabellenblatts können die verschiedenen Objektgruppen geöffnet und geschlossen werden. Dies dient der Gruppierung und der Übersichtlichkeit der Darstellung.



1	2	3	A
			19 Erdwall
+			29 Steilwall
+			49 Wandsystem massiv
+			65 Wandsystem modular
			66
			67
+			110 Foundation
+			162

Öffnen der gewünschten Objektgruppe

Bild 6: Öffnen und Schließen von Objektgruppen

Ein Abschnitt gliedert sich in die folgenden Objektgruppen, wobei zunächst jeweils allgemeine Parameter festgelegt werden, die sich auf den gesamten Abschnitt beziehen und damit teilweise auf die verschiedenen Objektgruppen vererbt werden. Anschließend können nach Auswahl des LS-Typs im Abschnitt für die konstruktiven Elemente des LSS Angaben gemacht werden:

- **Parameter allgemein**
Enthält allgemeine Parameter zur Beschreibung der geometrischen Abmessungen des Abschnitts und der vorgesehenen PV-Module.
- **Erdwall**
Enthält Parameter zu Beschreibung der geometrischen Abmessungen und des Materials der erdbaulichen Konstruktion.
- **Steilwall**
Enthält Parameter zu Beschreibung der geometrischen Abmessungen und des Materials der Steilwallkonstruktion. Wird unterteilt in die Objekte *Umweltwand/Gabionen* und *andere Typen*.
- **Wandsystem massiv**
Enthält Parameter zu Beschreibung der geometrischen Abmessungen, der Materialien und der Lebensdauer des massiven Wandsystems. Wird unterteilt in die Objekte *Tragstruktur* und *Vorsatzschale*.
- **Wandsystem modular**
Enthält Parameter zu Beschreibung der geometrischen Abmessungen, des Materials und der Lebensdauer des modularen Wandsystems. Es können allgemeine Angaben

und Angaben zu den Objekten *Pfosten*, *Fussplatte*, *Sockelelement*, zu verschiedenen *Paneelen* und zur *Abdeckung* gemacht werden.

- **Foundation**

Enthält Parameter zu Beschreibung der geometrischen Abmessungen und der Materialien der Foundation. Wird unterteilt in die Objekte *Streifenfundament*, *Einzelfundament*, *Pfahlfundament* (mit den Teilobjekten *Pfahlkopf*, *Bohrpfahl* und *Mikropfähle*), *Hinterfüllung* und *Kieskoffer*.

Ein Zusammenfassen z.B. eines Streifenfundamentes mit den Angaben in der Objektklasse Wandsystem massiv wäre damit ebenfalls möglich, die Objektklasse Foundation bliebe –bei Vernachlässigung der Sauberkeitsschicht- dann leer.

Werden in einem Abschnitt mehrere Objekte mit ihren Objektklassen eingegeben, werden die Ergebnisse summiert.

3.4 Tabellenblatt „Ergebnisse“

Auf die angegebenen Parameterwerte greift das interne Berechnungsmodell zu und errechnet verschiedene Kenngrößen zu den Treibhausgasemissionen und Lebenszykluskosten. Diese werden im Ausgabe-Bereich über das Excel-Tabellenblatt „Ergebnisse“ numerisch und graphisch dargestellt. Zudem werden Hinweise zu akustischer Wirksamkeit, Biodiversität, Hitzeminderung, Photovoltaik und Flächeninanspruchnahme gegeben.

Hinweis:

Es besteht die Möglichkeit die Ergebnisse im Tabellenblatt ERGEBNISSE zu manipulieren. Es wird daher empfohlen das Anwendungstool jeweils in der Ausgabe-Grundversion anzuwenden, um ungewollte Änderungen am Ergebnis zu vermeiden.

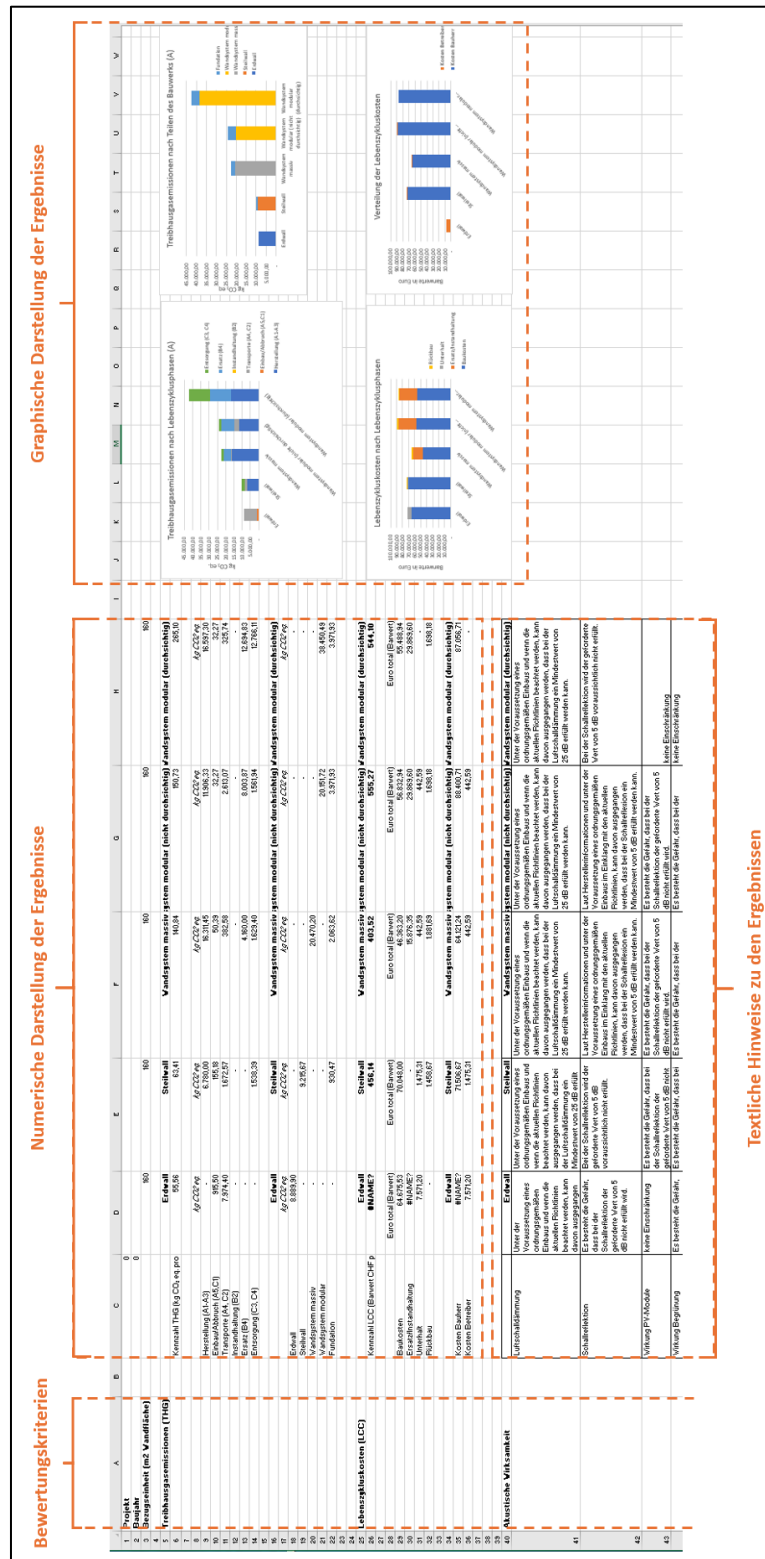


Bild 7: Benutzeroberfläche des Tabellenblatts „Ergebnisse“

4. Weitere Hinweise

4.1 Systemgrenzen

Die Systemgrenze der Ökobilanzierung der Schweizer «Ökobilanzdaten im Baubereich» beinhaltet die Herstellungs- und Entsorgungsphase der Materialien, sowie Herstellung, Unterhalt, Entsorgung und Betrieb der Baumaschinen (siehe Bild 8). Die Hintergrundprozesse beinhalten die Material- und Energiebereitstellung, sowie die Transporte. In der Herstellungsphase wird die Produktion der Materialien anhand der Rohstoff- und Energieprozessen bilanziert. Die Entsorgungsphase beinhaltet je nach Material die Deponierung und Verbrennung am Ende des Lebenszyklus. Die Transporte der Materialien zur Baustelle bzw. von der Baustelle zur Entsorgung/Recycling werden separat berücksichtigt ebenso wie die Treibhausgasemissionen des Einbaus der Baustoffe auf der Baustelle. Beim Einbau auf der Baustelle wird in der Schweizer Version nur der Aushub betrachtet aufgrund der Daten aus Kytzia et al. (2024).

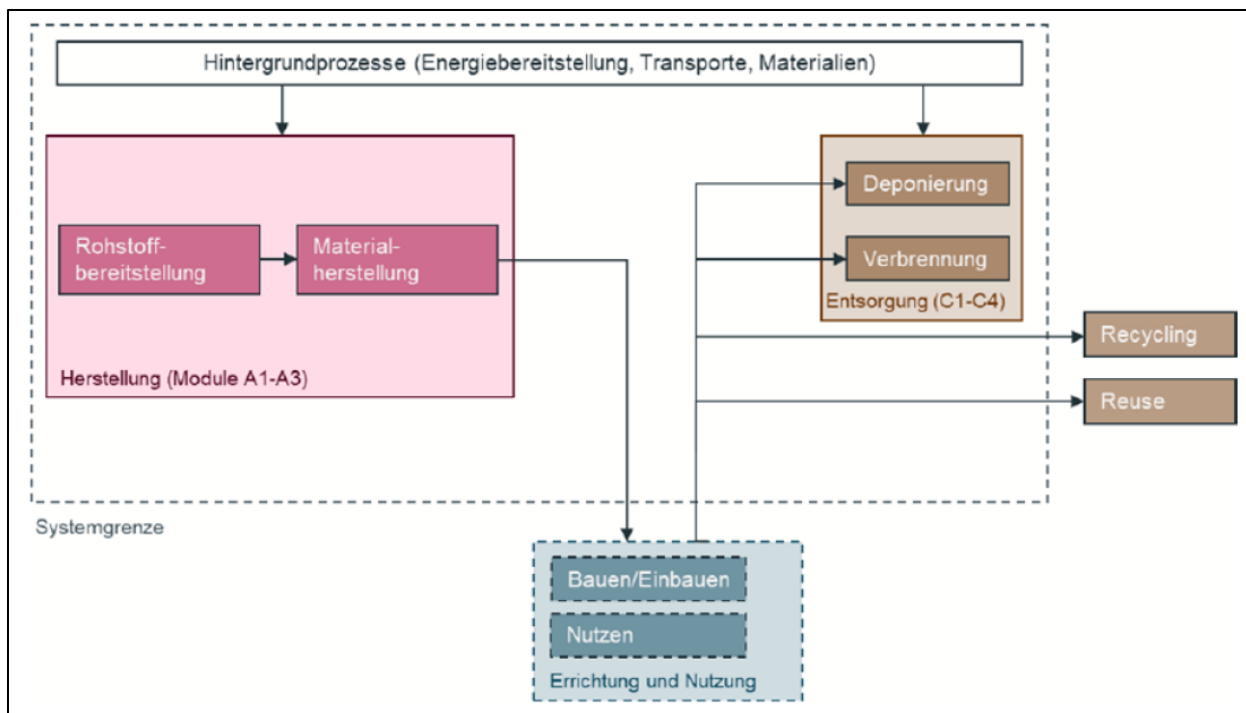


Bild 8: Darstellung des Systemgrenze und der darin enthaltenen Prozesse der Schweizer Ökobilanzdaten im Baubereich (Quelle: Frischknecht 2022)

Die Systemgrenzen der Daten zu Treibhausgas-Emissionen in Österreich und der Schweiz weichen teilweise ab. Im GWP-Katalog der ASFiNAG (LCCo2 Tool) werden bei vielen Datensätzen die Transporte zur Baustelle und der Einbau mitberücksichtigt. Teilweise ist in den Daten zur Entsorgung (C1-4) ebenfalls der Transport enthalten.

Wie im GWP-Katalog der ASFiNAG (LCCo2 Tool) basieren auch die Daten aus der ÖKOBAUDAT auf Umweltproduktdeklarationen (EPDs). Hier kann die Systemabgrenzung variieren: Einige EPDs berücksichtigen auch den Einbau oder die Transporte zur Baustelle (siehe dazu Tabelle im Anhang). Alle EPDs berücksichtigen aber die Module A1 bis A3.

4.2 Default-Werte der Lebensdauer

Default-Werte der Lebensdauer sind als Mittelwerte aus den Angaben in der folgenden Tabelle dargestellt. Die zugrundeliegenden Angaben aus der Literatur sind ebenfalls dargestellt.

Tabelle 1: Default-Werte der Lebensdauer von Bauteilen (Mittelwerte, aufgerundet)

Objekt	Material	Lebensdauer [Jahre]	Quelle*	Mittelwert, aufgerundet [Jahre]
Gründung	Beton	100	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	100
Fundamente	Stahlbeton	100	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	75
Fundamente	Stahlbeton	>50	BMWSB (2017)	
Pfosten / Steher	Stahl	<60	ASFINAG (2023), S. 24	45
Pfosten / Steher	Stahl	20 - 25	Oltean-Dumbrava (2010)	
Pfosten / Steher	Stahl	50	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	
Pfosten / Steher	Beton	40	Oltean-Dumbrava (2010)	40
Pfosten / Steher	Stahlbeton	60	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	54
Pfosten / Steher	Stahlbeton	50	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	
Pfosten / Steher	Stahlbeton	50	Morgan et al. (2001)	
Pfosten / Steher	Weide (Holz)	25	Oltean-Dumbrava (2010)	25
Pfosten / Steher	Schnittholz	20 - 40	Oltean-Dumbrava (2010)	30
Pfosten / Steher	Holz	30	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Pfosten / Steher	Fiberglass	50	Morgan et al. (2001)	50
Paneel / Kasette	Aluminium	30	Oltean-Dumbrava (2010)	32
Paneel / Kasette	Aluminium	25	Morgan et al. (2001)	
Paneel / Kasette	Aluminium	40	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Paneel / Kasette	Aluminium	<35	ASFINAG (2023), S. 24	
Paneel / Kasette	Aluminium	30	Duschen und Jorre (2021), S. 4	
Paneel / Kasette	Stahlbeton	60	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	47
Paneel / Kasette	Stahlbeton	50	Morgan et al. (2001)	
Paneel / Kasette	Stahlbeton	30	Duschen und Jorre (2021), S. 4	
Paneel / Kasette	Holzbeton	<35	ASFINAG (2023), S. 24	35
Paneel / Kasette	Holz	15	Duschen und Jorre (2021), S. 4	24

Objekt	Material	Lebens- dauer [Jahre]	Quelle*	Mittelwert, aufgerun- det [Jahre]
Paneel / Kasette	Holz	20	ASFINAG (2023), S. 24	
Paneel / Kasette	Holz	30	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Paneel / Kasette	Holz (Tropen- hartholz sowie Nadel- holz/Weichholz)	25	Morgan et al. (2001)	
Paneel / Kasette	Holz	20	RVS (2011) SMART NOISE	
Paneel / Kasette	Holz	30	Werner (2019)	
Paneel / Kasette	Acryl- / Verbund- glas	30	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	30
Paneel / Kasette	Kunststoff	25	Morgan et al. (2001)	25
Paneel / Kasette	Stahl	30	Morgan et al. (2001)	30
Paneel / Kasette	Alle Paneele NICHT Holz, d.h. aus sonsti- gen Materialien	40	RVS (2011)	k.A.
			SMART NOISE	
Paneel / Kasette	Schilf-Lehm	20	ASFINAG (2023), S. 24	20
Paneel / Kasette	Mauerwerk	40	Morgan et al. (2001)	40
Paneel / Kasette	Beton	50	Morgan et al. (2001)	50
Paneel / Kasette	Lavabeton	30	Werner (2019)	30
Vorsatzschale	(Absorptionsele- ment)	>30	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	30
Vorsatzschale	Holzbeton	50	Morgan et al. (2001)	50
Steilwall begrünt	Rau-Umwelt- wand	40	ASFINAG (2023), S. 24	54
Steilwall begrünt	Rau-Umwelt- wand	60	Duschen und Jorre (2021), S. 3	
Steilwall begrünt	Rau-Umwelt- wand	60	ABBV (2010), Anlage Tabelle 5	
Verankerungen	Stahl	50	ASTRA, Fachhandbuch Trasse/Umwelt	50
Damm	Erde	100	ASFINAG (2023), S. 24	84
Böschung- befestigung	Rasen einschl. Oberboden	100	ABBV (2010), Anlage Tabelle 11	
Böschung	Inkl. Gras/Begrü- nung	>50	Morgan et al. (2001)	
Böschung- befestigung	Pflaster	110	ABBV (2010), Anlage Tabelle 11	110

*Literaturangaben vgl. Bericht D4.2

4.3 Weiterentwicklung und Pflege des Tools

Hinweise zur möglichen Weiterentwicklung und den notwendigen Anpassungen werden im Tabellenblatt EINFÜHRUNG gegeben, die hier nochmals genannt werden:

- Das Tabellenblatt "Daten" enthält länderspezifisch angepasste Grundlagendaten, die periodisch aktualisiert werden sollten. In der schweizerischen und der deutschen Version sind die Datengrundlagen im nächsten Tabellenblatt dokumentiert. In der österreichischen Version beziehen sich die Datengrundlagen auf den GWP-Katalog des AS-FiNAG (LCCo2 Tool), der dort in einer separaten Excel-Datei bezogen werden kann.
- Das Tabellenblatt „Bauteile“ enthält die Datengrundlagen der Abschätzung der THG-Emissionen der Bauteile. Die Annahmen zu den Materialzusammensetzung sind in allen drei Ländern gleich, werden aber mit den länderspezifischen THG-Daten verknüpft. Diese Daten können in diesem Tabellenblatt angepasst werden, sofern sich die Zellenbezüge nicht verändern. Diese Anpassungen sind dann sofort im Tool verfügbar. Wenn man neue Bauteile definieren und beschreiben möchte, dann sollten ebenfalls Verknüpfung mit dem Tabellenblatt „Daten“ erstellt werden. Einerseits sollten die Baumaterialdaten aus diesem Tabellenblatt verwendet werden, indem man den Namen des Datensatzes aus dem Tabellenblatt „Daten“ verwendet und die Daten mit der EXCEL®-Version SVERWEIS aus dieser Tabelle übernimmt (mit dem Namen des Baumaterials als Schlüssel). Andererseits sollte das Bauteil neu im Tabellenblatt „Daten“ aufgeführt werden mit den entsprechenden neuen Daten zu den THG-Emissionen. In einem letzten Schritt muss der Name des Bauteils in den Dropdown-Listen verfügbar gemacht werden (siehe unten).
- Die Default-Werte zu den Kosten werden im Tabellenblatt „Kostendaten“ verwaltet. Die Kosten können dort mit neuen Daten überschrieben werden. Eine Erweiterung ist auf diesem Datenblatt nicht möglich. Kostenkennwerte können aber auch direkt in das Tabellenblatt „Daten“ eingefügt werden in den Spalten L, M und N. Dabei muss die Bezugseinheit des jeweiligen Baumaterials bzw. Bauteils berücksichtigt werden (Spalte C).
- Werden zukünftig neue Datensätze hinzugefügt, dann müssen sie in den "Dropdown"-Listen der entsprechenden Eingabefelder zur Verfügung gestellt werden. Daher sind die Dropdownlisten im gleichnamigen Tabellenblatt DROPDOWNLISTE zugänglich. Es ist aber auch eine entsprechende Anpassung im Tabellenblatt "Eingabe_Abschnitt" notwendig (siehe MS-Excel®-Hilfe zu Dropdownlisten).
- Die Textbausteine für die Bewertung können jederzeit im Tabellenblatt „Textbausteine“ angepasst werden.

5. Berechnungsbeispiel

5.1 Einführung

Im Folgenden sind Screenshots zur Eingabe des o.g. Beispiels enthalten. Gerechnet wurde mit der österreichischen Version des Anwendungstools (>>DecarboNoise_VersionA.xlsx<<).

Den Abschnitten wurden dabei unterschiedliche LS-Systeme zugrunde gelegt, so dass das Ergebnisblatt den Vergleich der Lärmschutzanlagen zeigt.

5.2 Eingabe_Projekt

	A	B	C	D
1	Name	Eingabe	Einheit	Kommentar
2	Name	Optional		Textfeld
3	Baujahr	Optional		Textfeld
4	geforderte Nutzungsdauer	80	Jahre	Zur Schätzung des Ersatzes von Objekte innerhalb dieser Nutzungsdauer
5				
6	Zinssatz für Diskontierung (Netto-Zins)	2%	Prozent	Für die Schätzung der Lebenszykluskosten (Default-Wert: bei Bedarf überschreiben)
7	Schätzung Kosten Unterhalt/kleinere Instandhaltung in % der Baukosten	0,5%	Prozent	Für die Schätzung der Lebenszykluskosten / nicht leer lassen
8				
9				
10	Geschätzte Transportdistanzen zur Baustelle (vom Material/Bauteilhersteller)			
11	Pfosten	150	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
12	Umweltwand (nur Stahlgeländer)	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
13	Gabionen (nur Stahlgeländer)	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
14	Paneele - Holz	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
15	Paneele - Aluminium/Stahl	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
16	Paneele - Beton	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
17	Paneele - Lehm-Schilf	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
18	Paneele - Glas	200	km	Default-Werte: bei Bedarf überschreiben
19				

5.3 Eingabe_Abschnitt

5.3.1 Abschnitt 1

Im Beispiel als Erdwall ausgebildet:

	A	B	C	D	E	F
1		Name	Formel	Einheit	Kommentar	
2	Erdwall	(es kann ein Name des Abschnitts eingefügt werden, indem man den Begriff "Abschnitt 1" in Zeile A2 überschreibt.				
3	Parameter allgemein					
4		Länge		40 m	Länge des Abschnitts	
5		Höhe		4 m	durchschnittliche Höhe des Abschnitts (notwendig für die Berechnung der Bezugseinheit D7)	
6		Breite der technisch versiegelten Fläche		14 m	durchschnittliche Breite des Fundaments (inkl. Fläche zur Bepflanzung) zur Berechnung der Flächeninanspruchnahme (D8)	
7		Wandfläche (theoretisch)		160 m ²	Wert als Bezugseinheit zum Vergleich verschiedener Lärmschutzsysteme	
8		Flächeninanspruchnahme		560 m ²	Berechneter Wert für die Bewertung	
9		Anteil begrünte Fläche im Planungszustand mit Vollbewuchs		100%	Prozent	bezogen auf die gesamte Fläche (beidseitig); die Pflanzenausfallrate wird nicht berücksichtigt
10		Regionalität der Bepflanzung	sehr artenreich			Einfache Klassifizierung (wenig, mittel, sehr artenreich)
11		Gesamteindruck der Lärmschutzwand	hell			Bei unterschiedlichen Paneelen bitte den Gesamteindruck einschätzen
12		Fläche PV-Module Position 1		0 m ²	beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite	
13		Fläche PV-Module Position 2		0 m ²	beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite	
14		Installierte Leistung Position 1		0 kWp/m ²		
15		Installierte Leistung Position 2		0 kWp/m ²		
16		Ausrichtung PV-Modul Position 1	vertikal			
17		Ausrichtung PV-Modul Position 2	geneigt (45 Grad)			
18						
19	Erdwall					
20		Material	Aushub unverschlusst	-	Keine Auswahl möglich	
21		Länge		40 m	Wert aus Zeile D4	
22		Kronenbreite		2 m	durchschnittliche Kronenbreite im Querschnitt	
23		Fußbreite		14 m	durchschnittliches maximales Grundmaß im Querschnitt	
24		Höhe		4 m	kann abweichen von der Gesamthöhe der Wand bei kombinierten Wänden (z.B. einer Lärmschutzwand auf einem Erdwall)	
25		Oberfläche Wallvolumen (ohne Grundfläche)		656,888 m ²	maximal begrünte Oberfläche	
26		Volumen Neubau		1280 m ³		
27		Faktor_Rückbau		1	Korrekturfaktor, falls der Erdwall am Ende der Nutzungsdauer nicht oder nur teilweise rückgebaut wird. Faktor 0 bedeutet	
28		Volumen Rückbau		0 m ³		
29	Stellwall					

5.3.2 Abschnitt 2

Im Beispiel als Steilwall mit Fundament ausgebildet:

	A	B	C	D	E	F
164						
165						
166						
167						
168						
169						
170						
171						
172						
173						
174						
175						
176						
177						
178						
179						
180						
181						
182						
183						
184						
185						
186						
187						
188						
189						
190						
191						
192						
193						
194						
195						
196						
197						
198						
199						
200						
201						
202						
203						
204						
205						
206						
207						
208						
209						
210						
211						
212						
213						
214						
215						
216						
217						
218						
219						
220						
221						
222						
223						
224						

5.3.3 Abschnitt 3

Im Beispiel als Wandsystem massiv mit Streifenfundament ausgebildet:

	A	B	C	D	E	F
326						
329						
330	Wandsystem massiv	<i>(es kann ein Name des Abschnitts eingefügt werden, indem man den Begriff "Abschnitt 3" in Zelle A330 überschreibt.)</i>				
331	Parameter allgemein					
332			Länge	40 m		Länge des Abschnitts
333			Höhe	4 m		durchschnittliche Höhe des Abschnitts (notwendig für die Berechnung der Bezugseinheit D7)
334			Breite der technisch versiegelten Fläche	2,5 m		durchschnittliche Breite des Fundaments (inkl. Fläche zur Bepflanzung) zur Berechnung der Flächenansprechnahme (D8)
335			Wandfläche (theoretisch)	160 m ²		Wert als Bezugseinheit zum Vergleich verschiedener Lärmschutzsysteme
336			Flächenansprechnahme	100 m ²		Berechneter Wert für die Bewertung
337			Anteil begrünte Fläche im Pflanzengraben mit Vollbewuchs	30% Prozent		bezogen auf die gesamte Fläche (beidseitig); die Pflanzenaufsaufnahme wird nicht berücksichtigt
338			Regionalität der Bepflanzung	mittel		Einfache Klassifizierung (wenig, mittel, sehr artenreich)
339			Lärmschutzwand	hell		Bei unterschiedlichen Paneelen bitte den Gesamteindruck einschätzen
340			Fläche PV-Module Position 1	36 m ²		beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite
341			Fläche PV-Module Position 2	0 m ²		beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite
342			Installierte Leistung Position 1	0,25 kW/p/m ²		
343			Installierte Leistung Position 2	0 kW/p/m ²		
344			Ausrichtung PV-Modul Position 1	vertikal		
345			Ausrichtung PV-Modul Position 2	geneigt (45 Grad)		
346						
347	Erdwall					
348	Steilwall					
377	Wandsystem massiv					
378			Material	Stahlbeton (100 kg/m ³ Bewehrung)	-	
379			Länge	40 m		Wert aus Zelle D4
380			Breite im Querschnitt	0,25 m		
381			Höhe	4 m		
382			Lebensdauer	80 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
383			Volumen Neubau	40 m ³		
384			Volumen Erneuerung	0 m ³		
385	Wandsystem massiv		Volumen Rückbau	40 m ³		
386			Material	Holzbeton (100 mm)	-	
387			Länge	40 m		
388			Höhe	4 m		
389			Lebensdauer	40 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
390			Fläche Neubau	160 m ²		m ² = Bezugseinheit für die Schätzwerte der THG-Emissionen der Bauteile
391			Fläche Erneuerung	160 m ²		
392			Fläche Rückbau	320 m ²		
393	Wandsystem modular					
407	Fundament					
408			Streifenfundament			
409			Material_1	Stahlbeton (150 kg/m ³ Bewehrung)	-	Material des Fundaments
410			Material_2	XO(A)	-	Material der Stabilitätsschicht; Keine Auswahl möglich
411			Länge	40 m		Wert aus Zelle D4
412			Streifenfundament	Querschnittliche Material_1	0,16 m ³	
413				Querschnittliche Material_2 (Magerbeton)	0,04 m ³	
414			Volumen_Material_1		6,4 m ³	
415			Volumen_Material_2		0,256 m ³	
416			Streifenfundament			
417			Streifenfundament			
418			Streifenfundament			
419			Streifenfundament			
420			Streifenfundament			
421			Streifenfundament			
422			Streifenfundament			
423			Streifenfundament			
424			Streifenfundament			
425			Streifenfundament			
426			Streifenfundament			
427			Streifenfundament			
428			Streifenfundament			
429			Streifenfundament			
430			Streifenfundament			
431			Streifenfundament			
432			Streifenfundament			
433			Streifenfundament			
434			Streifenfundament			
435			Streifenfundament			
436			Streifenfundament			
437			Streifenfundament			
438			Streifenfundament			
439			Streifenfundament			
440			Streifenfundament			
441			Streifenfundament			
442			Streifenfundament			
443			Streifenfundament			
444			Streifenfundament			
445			Streifenfundament			
446			Streifenfundament			
447			Streifenfundament			
448			Streifenfundament			
449			Streifenfundament			
450			Streifenfundament			
451			Streifenfundament			
452			Streifenfundament			
453			Streifenfundament			
454			Streifenfundament			
455			Streifenfundament			
456			Streifenfundament			
457			Streifenfundament			
458			Streifenfundament			
459			Streifenfundament			
460			Streifenfundament			
461			Streifenfundament			
462			Streifenfundament			
463			Streifenfundament			
464			Streifenfundament			
465			Streifenfundament			
466			Streifenfundament			
467			Streifenfundament			
468			Streifenfundament			
469			Streifenfundament			
470			Streifenfundament			
471			Streifenfundament			
472			Streifenfundament			
473			Streifenfundament			
474			Streifenfundament			
475			Streifenfundament			
476			Streifenfundament			
477			Streifenfundament			
478			Streifenfundament			
479			Streifenfundament			
480			Streifenfundament			
481			Streifenfundament			
482			Streifenfundament			
483			Streifenfundament			
484			Streifenfundament			
485			Streifenfundament			
486			Streifenfundament			
487			Streifenfundament			
488			Streifenfundament			
489			Streifenfundament			
490			Streifenfundament			

5.3.4 Abschnitt 4

Im Beispiel als Wandsystem modular (undurchsichtige Paneele) mit Bohrpfählen ausgebildet:

	A	B	C	D	E	F
493						
494	Wandsystem modular	<i>(es kann ein Name des Abschnitts eingefügt werden, indem man den Begriff "Abschnitt 4" in Zelle A494 überschreibt.)</i>				
495	Parameter allgemein					
496		Länge		40 m	Länge des Abschnitts	
497		Höhe		4 m	durchschnittliche Höhe des Abschnitts (notwendig für die Berechnung der Bezugseinheit DT)	
498		Breite der technisch verlegten Fläche		1,4 m	durchschnittliche Breite des Fundaments (inkl. Fläche zur Befestigung) zur Berechnung der Flächenanspruchnahme (D8)	
499		Wandfläche (theoretisch)		160 m ²	Wert als Bezugseinheit zum Vergleich verschiedener Lärmschutzsysteme	
500		Flächenanspruchnahme		56 m ²	Berechneter Wert für die Bewertung	
501		Anteil begrünte Fläche im Pflanzengraben mit Vollbewuchs		30%	Prozent	bezogen auf die gesamte Fläche (beidseitig); die Pflanzenauffallrate wird nicht berücksichtigt
502		Regionalität der Bepflanzung	mittel			Einfache Klassifizierung (wenig, mittel, sehr artenreich)
503		Lärmschutzrand	hell			Bei unterschiedlichen Paneelen bitte den Gesamteindruck einschätzen
504		Fläche PV-Module Position 1		36 m ²	beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite	
505		Fläche PV-Module Position 2		0 m ²	beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite	
506		Installierte Leistung Position 1		0,25 kWp/m ²		
507		Installierte Leistung Position 2		0 kWp/m ²		
508		Ausrichtung PV-Modul Position 1	vertikal			
509		Ausrichtung PV-Modul Position 2	geneigt (45 Grad)			
510						
511	Erdwall					
512	Steinwall					
513	Wandsystem massiv					
514	Wandsystem modular					
515		allgemein	Abstand der Pfosten/Steher	4 m		
516			Höhe des Wandsystems	4 m		
517			Material	HEA 180		
518			Lebensdauer	40 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
519		Steher	Länge Neubau	44 m		m = Bezugseinheit für die Schätzwerte der THG-Emissionen der Pfosten
520			Länge Erneuerung	44 m		
521			Länge Rückbau	88 m		
522			Material	Fussplatte HEA 180		
523			Anzahl Neubau	11 Stk.		Stk = Bezugseinheit für die Schätzwerte der THG-Emissionen der Fussplatten
524			Anzahl Erneuerung	11 Stk.		
525			Anzahl Rückbau	11 Stk.		
526			Material	Lärmschutzsockelbrett		
527			Stärke	0,2 m		durchschnittliche Stärke eines Sockelbretts
528			Lebensdauer	80 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
529			Volumen Neubau	6,4 m ³		
530			Volumen Erneuerung	0,00 m ³		
531			Volumen Rückbau	6,40 m ³		
532			Material	Beton_Holzbohlen (22cm)		
533			Fläche	128 m ²		Gesamtfläche Panel 1
534			Lebensdauer	40 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
535			Fläche Neubau	128 m ²		
536			Fläche Erneuerung	128,00 m ²		
537			Fläche Rückbau	256,00 m ²		
538			Material	Stahl (gelocht), Mineralwolle-Dämmstoff		
539			Fläche	0 m ²		Gesamtfläche Panel 1
540			Lebensdauer	30 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
541			Fläche Neubau	0 m ²		
542			Fläche Erneuerung	0,00 m ²		
543			Fläche Rückbau	0,00 m ²		
544			Material	Plexiglas (12cm)		
545			Fläche	0 m ²		Gesamtfläche Panel 1
546			Lebensdauer	30 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
547			Fläche Neubau	0 m ²		
548			Fläche Erneuerung	0,00 m ²		
549			Fläche Rückbau	0,00 m ²		
550			Material	Aluminiumblech		
551			Länge	40 m		Wert aus Zelle D4
552			Stärke	0,25 m		durchschnittliche Breite der Abdeckung
553			Lebensdauer	40 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
554			Volumen Neubau	0,01 m ³		
555			Volumen Erneuerung	0,01 m ³		
556			Volumen Rückbau	0,02 m ³		
557						
558						
559						
560						
561						
562						
563						
564						
565						
566						
567						
568						
569						
570						
571						
572						
573						
574						
575						
576						
577						
578						
579						
580						
581						
582						
583						
584						
585						
586						
587						
588						
589						
590						
591						
592						
593						
594						
595						
596						
597						
598						
599						
600						
601	Fundation					
602		Streifenfundament				
603		Isolierfundament				
604		Pfahlfundament				
605			Material	Stahlbeton (50 kg/m ³ Bewehrung)		
606			Anzahl	11 Stk.		Anzahl der Pfahlköpfe
607			Länge	0,8 m		
608			Breite	0,8 m		
609			Höhe	0,8 m		
610			Volumen	5,632 m ³		
611			Material	Stahlbeton (100 kg/m ³ Bewehrung)		
612			Anzahl	11 Stk.		Anzahl der Bohrpfähle
613			Länge	4 m		
614			Durchmesser	0,5 m		
615			Volumen	8,64 m ³		
616			Material_1	Fva. Bauspfähle		Keine Auswahl möglich
617			Material_2	Modifizierte mineralische Mörtel der Gruppe 2		Keine Auswahl möglich
618			Anzahl	0 Stk.		Anzahl der Mikropfähle
619			Länge	0 m		
620			Durchmesser_gesamt	0 mm		
621			Durchmesser_Mörtel	0 mm		
622			Volumen_Material 1	0,000000 m ³		
623			Volumen_Material 2	0,000000 m ³		
624						
625						
626						
627						
628						
629						
630						
631						
632						
633						
634						
635						
636						
637						
638						
639						
640						
641						
642						
643						
644						
645						
646						
647						
648						
649						
650						
651						
652						
653						
654						

5.3.5 Abschnitt 5

Im Beispiel als Wandsystem modular (mit durchsichtigen Paneelen) mit Bohrpfählen ausgebildet:

	A	B	C	D	E	F
656						
657						
658	Wandsystem modular	(es kann ein Name des Abschnitts eingefügt werden, indem man den Begriff "Abschnitt 5" in Zeile A658 überschreibt.				
659	Parameter allgemein					
660		Länge		40 m		Länge des Abschnitts
661		Höhe		4 m		durchschnittliche Höhe des Abschnitts (notwendig für die Berechnung der Beugeinheit DT)
662		Breite der technisch verziegelten Fläche		0,8 m		durchschnittliche Breite des Fundaments (inkl. Fläche zur Befestigung) zur Berechnung der Flächenanspruchnahme (D6)
663		Wandfläche (theoretisch)		160 m ²		Wert der Beugeinheit zum Vergleich verschiedener Lüftungssysteme
664		Flächenanspruchnahme		32 m ²		Berechneter Wert für die Bewertung
665		Anteil begrünte Fläche im Planungszustand mit Vollbewuchs		0% Prozent		bezogen auf die gesamte Fläche (beidseitig); die Pflanzensuffizienz wird nicht berücksichtigt
666		Regionalität der Bepflanzung	wenig			Einfache Klassifizierung (wenig, mittel, sehr artreich)
667		Lüftungswand	hell			Bei unterschiedlichen Paneelen bitte den Gesamteindruck einschätzen
668		Fläche PV-Module Position 1		0 m ²		beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite
669		Fläche PV-Module Position 2		0 m ²		beispielsweise Module auf der Krone oder an einer Seite
670		Installierte Leistung Position 1		0 kVp/m ²		
671		Installierte Leistung Position 2		0 kVp/m ²		
672		Ausrichtung PV-Modul Position 1	vertikal			
673		Ausrichtung PV-Modul Position 2	geneigt (45 Grad)			
674						
675	Erddamm					
676	Stellwand					
677	Wandsystem massiv					
678	Wandsystem modular					
679		allgemein	Abstand der Pfosten/Stäbe	4 m		
680			Höhe des Wandsystems	4 m		
681			Material	HEA 180		
682			Lebensdauer	40 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
683			Länge Neubau	44 m		m = Beugeinheit für die Schätzwerte der THG-Emissionen der Pfosten
684			Länge Erneuerung	44 m		
685			Länge Rückbau	88 m		
686			Material	Fussplatte HEA 180		
687			Anzahl Neubau	11 Stk.		
688			Anzahl Erneuerung	11 Stk.		Stk = Beugeinheit für die Schätzwerte der THG-Emissionen der Fussplatten
689			Anzahl Rückbau	11 Stk.		
690			Material	Lüftungsockelbrett		
691			Stärke	0,2 m		durchschnittliche Stärke eines Sockelelements
692			Lebensdauer	80 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
693			Volumen Neubau	6,4 m ³		
694			Volumen Erneuerung	0,00 m ³		
695			Volumen Rückbau	6,40 m ³		
696			Material	Polycarbonat (12cm)		
697			Fläche	128 m ²		Gesamtfäche Panel 1
698			Lebensdauer	40 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
699			Fläche Neubau	128 m ²		
700			Fläche Erneuerung	128,00 m ²		
701			Fläche Rückbau	256,00 m ²		
702			Material	Beton_Holzbeton (25cm)		
703			Fläche	0 m ²		Gesamtfäche Panel 1
704			Lebensdauer	30 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
705			Fläche Neubau	0 m ²		
706			Fläche Erneuerung	0,00 m ²		
707			Fläche Rückbau	0,00 m ²		
708			Material	Beton_Holzbeton (22cm)		
709			Fläche	0 m ²		Gesamtfäche Panel 1
710			Lebensdauer	30 Jahre		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
711			Fläche Neubau	0 m ²		
712			Fläche Erneuerung	0,00 m ²		
713			Fläche Rückbau	0,00 m ²		
714			Material	Aluminiumblech		
715			Länge	40 m		Wert aus Zelle D4
716			Stärke	0,25 m		durchschnittliche Breite der Abdeckung
717			Lebensdauer	40 Jahre		durchschnittliche Stärke der Abdeckung
718			Volumen Neubau	0,01 m ³		Hier muss immer ein Wert > 0 eingegeben werden
719			Volumen Erneuerung	0,01 m ³		
720			Volumen Rückbau	0,02 m ³		
721						
722						
723						
724						
725						
726						
727						
728						
729						
730						
731						
732						
733						
734						
735						
736						
737						
738						
739						
740						
741						
742						
743						
744						
745						
746						
747						
748						
749						
750						
751						
752						
753						
754						
755						
756						
757						
758						
759						
760						
761						
762						
763						
764						
765						
766						
767						
768						
769						
770						
771						
772						
773						
774						
775						
776						
777						
778						
779						
780						
781						
782						
783						
784						
785						
786						
787						
788						
789						
790						
791						
792						
793						
794						
795						
796						
797						
798						
799						
800						
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						
814						
815						
816						
817						
818						

5.4 Kostenschätzung

Die im Tabellenblatt KOSTENSCHÄTZUNG hinterlegten Angaben stellen eine Grundlage dar, um in der prototypischen Anwendung Ergebnisse darstellen zu können.

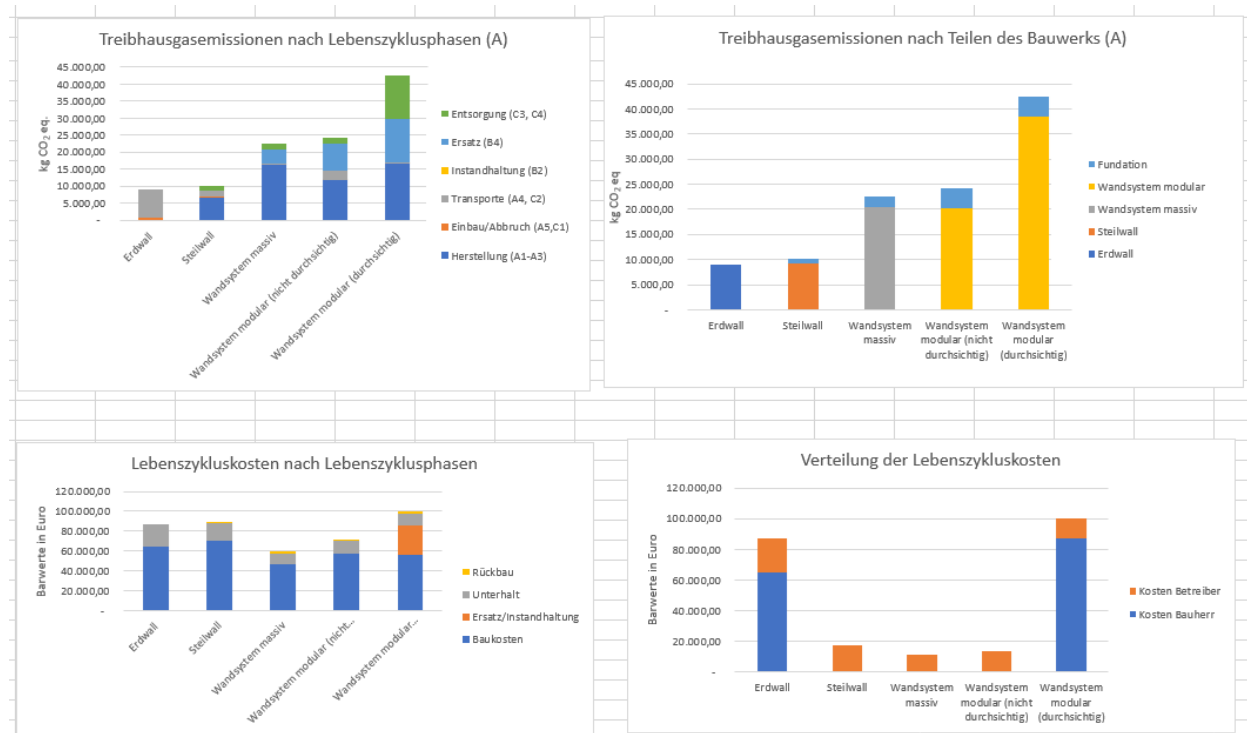
Die Angaben können von Anwendenden an länder- bzw. regionspezifisch übliche Werte angepasst werden.

5.5 Ergebnisse Berechnungsbeispiel

Rechnerische Ergebnisse:

	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Kennzahl THG (kg CO ₂ eq. pro Bezug)	55.56	80.57	140.84	150.73	265.10
	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.
Herstellung (A1-A3)	-	6'780.00	16'311.45	11'906.33	16'597.30
Einbau/Abbruch (A5,C1)	915.50	155.18	50.39	32.27	32.27
Transporte (A4, C2)	7'974.40	1'672.57	382.58	2'613.07	325.74
Instandhaltung (B2)	-	-	-	-	-
Ersatz (B4)	-	-	4'160.00	8'003.87	12'694.83
Entsorgung (C3, C4)	-	4'284.15	1'629.40	1'561.94	12'766.11
	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.
Erdwall	8'889.90	-	-	-	-
Steilwall	-	11'961.43	-	-	-
Wandsystem massiv	-	-	20'470.20	-	-
Wandsystem modular	-	-	-	20'151.72	38'450.49
Fundation	-	930.47	2'063.62	3'971.93	3'971.93
	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Kennzahl LCC (Barwert Euro pro Bezug)	451.54	456.14	403.52	555.27	544.10
	Euro total (Barwert)	Euro total (Barwert)	Euro total (Barwert)	Euro total (Barwert)	Euro total (Barwert)
Baukosten	64'675.53	70'048.00	46'363.20	56'832.94	55'488.94
Ersatz/Instandhaltung	-	-	15'876.35	29'869.60	29'869.60
Unterhalt	7'571.20	1'475.31	442.59	442.59	-
Rückbau	-	1'458.67	1'881.69	1'698.18	1'698.18
	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Kosten Bauherr	64'675.53	71'506.67	64'121.24	88'400.71	87'056.71
Kosten Betreiber	7'571.20	1'475.31	442.59	442.59	-

Grafische Ergebnisse:



Textliche Hinweise zur akustischen Wirksamkeit:

	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Luftschalldämmung	Unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und wenn die aktuellen Richtlinien beachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass bei der	Unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und wenn die aktuellen Richtlinien beachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Luftschalldämmung ein Mindestwert von 25 dB erfüllt	Unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und wenn die aktuellen Richtlinien beachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Luftschalldämmung ein Mindestwert von 25 dB erfüllt werden kann.	Unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und wenn die aktuellen Richtlinien beachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Luftschalldämmung ein Mindestwert von 25 dB erfüllt werden kann.	Unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus und wenn die aktuellen Richtlinien beachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Luftschalldämmung ein Mindestwert von 25 dB erfüllt werden kann.
Schallreflektion	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.	Bei der Schallreflektion wird der geforderte Wert von 5 dB voraussichtlich nicht erfüllt.	Laut Herstellerinformationen und unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus im Einklang mit den aktuellen Richtlinien, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Schallreflexion ein Mindestwert von 5 dB erfüllt werden kann.	Laut Herstellerinformationen und unter der Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Einbaus im Einklang mit den aktuellen Richtlinien, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Schallreflexion ein Mindestwert von 5 dB erfüllt werden kann.	Bei der Schallreflektion wird der geforderte Wert von 5 dB voraussichtlich nicht erfüllt.
Wirkung PV-Module	keine Einschränkung	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.	keine Einschränkung
Wirkung Begrünung	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.	Es besteht die Gefahr, dass bei der Schallreflektion der geforderte Wert von 5 dB nicht erfüllt wird.	keine Einschränkung

Textliche Hinweise zur Biodiversität:

	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
itig)	656.8882041	320	96	96	0
Regionalität der Bepflanzung	sehr artenreich	mittel	mittel	mittel	wenig
Wirkung	Das System verfügt über eine grosse Fläche, die sehr artenreich begrünt ist (mehr als 80% Begrünung, beidseitig).	Das System verfügt über eine grosse begrünte Fläche (mehr als 80% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.	Das System verfügt über eine kleine begrünte Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.	Das System verfügt über eine kleine begrünte Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.	Das System ist nicht begrünt.
	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Anteil begrünter Fläche	100%	100%	30%	30%	0%
Material Oberfläche LSS (ohne Begrünung); bei Modulbauweise bezogen auf Paneel 1	Bepflanzung	Kokosnetz	Holzbeton	Holzbeton	Glas
Gesamtfarbeindruck Oberfläche (ohne Begrünung)	hell	hell	hell	hell	hell
Wirkung	Das Lärmschutzsystem trägt durch die Begrünung zur Hitzeminderung bei (mehr als 80% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen sind von untergeordneter Bedeutung.	Das Lärmschutzsystem trägt durch die Begrünung zur Hitzeminderung bei (mehr als 80% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen sind von untergeordneter Bedeutung.	Das Lärmschutzsystem ist nicht/kaum begrünt Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen leisten keinen grossen Beitrag zur Wärmespeicherung mit Ausnahme der PV-Paneele.	Das Lärmschutzsystem ist nicht/kaum begrünt Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen leisten keinen grossen Beitrag zur Wärmespeicherung mit Ausnahme der PV-Paneele.	Das Lärmschutzsystem ist nicht/kaum begrünt Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen leisten keinen grossen Beitrag zur Wärmespeicherung mit Ausnahme der PV-Paneele.

Textliche Hinweise zur Hitzeminderung:

	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Regionalität der Bepflanzung	656.8882041	320	96	96	0
Wirkung	sehr artenreich	mittel	mittel	mittel	wenig
	Das System verfügt über eine grosse Fläche, die sehr artenreich begrünt ist (mehr als 80% Begrünung, beidseitig).	Das System verfügt über eine grosse begrünte Fläche (mehr als 80% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.	Das System verfügt über eine kleine begrünte Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.	Das System verfügt über eine kleine begrünte Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig), deren Artenreichtum als "mittel" eingestuft wird.	Das System ist nicht begrünt.
	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Anteil begrünter Fläche	100%	100%	30%	30%	0%
Material Oberfläche LSS (ohne Begrünung); bei Modulbauweise bezogen auf Paneel 1	Bepflanzung	Kokosnetz	Holzbeton	Holzbeton	Glas
Gesamtfarbeindruck Oberfläche (ohne Begrünung)	hell	hell	hell	hell	hell
Wirkung	Das Lärmschutzsystem trägt durch die Begrünung zur Hitzeminderung bei (mehr als 80% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen sind von untergeordneter Bedeutung.	Das Lärmschutzsystem trägt durch die Begrünung zur Hitzeminderung bei (mehr als 80% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen sind von untergeordneter Bedeutung.	Das Lärmschutzsystem ist nicht/kaum begrünt Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen leisten keinen grossen Beitrag zur Wärmespeicherung mit Ausnahme der PV-Paneele.	Das Lärmschutzsystem ist nicht/kaum begrünt Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen leisten keinen grossen Beitrag zur Wärmespeicherung mit Ausnahme der PV-Paneele.	Das Lärmschutzsystem ist nicht/kaum begrünt Fläche (weniger als 50% Begrünung, beidseitig). Materialart und Farbe der Oberflächen leisten keinen grossen Beitrag zur Wärmespeicherung mit Ausnahme der PV-Paneele.

Textliche Hinweise zur Photovoltaikausbeute und zur Flächeninanspruchnahme:

	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
jährlich eingesparte Treibhausgasemissionen (in kg CO ₂ eq) bezogen auf den aktuellen Strommix	0	2503.44	10013.76	10013.76	0
	Erdwall	Steilwall	Wandsystem massiv	Wandsystem modular (nicht durchsichtig)	Wandsystem modular (durchsichtig)
Flächeninanspruchnahme (in m2)	560	114	100	56	32

6. Anhang Anwenderhandbuch:

6.1 Formeln auf Sheet «Eingabe Abschnitt»

Abschnitt

	Name	Formel	Einheit
P1	Länge		m
P2	Höhe		m
P3	Breite der technisch versiegelten Fläche		m
	Wandfläche (theoretisch)	=P1*P2	m ²
	Flächeninanspruchnahme	=P1*P3	m ²
P4	Anteil begrünte Fläche im Planungszustand mit Vollbewuchs		0% Prozent
P5	Regionalität der Bepflanzung	mittel	
P6	Gesamtfarbeindruck der Lärmschutzwand	dunkel	
P7	Fläche PV-Module Position 1		0 m ²
P8	Fläche PV-Module Position 2		0 m ²
P9	Installierte Leistung Position 1		0 kWp/m ²
P10	Installierte Leistung Position 2		0 kWp/m ²
P11	Ausrichtung PV-Modul Position 1		
P12	Ausrichtung PV-Modul Position 2		

Erdwall

P13	Material	Materialname	-
	Länge	=P1	m
P14	Kronenbreite		0 m
P15	Fussbreite		0 m
P16	Höhe		0 m
	Oberfläche Wallvolumen (ohne Grundfläche)	'=P1*(P14+2*Wurzel(P162+(P15/2)2)	m ²
	Volumen Neubau	=P1*P16*(P14+P15)/2	m ³
P17	Faktor Rückbau		0 -
	Volumen Rückbau	=P1*P16*(P14+P15)/2*(1-P17)	m ³

Steilwall

P18	Systemtyp	Materialname	-
P19	Füllung	Materialname	
	Länge	=P1	m
P20	Kronenbreite		0 m
P21	Fussbreite		0 m
P22	Höhe		0 m
P23	Lebensdauer		50 Jahre
	Fläche Neubau	=+P1*P22	m ²
	Fläche Erneuerung	=+P1*P22*(Eingabe_Projekt!P1/P23)-P1*P22	m ²
	Fläche Rückbau	'=+P1*P22*(Eingabe_Projekt!P1/P23)	m ²
	Volumen Neubau (Füllung)	=P1*P22*(P20+P21)/2	m ³
	Volumen Erneuerung (Füllung)	=P1*P22*(P20+P21)/2*(Eingabe_Projekt!P1/P23)-(P1*P22*(P20+P21)/2)	m ³
	Volumen Rückbau (Füllung)	'=P1*P22*(P20+P21)/2*(Eingabe_Projekt!P1/P23)	m ³
P24	Material_1	Materialname	
P25	Volumen		m ³
P26	Material_2	Materialname	
P26	Volumen		m ³
P28	Material_2	Materialname	
P29	Volumen		m ³

Wandsystem massiv

P30	Material	Materialname	-
	Länge	=P1	m
P31	Breite im Querschnitt		0 m
P32	Höhe		0 m
P33	Lebensdauer		0 Jahre
	Volumen Neubau	=P1*P31*P32	m ³
	Volumen Erneuerung	=+P1*P31*P32*(Eingabe_Projekt!P1/P33)-P1*P31*P32	m ³
	Volumen Rückbau	'=-P1*P31*P32*(Eingabe_Projekt!P1/P33)	m ³
P34	Material	Materialname	-
	Länge	=P1	m
P35	Höhe		0 m
P36	Lebensdauer		0 Jahre
	Fläche Neubau	=P1*P35	m ²
	Fläche Erneuerung	=+P1*P35*(Eingabe_Projekt!P1/P36)-P1*P35	m ²
	Fläche Rückbau	'=-P1*P35*(Eingabe_Projekt!P1/P36)	m ²

Wandsystem modular

P37	Abstand der Pfosten/Steher		0 m
P38	Höhe des Wandsystems		0 m
P39	Material	Materialname	-
P40	Lebensdauer		0 Jahre
	Länge Neubau	+=(P1/P37+1)*P38	m
	Länge Erneuerung	+=(P1/P37+1)*P38*(Eingabe_Projekt!P1/P40)-(P1/P37+1)*P38	m
	Länge Rückbau	+=(P1/P37+1)*P38*(Eingabe_Projekt!P1/P40)	m
	Material	Materialname	-
	Anzahl Neubau	'=+(P1/P37+1)	Stk.
	Anzahl Erneuerung	+=(P1/P37+1)*(Eingabe_Projekt!P1/P40)-(P1/P37+1)	Stk.
	Anzahl Rückbau	+=(P1/P37+1)*(Eingabe_Projekt!P1/P40)	Stk.
P41	Material	Materialname	-
P42	Stärke		0 m
P43	Lebensdauer		0 Jahre
	Volumen Neubau	+=(P38*P1-P45-P48-P51)*P42	m ³
	Volumen Erneuerung	+=(P38*P1-P45-P48-P51)*P42*(Eingabe_Projekt!P1/P43)-(P38*P1-P45-P48-P51)*P42	m ³
	Volumen Rückbau	+=(P38*P1-P45-P48-P51)*P42*(Eingabe_Projekt!P1/P43)	m ³
P44	Material	Materialname	-
P45	Fläche		0 m2
P46	Lebensdauer		0 Jahre
	Fläche Neubau	=P45	m ²
	Fläche Erneuerung	=+P45*(Eingabe_Projekt!P1/P46)-P45	m ²
	Fläche Rückbau	'=-P45*(Eingabe_Projekt!P1/P46)	m ²
P47	Material	Materialname	-
P48	Fläche		0 m2
P49	Lebensdauer		0 Jahre
	Fläche Neubau	=P48	m ²
	Fläche Erneuerung	=+P48*(Eingabe_Projekt!P1/P49)-P48	m ²
	Fläche Rückbau	=+P48*(Eingabe_Projekt!P1/P49)	m ²
P50	Material	Polycarbonat (20cm)	-
P51	Fläche		0 m2
P52	Lebensdauer		0 Jahre
	Fläche Neubau	=P51	m ²
	Fläche Erneuerung	=+P51*(Eingabe_Projekt!P1/P52)-P51	m ²
	Fläche Rückbau	=+P51*(Eingabe_Projekt!P1/P52)	m ²
P53	Material	Materialname	-
	Länge	=P1	m
P54	Breite		0 m
P55	Stärke		0 m
P56	Lebensdauer		0 Jahre
	Volumen Neubau	=P1*P54*P55	m ³
	Volumen Erneuerung	=+P1*P54*P55*(Eingabe_Projekt!P1/P56)-P1*P54*P55	m ³
	Volumen Rückbau	'=-P1*P54*P55*(Eingabe_Projekt!P1/P56)	m ³

Fundation

P57	Material_1	Materialname	-
P58	Material_2	Materialname	-
	Länge	=P1	m
P59	Querschnittfläche Material_1		0 m ²
P60	Querschnittfläche Material 2 (Magerbeton)		0 m ²
	Volumen_Material_1	=P1*P59	m ³
	Volumen_Material_2	=P1*P60	m ³
P61	Material_1	Materialname	-
P62	Material_2	Materialname	-
P63	Anzahl		Stk
P64	Länge		0 m
P65	Breite		0 m
P66	Stärke Material_1		0 m
P67	Stärke Material_2		0 m
	Volumen_Material_1	=P63*P64*P65*P66	m ³
	Volumen_Material_2	=P63*P64*P65*P67	m ³
P68	Material	Materialname	-
P69	Anzahl		0 Stk
P70	Länge		0 m
P71	Breite		0 m
P72	Höhe		0 m
	Volumen	=+P69*P70*P71*P72	m ³
P73	Material	Materialname	-
P74	Anzahl		0 Stk
P75	Länge		0 m
P76	Durchmesser		0 m
	Volumen	=P74*P75*PI()* $(P76/2)^2$	m ³
P77	Material_1	Materialname	-
P78	Material_2	Materialname	-
P79	Anzahl		0 Stk
P80	Länge		0 m
P81	Durchmesser_gesamt		0 m
P82	Durchmesser_Mörtel		0 m
	Volumen_Material 1	=P79*P80*PI()* $(P81/(1000*2))^2$ -P79*P80*PI()* $(P82/2)^2$	m ³
	Volumen_Material 2	=P79*P80*PI()* $(P82/2)^2$	m ³
P83	Material	Materialname	-
P84	Länge		0 m
P85	Fläche		0 m ²
	Volumen	=+P84*P85	m ³
P86	Material	Materialname	-
	Länge		0 m
P87	Breite		0 m
P88	Tiefe		0 m
	Volumen	=+P1*P87*P88	m ³

6.2 Defaultwerte für die Kostenkennwerte

Schweiz

Bauteil / Material	Einheit	Baukosten	Entsorgungskosten	Erneuerungskosten
Kosten pro Einheit (CHF)				
Paneel Holz	m2	317	30	347
Paneel Schilf-Lehm	m2	317	30	347
Paneel Aluminium	m2	317	30	347
Paneel Stahl	m2	317	30	347
Holzbeton/Lavabeton	m2	317	30	347
Paneel Glas	m2	317	30	347
Stahlträger	m	192	30	222
Beton	m3	453	30	483
Aushub	m3	20	20	40
Gesteinskörnung	m3	50	30	80
Umweltwand	m2	300	30	330
Gabionen	m2	300	30	330
Kies	m3	50	30	80
	Einheit	Baukosten	Unterhaltskosten	
Kosten pro Einheit				
Kosten Grünpflege Erdwall	m2	40	0	
Kosten Grünpflege Steilwall	m2	45	1	
Kosten Grünpflege Bepflanzung LSW	m2	14	1	

Österreich und Deutschland

Bauteil / Material	Einheit	Baukosten	Entsorgungskosten	Erneuerungskosten
Kosten pro Einheit (Euro)				
Paneel Holz	m2	317	30	347
Paneel Schilf-Lehm	m2	317	30	347
Paneel Aluminium	m2	317	30	347
Paneel Stahl	m2	317	30	347
Holzbeton/Lavabeton	m2	317	30	347
Paneel Glas	m2	317	30	347
Stahlträger	m	192	30	222
Beton	m3	453	30	483
Aushub	m3	20	20	40
Gesteinskörnung	m3	50	30	80
Umweltwand	m2	300	30	330
Gabionen	m2	300	30	330
Kies	m3	50	30	80
	Einheit	Baukosten	Unterhaltskosten	
Kosten pro Einheit				
Kosten Grünpflege Erdwall	m2	40	0	
Kosten Grünpflege Steilwall	m2	45	1	
Kosten Grünpflege Bepflanzung LSW	m2	14	1	

6.3 Daten zur Abschätzung der THG-Emissionen

6.3.1 Holzpaneele

Für Holzpaneele wird von einer vereinfachten Materialzusammensetzung des Paneels ausgegangen, wobei die Daten aus Werner (2019, S.19) zugrunde gelegt werden.

Der Materialzusammensetzung werden länderspezifische Daten zur Materialherstellung zugeordnet und so die THG-Emissionen der Holzpaneele abgeschätzt.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle unten dargestellt.

Schweiz	Massivholzplatte, Steinwolle	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel	pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel
	Konstruktionsvollholz	32.98	0.24	8.05	0.04	1.45
	Steinwolle	1.68	0.76	1.27	0.06	0.10
	Polyethylenfolie	0.11	2'530.00	0.30	2'456.40	0.29
	Polyvinylchlorid	0.16	3'308.20	0.39	2'919.00	0.34
	Dichtungsbahn Gummi (EPDM)	0.17	2.74	0.46	3.10	0.52
		35.10		10.47		2.71
Österreich	Massivholzplatte, Mineralwolle-Dämmstoff	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel	pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel
	Massivholzplatte (Ein-, Zwei, Dreischichtplatte) (Tilly) (AT)	32.98	-664.00	-41.71	788.43	49.53
	Mineralwolle-Dämmstoff	1.68	177.00	2.48	4.31	0.06
	Polyethylenfolie	0.11	2'530.00	0.30	2'456.40	0.29
	Polyvinylchlorid	0.16	3'308.00	0.39	2'919.00	0.34
	Dichtungsprofil - M.O.L. Gummiverarbeitung - Extrudierte Gummipro	0.17	2.85	0.48	2.52	0.42
		35.10		-38.06		50.65
Deutschland	Konstruktionsvollholz, Steinwolle	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel	pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel
	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	32.98	-726.98	-48.64	815.98	54.60
	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoffe im mittleren Rohdichtebereich	1.68	115.41	8.09	-	-
	Polyethylenfolie	0.11	2'530.00	0.30	2'456.40	0.29
	Polyvinylchlorid	0.16	3'308.00	0.39	2'919.00	0.34
	Dichtungsprofil - M.O.L. Gummiverarbeitung - Extrudierte Gummipro	0.17	2.85	0.48	2.52	0.42
		35.10		-39.38		55.65

Diese Abschätzung ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden einerseits in Bezug auf die Materialzusammensetzung des Holzpaneels und andererseits in Bezug auf die Qualität des verwendeten Holzes. ASFINAG (2023) nennt einen Wert von 21,11 kg CO₂eq/m² für die Module A1-A5 und C1-C4. Werner (2019) nennt einen Wert von rund 12 kg CO₂eq/m².

Es wird empfohlen diese Daten im konkreten Bauprojekt kritisch zu prüfen.

6.3.2 Schilf-Lehm-Paneele

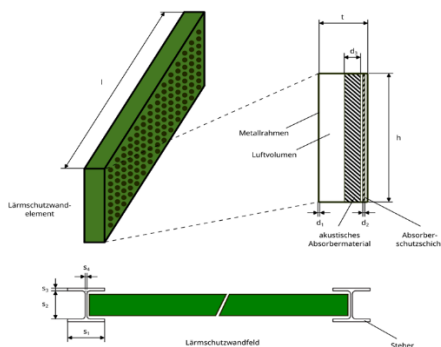
Es handelt sich um Lärmschutzwandkassetten aus Schilf, Thermoholz und Lehm. Basierend auf der EN15804+A2 wird von einem Wert von 17.75 kg CO₂ eq/m² für die Module A1-3 ausgegangen (Xylo Sweden, 2023).

6.3.3 Metallpaneele

Für Metallpaneele wird von einem vereinfachten Modell des Paneels ausgegangen (siehe Abbildung unten).

Der Materialzusammensetzung werden länderspezifische Daten der THG-Emissionen von Materialherstellung und -entsorgung zugeordnet. Für das akustische Absorbermaterial wird Steinwolle oder Glaswolle ausgewählt. Die Tabelle unten zeigt eine Auswahl der Ergebnisse.

Lärmschutzwandelement	
Länge (m)	4
Höhe (m)	0.5
Tiefe (m)	0.12
Maße in Skizze	
l (m)	4
d ₁ (m)	0.0013
d ₂ (m)	0.002
d ₃ (m)	0.04
h (m)	0.5
t (m)	0.12
Lochanteil Rahmen Vorderseite (0 - 1)	0
Kassettenrahmen	
Menge (m ³ / Element)	Aluminium 0.006604
akustisches Absorbermaterial	
Menge (m ³ / Element)	Steinwolle 0.08
Absorberschutzschichtmaterial	
Menge (m ³ / Element)	Glasvlies 0.004



Aluminiumpaneele:

Aluminiumpaneele						
Schweiz	Aluminium (gelocht), Steinwolle	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel	pro kg Bauma	pro m ² Paneel
	Aluminiumblech, blank	7.83	5.57	43.63	0.01	0.06
	Steinwolle	3.84	0.76	2.91	0.06	0.23
	Polyethylenvlies	0.002	2'723.20	5.45	2'456.40	4.91
		13.51		51.98		5.20
Österreich	Aluminium (gelocht), Mineralwolle-Dämmstoff	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel	pro kg Bauma	pro m ² Paneel
	Aluminiumblech	7.83	5040	39.48	7.53	0.06
	Mineralwolle-Dämmstoff	3.84	177	5.66	4.311	0.14
	Polyethylenvlies	0.002	2723.2	5.45	2456.4	4.91
		13.51		50.59		5.11
Deutschland	Aluminium (gelocht), Steinwolle	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m ² Paneel	pro kg Bauma	pro m ² Paneel
	Aluminiumblech	7.83	10.77069544	84.37	0	-
	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoffe im mittleren Rohdichtebereich	3.84	115.4064319	18.47	0	-
	Polyethylenvlies	0.002	2723.2	5.45	2456.4	4.91
		13.51		108.28		4.91

Diese Werte weichen deutlich ab von den Ergebnissen aus ASFiNAG (2023). Diese Studie nennt einen Wert von 81,25 kg CO₂eq/m², geht aber von einer anderen Materialzusammensetzung der Paneele aus.

Stahlpaneele:

Stahlpaneele						
Schweiz	Stahl (gelocht), Steinwolle	kg/m2	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m2 Paneel	pro kg Baumaterial	pro m2 Paneel
	Stahlblech, verzinkt	22.86	4.48	102.41	0.00693	0.16
	Steinwolle	3.84	0.757	0.03	0.0592	0.00
	Polyethylenvlies	0.002	2723.2	5.45	2456.4	4.91
		13.51		107.89		5.07
Österreich	Stahl (gelocht), Mineralwolle-Dämmstoff	kg/m2	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m2 Paneel	pro kg Baumaterial	pro m2 Paneel
	Grobbleche (ab 5 mm Dicke) / Mittelwert	22.86	1672	38.22	37.95	0.87
	Beschichtungssysteme gem. RVS 15.05.11 werkseitig		5.02	10.04		
	Mineralwolle-Dämmstoff	3.84	177	5.66	4.311	0.14
	Polyethylenvlies	1.84	2723.2	5.45	2456.4	4.91
		28.54		59.37		5.92
Deutschland	Stahl (gelocht), Steinwolle	kg/m2	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m2 Paneel	pro kg Baumaterial	pro m2 Paneel
	Feuerverzinktes Stahlblech	22.86	2.90	66.30	-	-
	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoffe im mittleren Rohdichtebereich	3.84	115.41	18.47	-	-
	Polyethylenvlies	0.00	2'723.20	5.45	2'456.40	4.91
		13.51		90.21		4.91

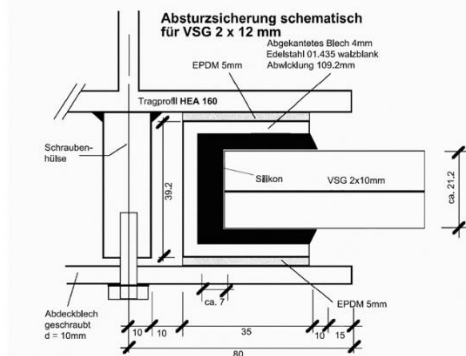
6.3.4 Durchsichtige Paneele

Für durchsichtige Paneele wird von einem vereinfachten Modell des Panels ausgegangen (siehe Abbildung unten).

Der Materialzusammensetzung werden länderspezifische Daten der THG-Emissionen von Materialherstellung und -entsorgung zugeordnet. Es wird mit zwei unterschiedlichen Dicken des Gaspaneels gerechnet: 20mm und 12mm. Dabei wird nur die Menge des durchsichtigen Elements angepasst. Alle anderen Mengen bleiben konstant. Die Tabelle unten zeigt eine Auswahl der Ergebnisse.

Akustikelement	Glas
Gesamtmenge (m³)	0.02
Einfassung	Edelstahl
Gesamtmenge (m³)	0.00014
Einfassung	Silikon
Gesamtmenge (m³)	0.0002625
Einfassung	EPDM
Gesamtmenge (m³)	0.000175

Schnitt untere Lage VSG ohne Anschlagnocken



F. Preisig AG Bauingenieure und Planer SIA/USIC

01.04.2010 / mal

Schweiz	Polycarbonat (20mm)	kg/m²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m² Paneel	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m² Paneel
			kg/Bezugseinheit				
	Polycarbonat (PC)	24.00	1	8.49	203.76	2.92	70.08
	Stahlblech, verzinkt	1.10	1	4.48	4.92	0.00693	0.01
	Silicon-Fugenmasse	0.26	1000	2720	0.71	187	0.05
	Dichtungsbahn Gummi (EPDM)	0.19	1	2.74	0.53	3.1	0.60
		25.36			209.40		70.14
Österreich	Polycarbonat (20mm)	kg/m²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m² Paneel	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m² Paneel
			kg/Bezugseinheit				
	Polycarbonatplatte	24.00	1	5.794	139.06	3.329714	79.91
	Grobbleche (ab 5 mm Dicke) / Mittelwert	1.10	1000	1672	1.84	37.95	0.04
	Silicon-Fugenmasse	0.26	1000	14400	3.78	187	0.05
	Dichtungsprofil - M.O.L. Gummiverarbeitung - Extrudierte Gummipro	0.19	1	2.85	0.55	2.52	0.49
		25.36			144.67		80.00
Deutschland	Polycarbonat (20mm)	kg/m²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m² Paneel	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m² Paneel
			kg/Bezugseinheit				
	Polycarbonatplatte	24.00	1	5.794135507	139.06	3.325708134	79.82
	Feuerverzinktes Stahlblech	1.10	7850	2.900324031	0.00	0	-
	Silicon-Fugenmasse	0.26	1000	14400	3.78	187	0.05
	Dichtungsprofil - M.O.L. Gummiverarbeitung - Extrudierte Gummipro	0.19	1	2.85	0.55	2.52	0.49
		25.36			142.84		79.87

Diese Werte stimmen für die Module A1-3 relativ gut mit den Angaben aus der Umweltproduktdeklaration der Firma Hammerglas überein. Allerdings sind die Werte für die Entsorgung in dieser EPD deutlich tiefer. Die Annahmen zum Entsorgungsweg im Bauprojekt wären zu prüfen (EPD Hammerglass Clear single sheet 12 mm, EPD International AB; EPD registration number S-P-05711).

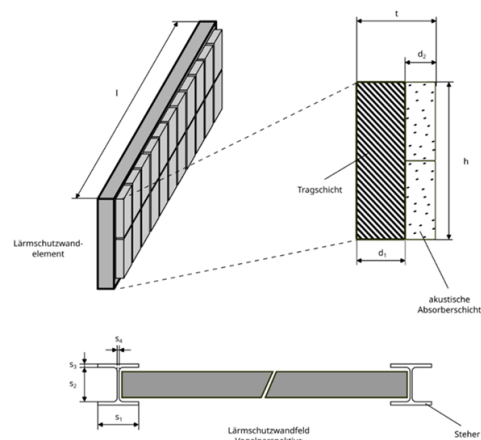
6.3.5 Holzbeton-Paneele

Für Holzbeton-Paneele wird von einem vereinfachten Modell des Paneels ausgegangen (siehe Abbildung unten).

Der Materialzusammensetzung werden länderspezifische Daten der THG-Emissionen von Materialherstellung und -entsorgung zugeordnet. Als Akustikelement wird Holzbeton angenommen, da für dieses Material Daten aus Umweltproduktdeklarationen verfügbar sind. Es wird angenommen, dass dies auch ein guter Schätzwert für Lavabeton ist.

Im Tool wird mit zwei alternativen Schichtdicken für das Akustikelement gerechnet: 100mm und 130mm. Die Tabelle unten zeigt eine Auswahl der Ergebnisse.

Lärmschutzwandelement	
Länge (m)	4
Höhe (m)	1
Tiefe (m)	0.22
Maße in Skizze	
l (m)	4
d ₁ (m)	0.12
d ₂ (m)	0.1
h (m)	1
t (m)	0.22
Tragschicht Akustikelement	
Menge (m ³ / Element)	Beton
	0.48
Tragschicht Akustikelement	
Menge (kg / m ³)	Bewehrung
	50
akustische Absorberschicht	
Menge (m ³ / Element)	
	0.4



Schweiz	Beton_Holzbeton (22cm)	kg/m ²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ² Paneel	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ² Paneel
	Stahlbeton (50 kg/m ³ Bewehrung)	282	2350	242.66	29.12	29.59	3.55
	Holzbeton (100 mm)	48.37	48.37	26	26.00	1.74132	1.74
		330.37			55.12		5.29
Österreich	Beton_Holzbeton (22cm)	kg/m ²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ² Paneel	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ² Paneel
	Stahlbeton (50 kg/m ³ Bewehrung)	282	2450	229.3875	26.40	21.98975	2.53
	Holzbeton (100 mm)	48.37	48.37	26	26.00	1.74132	1.74
		330.37			52.40		4.27
Deutschland	Beton_Holzbeton (22cm)	kg/m ²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ² Paneel	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ² Paneel
	Stahlbeton (50 kg/m ³ Bewehrung)	282	2410	289.8054949	33.91	14.89746745	1.74
	Holzbeton (100 mm)	48.37	48.37	26	26.00	1.74132	1.74
		330.37			59.91		3.48

Diese Werte stimmen relativ gut überein mit einer Studie zu den THG-Emissionen einer Lärmschutzwand mit Paneelen aus Lavabeton. Werner (2019) kommt auf einen Wert von rund 60 kg CO₂ eq pro m² (nur A1-3). Allerdings verweist seine Studie auch auf THG-Emissionen beim

Einbau resp. Rückbau der Paneele von rund 20% der Gesamtbelastung im Lebensweg. Diese Belastungen werden im Berechnungstool bei sämtlichen Paneelen vernachlässigt.

ASFINAG (2023) nennen eine Summe von 76,48 kgCO₂e/m² für die Module A1-A5 und C1-C4 bezogen auf ein Paneel mit Holzbeton.

6.3.6 Umweltwand

Für Umweltwand wird von einem vereinfachten Modell ausgegangen (siehe Abbildung unten).

Abschätzung für eine Einheit (1.16*3.5)		
	Länge m	
Bezugsfläche		
Fussbreite	1.20	
Kronenbreite	0.80	
Länge der Einheit	1.16	
Höhe der Einheit	3.50	
Anzahl Querstangen	5.00	
Durchmesser Stangen der Einheit (aussen)	0.05	
Durchmesser Stangen der Einheit (innen)	0.04	
Durchmesser Querstangen	0.01	
Stahlgitter: Anzahl Stangen (Länge)	12.00	
Stahlgitter: Anzahl Stangen (Höhe)	4.00	
Durchmesser Stahlgitter	0.01	
Schichtdicke Polyethylenfolie	0.0030	
Schichtdicke Kokosmatte	0.01	

In der Abschätzung der THG-Emissionen des Bauteils wird nur der Stahlkorb (inkl. Stahlmatten) berücksichtigt sowie die Umhüllung mit Folien und Kokosmatte. Die Füllung wird separat berechnet. Aus diesen Angaben wird die Materialzusammensetzung abgeschätzt und länderspezifische Daten der THG-Emissionen von Materialherstellung und -entsorgung zugeordnet.

Die Tabelle unten zeigt eine Auswahl der Ergebnisse.

Schweiz	Umweltwand	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²
	Armierungsstahl	29.13	0.77	22.52	0.01	0.36
	Polyethylenfolie	5.52	2.75	15.18	2.67	14.74
	Strohballenwand	4.30	0.10	0.41	-	-
		38.95		38.11		15.09
Österreich	Umweltwand	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²
	Fvz. Baustähle	29.13	789.00	22.99	38.11	1.11
	Polyethylenfolie	5.52	2.75	15.18	2.67	14.74
	Hanfvlies	4.30	1.53	1.17	1.99	1.51
		38.95		39.33		17.36
Deutschland	Umweltwand	kg/m ²	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²
	Bewehrungsstahl	29.13	0.64	18.71	-	-
	Polyethylenfolie	5.52	2.75	15.18	2.67	14.74
	Hanfvlies	4.30	1.53	1.17	1.99	1.51
		38.95		35.05		17.36

Diese Werte sind mit Unsicherheit verbunden, da die Herstellung der Materialien der Kokosmatte durch andere Datensätze abgeschätzt wurde: Stroh für die Schweiz und Hanf für Österreich und Deutschland. Außerdem wurde für die Stahlrohre jeweils mit Bewehrungsstahl gerechnet ohne Oberflächenbehandlung (z.B. Verzinkung). Würde mit verzinktem Stahlprofil gerechnet, dann würden die THG-Emissionen deutlich steigen.

Als Vergleichswerte liefert ASFINAG (2023) einen Wert von 72,44 kgCO₂e/m² für die Module A1-A5 und C1-C4. Allerdings ist in dieser Analyse die Foundation mit betrachtet.

6.3.7 Gabionen

Für Gabionen wird von einem vereinfachten Modell ausgegangen (siehe Abbildung unten).

Abschätzung für eine Einheit (1*1.4)	
	Länge m
Bezugsfläche	
Länge des Korbs	1
Höhe des Korbs	1.4
Breite des Korbs	0.76
Durchmesser	0.006
Maschenlänge	0.2
Maschenbreite	0.05
Länge Draht	125.2



In der Abschätzung der THG-Emissionen des Bauteils wird nur der Stahlkorb berücksichtigt. Aus diesen Angaben wird die Materialzusammensetzung abgeschätzt und länderspezifische Daten der THG-Emissionen von Materialherstellung und -entsorgung zugeordnet. In der deutschen Version wird noch eine Variante berücksichtigt mit dem Datensatz «Stahlprofil verzinkt (Elektrolichtbogenroute, hoher Schrottanteil)». Mit diesem Datensatz reduzieren sich die THG-Emissionen des Bauteils auf unter 30 kg CO₂ eq.

Die Tabelle unten zeigt eine Auswahl der Ergebnisse.

Schweiz	Gabionen (mit verzinktem Stahl)	kg/m2	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m2	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m2
	Stahlprofil, blank	19.85	0.73	14.49	0.01	0.14
	Verzinken, Stahl	-	6.09		-	-
				14.49		0.14
Österreich	Gabionen (mit feuerverzinktem Stahl, Durchschnitt)	kg/m2	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m2	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m2
	Fvz. Baustähle	19.85	0.789	15.66	0.03811	0.76
				15.66		0.76
Deutschland	Gabionen (mit feuerverzinktem Stahl, Durchschnitt)	kg/m2	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m2	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m2
	Feuerverzinkter Stahl	19.85	2.48	49.23	0	-
				49.23		-

6.3.8 Stahlbeton

Die Abschätzung der THG-Emissionen von Stahlbetonbauteilen basiert auf Annahmen zur Zusammensetzung und länderspezifischen Daten für die THG-Emissionen der Materialherstellung und -entsorgung. Die Tabelle unten zeigt die Ergebnisse für einen Bewehrungsanteil von 50kg/m³. Für Bauteile mit den Bewehrungsanteilen von 100 kg/m³ bzw. 150 kg/m³ wird die Menge an Bewehrungsstahl entsprechend erhöht.

Schweiz	Stahlbeton (50 kg/m ³ Bewehrung)	kg/m ³	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ³	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ³
	Hochbaubeton (ohne Bewehrung)	2300	204.01	204.01	28.980	28.980
	Armierungsstahl	50	0.77	38.65	0.012	0.610
		2350		242.66		29.590
Österreich	Stahlbeton (50 kg/m ³ Bewehrung)	kg/m ³	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ³	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ³
	C25/30/B7	2300	201.10	201.1	21.110	21.110
	Stäbe und Ringe / Mittelwert	50	565.75	28.29	17.595	0.880
		2350		229.39		21.990
Deutschland	Stahlbeton (50 kg/m ³ Bewehrung)	kg/m ³	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ³	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ³
	Transportbeton C30/37	2300	257.69	257.6935927	14.897	14.897
	Bewehrungsstahl	50	0.64	32.11	-	-
		2350		289.81		14.897

6.3.9 Backsteinwand (Ziegel)

Schweiz	Backsteinwand 25 cm	kg/m ²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²
	Backstein	225	1'000.00	0.25	57.15	0.013	0.003
	Baukleber/Einbettmörtel mineralisch	63	1'400.00	550.20	24.76	17.780	0.800
		288			81.91		0.803
Österreich	Backsteinwand 25 cm	kg/m ²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²
	Mauersteine / Schalsteine	225.00	1'000.00	57.45	12.9267	7.605	1.711
	Modifizierte mineralische Mörtel der Gruppe 2	63.00	2'000.00	767.20	24.17	25.131	0.792
		288.0000			37.09		2.503
Deutschland	Backsteinwand 25 cm	kg/m ²	Umrechnungsfaktor	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
				pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²	pro Bezugsmenge Baumaterial	pro m ²
	Mauerziegel (ungefüllt)	225.00	575.00	113.00	44.2173913	-10.100	-3.952
	Mauermörtel-Normalmauermörtel	63.00	1.00	0.09	5.82	-	-
		288.0000			50.04		-3.952

6.3.10 Pfosten bzw. Steher und Fussplatten

Für diese Bauteile wurden die Dimensionen auf der Grundlage der folgenden Website angenommen: <https://stahltraeger-profi.de/produkt/> .

Die Abschätzung der THG-Emissionen basiert auf Annahmen zur Beschichtung und länderspezifischen Daten für die THG-Emissionen der Materialherstellung und -entsorgung. Die Tabelle unten zeigt die Ergebnisse.

Schweiz - Pfosten

		kg/m	THG-Herstellung			THG-Entsorgung	
			pro Bezugseinheit Baumaterial		pro m Bauteil	pro Bezugseinheit Baumaterial	pro m Bauteil
HEA 160	Stahlprofil, blank	30.40	0.73		22.19	0.007	0.211
	Verzinken, Stahl	0.91	6.09		5.54	-	-
HEA 180	Stahlprofil, blank	35.50	0.73		27.73	0.007	0.211
	Verzinken, Stahl	1.02	6.09		25.92	-	0.246
HEA 200	Stahlprofil, blank	42.300	0.73		32.13	0.007	0.246
	Verzinken, Stahl	1.14	6.09		30.88	-	0.293
HEA 220	Stahlprofil, blank	50.50	0.73		37.82	0.007	0.293
	Verzinken, Stahl	1.26	6.09		36.87	-	0.350
HEA 240	Stahlprofil, blank	60.30	0.73		44.54	0.007	0.350
	Verzinken, Stahl	1.37	6.09		44.02	-	0.418
HEA 260	Stahlprofil, blank	68.20	0.73		52.36	0.007	0.418
	Verzinken, Stahl	1.48	6.09		49.79	-	0.473
HEA 280	Stahlprofil, blank	76.400	0.73		58.80	0.007	0.473
	Verzinken, Stahl	1.60	6.09		55.77	-	0.529
HEA 300	Stahlprofil, blank	88.30	0.73		65.52	0.007	0.529
	Verzinken, Stahl	1.72	6.09		64.46	-	0.612
HEB 160	Stahlprofil, blank	42.600	0.73		74.93	0.007	0.612
	Verzinken, Stahl	0.918	6.09		31.10	-	0.295
HEB 180	Stahlprofil, blank	51.200	0.73		36.69	0.007	0.295
	Verzinken, Stahl	1.040	6.09		37.38	-	0.355
HEB 200	Stahlprofil, blank	61.300	0.73		43.71	0.007	0.355
	Verzinken, Stahl	1.150	6.09		44.75	-	0.425
HEB 220	Stahlprofil, blank	71.500	0.73		51.75	0.007	0.425
	Verzinken, Stahl	1.270	6.09		52.20	-	0.495
HEB 240	Stahlprofil, blank	83.200	0.73		59.93	0.007	0.495
	Verzinken, Stahl	1.380	6.09		60.74	-	0.577
HEB 260	Stahlprofil, blank	93.000	0.73		69.14	0.007	0.577
	Verzinken, Stahl		6.09		67.89	-	0.644
HEB 280	Stahlprofil, blank	103.000	0.73		67.89	0.007	0.644
	Verzinken, Stahl	1.500	6.09		75.19	-	0.714
HEB 300	Stahlprofil, blank	117.000	0.73		84.33	0.007	0.714
	Verzinken, Stahl	1.620	6.09		85.41	-	0.811
					9.87	-	-
					95.28		0.811

Schweiz - Fussplatte

		kg/m	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m Bauteil	pro kg Baumaterial	pro m Bauteil
HEA 160 verzinkt	Stahlprofil, blank	7.36	0.73	5.37	0.007	0.051
	Verzinken, Stahl	0.14	6.09	0.85	-	
HEA 180 verzinkt	Stahlprofil, blank	7.36	0.73	5.37	0.007	0.051
	Verzinken, Stahl	0.14	6.09	0.85	-	
HEA 200 verzinkt	Stahlprofil, blank	18.15	0.73	13.25	0.007	0.126
	Verzinken, Stahl	0.26	6.09	1.57	-	
HEA 220 verzinkt	Stahlprofil, blank	18.15	0.73	13.25	0.007	0.126
	Verzinken, Stahl	0.26	6.09	1.57	-	
HEA 240 verzinkt	Stahlprofil, blank	25.12	0.73	18.34	0.007	0.174
	Verzinken, Stahl	0.35	6.09	2.14	-	
HEA 260 verzinkt	Stahlprofil, blank	25.12	0.73	18.34	0.007	0.174
	Verzinken, Stahl	0.35	6.09	2.14	-	
HEA 280 verzinkt	Stahlprofil, blank	25.12	0.73	18.34	0.007	0.174
	Verzinken, Stahl	0.35	6.09	2.14	-	
HEA 300 verzinkt	Stahlprofil, blank	47.69	0.73	34.81	0.007	0.330
	Verzinken, Stahl	0.46	6.09	2.80	-	
HEB 160 verzinkt	Stahlprofil, blank	7.36	0.73	5.37	0.007	0.051
	Verzinken, Stahl	0.14	6.09	0.85	-	
HEB 180 verzinkt	Stahlprofil, blank	7.36	0.73	5.37	0.007	0.051
	Verzinken, Stahl	0.14	6.09	0.85	-	
HEB 200 verzinkt	Stahlprofil, blank	18.15	0.73	13.25	0.007	0.126
	Verzinken, Stahl	0.26	6.09	1.57	-	
HEB 220 verzinkt	Stahlprofil, blank	18.15	0.73	13.25	0.007	0.126
	Verzinken, Stahl	0.26	6.09	1.57	-	
HEB 240 verzinkt	Stahlprofil, blank	25.12	0.73	18.34	0.007	0.174
	Verzinken, Stahl	0.35	6.09	2.14	-	
HEB 260 verzinkt	Stahlprofil, blank	25.12	0.73	18.34	0.007	0.174
	Verzinken, Stahl	0.35	6.09	2.14	-	
HEB 280 verzinkt	Stahlprofil, blank	25.12	0.73	18.34	0.007	0.174
	Verzinken, Stahl	0.35	6.09	2.14	-	
HEB 300 verzinkt	Stahlprofil, blank	47.69	0.73	34.81	0.007	0.330
	Verzinken, Stahl	0.46	6.09	2.80	-	
				37.61		0.330

Österreich - Steher

		kg/m	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m Bauteil	pro kg Baumaterial	pro m Bauteil
HEA 160	Fvz. Baustähle	30.40	0.79	23.99	0.038	1.159
HEA 180	Fvz. Baustähle	35.50	0.79	28.01	0.038	1.353
HEA 200	Fvz. Baustähle	42.300	0.79	33.37	0.038	1.612
HEA 220	Fvz. Baustähle	50.50	0.79	39.84	0.038	1.925
HEA 240	Fvz. Baustähle	60.30	0.79	47.58	0.038	2.298
HEA 260	Fvz. Baustähle	68.20	0.79	53.81	0.038	2.599
HEA 280	Fvz. Baustähle	76.400	0.79	60.28	0.038	2.912
HEA 300	Fvz. Baustähle	88.30	0.79	69.67	0.038	3.365
HEB 160	Fvz. Baustähle	42.600	0.79	33.61	0.038	1.623
HEB 180	Fvz. Baustähle	51.200	0.79	40.40	0.038	1.951
HEB 200	Fvz. Baustähle	61.300	0.79	48.37	0.038	2.336
HEB 220	Fvz. Baustähle	71.500	0.79	56.41	0.038	2.725
HEB 240	Fvz. Baustähle	83.200	0.79	65.64	0.038	3.171
HEB 260	Fvz. Baustähle	93.000	0.79	73.38	0.038	3.544
HEB 280	Fvz. Baustähle	103.000	0.79	81.27	0.038	3.925
HEB 300	Fvz. Baustähle	117.000	0.79	92.31	0.038	4.459

Österreich – Fussplatte

		kg/m	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m Bauteil	pro kg Baumaterial	pro m Bauteil
HEA 160	Fvz. Baustähle	7.36	0.79		5.81	0.038
HEA 180	Fvz. Baustähle	7.36	0.79		5.81	0.038
HEA 200	Fvz. Baustähle	18.15	0.79		14.32	0.038
HEA 220	Fvz. Baustähle	18.15	0.79		14.32	0.038
HEA 240	Fvz. Baustähle	25.12	0.79		19.82	0.038
HEA 260	Fvz. Baustähle	25.12	0.79		19.82	0.038
HEA 280	Fvz. Baustähle	25.12	0.79		19.82	0.038
HEA 300	Fvz. Baustähle	47.69	0.79		37.63	0.038
HEB 160	Fvz. Baustähle	7.36	0.79		5.81	0.038
HEB 180	Fvz. Baustähle	7.36	0.79		5.81	0.038
HEB 200	Fvz. Baustähle	18.15	0.79		14.32	0.038
HEB 220	Fvz. Baustähle	18.15	0.79		14.32	0.038
HEB 240	Fvz. Baustähle	25.12	0.79		19.82	0.038
HEB 260	Fvz. Baustähle	25.12	0.79		19.82	0.038
HEB 280	Fvz. Baustähle	25.12	0.79		19.82	0.038
HEB 300	Fvz. Baustähle	47.69	0.79		37.63	0.038

Deutschland - Pfosten

		kg/m	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m Bauteil	pro kg Baumaterial	pro m Bauteil
HEA 160	Feuerverzinkter Stahl	30.40	2.48		75.39	-
HEA 180	Feuerverzinkter Stahl	35.50	2.48		88.04	-
HEA 200	Feuerverzinkter Stahl	42.300	2.48		104.90	-
HEA 220	Feuerverzinkter Stahl	50.50	2.48		125.24	-
HEA 240	Feuerverzinkter Stahl	60.30	2.48		149.54	-
HEA 260	Feuerverzinkter Stahl	68.20	2.48		169.14	-
HEA 280	Feuerverzinkter Stahl	76.400	2.48		189.47	-
HEA 300	Feuerverzinkter Stahl	88.30	2.48		218.98	-
HEB 160	Feuerverzinkter Stahl	42.600	2.48		105.65	-
HEB 180	Feuerverzinkter Stahl	51.200	2.48		126.98	-
HEB 200	Feuerverzinkter Stahl	61.300	2.48		152.02	-
HEB 220	Feuerverzinkter Stahl	71.500	2.48		177.32	-
HEB 240	Feuerverzinkter Stahl	83.200	2.48		206.34	-
HEB 260	Feuerverzinkter Stahl	93.000	2.48		230.64	-
HEB 280	Feuerverzinkter Stahl	103.000	2.48		255.44	-
HEB 300	Feuerverzinkter Stahl	117.000	2.48		290.16	-

Deutschland - Fussplatte

		kg/m	THG-Herstellung		THG-Entsorgung	
			pro kg Baumaterial	pro m Bauteil	pro kg Baumaterial	pro m Bauteil
HEA 160	Feuerverzinkter Stahl	7.36	2.48		18.25	-
HEA 180	Feuerverzinkter Stahl	7.36	2.48		18.25	-
HEA 200	Feuerverzinkter Stahl	18.15	2.48		45.01	-
HEA 220	Feuerverzinkter Stahl	18.15	2.48		45.01	-
HEA 240	Feuerverzinkter Stahl	25.12	2.48		62.30	-
HEA 260	Feuerverzinkter Stahl	25.12	2.48		62.30	-
HEA 280	Feuerverzinkter Stahl	25.12	2.48		62.30	-
HEA 300	Feuerverzinkter Stahl	47.69	2.48		118.27	-
HEB 160	Feuerverzinkter Stahl	7.36	2.48		18.25	-
HEB 180	Feuerverzinkter Stahl	7.36	2.48		18.25	-
HEB 200	Feuerverzinkter Stahl	18.15	2.48		45.01	-
HEB 220	Feuerverzinkter Stahl	18.15	2.48		45.01	-
HEB 240	Feuerverzinkter Stahl	25.12	2.48		62.30	-
HEB 260	Feuerverzinkter Stahl	25.12	2.48		62.30	-
HEB 280	Feuerverzinkter Stahl	25.12	2.48		62.30	-
HEB 300	Feuerverzinkter Stahl	47.69	2.48		118.27	-

6.4 Daten für Baumaterialien

6.4.1 Daten Schweiz

SCHWEIZ		Bezugs- einheit	Umrechnungs- faktor	THG-Emissionen	
Material	Quelle			Herstellung (A1-3)	Entsorgung (C3)
			kg/m3 oder kg/Bezugseinheit	kg CO2 eq/Bezugseinheit	
Polyethylenfolie	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 09.007, umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	920	2'530	2456.4
Aushub unverschmutzt	Prozess «disposal, excavation material, clean, 20% water, to excavation landfill/CH U» (KBOB, eco-bau und IPB, 2022)	m3	1850	0	0.22
Polypropylen	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 13.003; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	910	2'184	2156.7
Polyvinylchlorid	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 13.004; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	1'390	3'308	2919
LKW	KBOB-Daten (CH), 62.016, Lastwagen, Durchschnitt	tkm		0.142	
Photovoltaik Fassade, Marktmix	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 46.004, Photovoltaik Fassade, Marktmix	kWh		0.0594	
ENTSO-E-Mix	KBOB, 45.021, ENTSO-E-Mix (ehemals UCTE-Mix)	kWh		0.523	
Polyethylenvlies	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 09.008; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	920	2723.20	2456.4
Holzbeton (100 mm)	EPD_Holzbeton_ISO Tex (100 mm Tiefe); Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung KBOB-Daten für Verbundmaterialien, organisch-mineralisch	m2	48.37	26	1.74
Holzbeton (130 mm)	EPD_Holzbeton_ISO Tex (130 mm Tiefe); Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung, Verbundmaterialien, organisch-mineralisch	m2	74.98	40.20	2.70
Holzbeton (200 mm)	EPD_Holzbeton_ISO Tex (200 mm Tiefe); Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung, Verbundmaterialien, organisch-mineralisch	m2	76.99	41.4	2.77
Silicon-Fugenmasse	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 08.005; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	1'000	2720	187.00
Magerbeton (ohne Bewehrung)	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 01.001; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	2'150	107.93	27.09
Hochbaubeton (ohne Bewehrung)	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 01.002; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	2'300	204.01	28.98
Tiefbaubeton (ohne Bewehrung)	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 01.003; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	2'350	226.305	29.375
Bohrpfahlbeton (ohne Bewehrung)	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 01.004; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	2'325	226.305	29.0625
Betonfertigteil, Normalbeton, ab Werk	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 01.042; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	2'500	442.5	29.0625
Baukleber/Einbettmörtel mineralisch	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 04.008; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	1'400	550.2	17.78
Armierungsstahl	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.003	kg	7'850	0.773	0.0122
Stahlprofil, blank	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.012	kg	7'850	0.73	0.00693
Stahlblech, verzinkt	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.011	kg	7'850	4.48	0.00693
Chromstahlblech verzinkt	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.007	kg	7'700	4.48	0.00693
Kupferblech, blank	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.008	kg	8'900	2.20	0.00792
Aluminiumblech, blank	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.001	kg	2'690	5.57	0.00792
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetr., gehobelt, Produktion Schweiz	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 07.011.01	kg	465	0.117	0.04
Konstruktionsvollholz	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 07.023	kg	436	0.244	0.04
Dichtungsbahn Gummi (EPDM)	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 09.004	kg	1'100	2.74	3.10
Polycarbonat (PC)	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 15.003	kg	1'200	8.49	2.92
Glaswolle	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 10.001	kg	60	1.04	0.06
Steinwolle	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 10.008	kg	96	0.76	0.06
Strohballenwand	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 10.015	kg	215	0.10	0.00
Verzinken, Stahl	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 14.008	m2		6.09	0.00
Backstein	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 02.001	kg	900	0.254	0.01
Rundkies	'KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 03.012	kg	1650	0.00305	0.01

6.4.2 Daten Österreich

Österreich							
Material	Quelle	Bezugs- einheit	Umrechnungs- faktor	THG-Emissionen			
				Herstellung (A1-3)	Entsorgung (C3)	Transport Baustelle (C4)	Einbau (A5)
				kg CO ₂ eq/Bezugseinheit			
			kg/m ³ oder kg/Bezugseinheit				
Polyethylenfolie	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 09.007, umgerechnet auf m ³ (Bezugseinheit)	m ³	920	2'530	2456.4		
Polypropylen	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 13.003; umgerechnet auf m ³ (Bezugseinheit)	m ³	910	2'184	2156.7		
Polyvinylchlorid	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 13.004; umgerechnet auf m ³ (Bezugseinheit)	m ³	1'390	3'308	2919		
LKW	KBOB-Daten (CH), 62.016, Lastwagen, Durchschnitt	tkm		0.142			
Photovoltaik Fassade, Marktmix	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 46.004, Photovoltaik Fassade, Marktmix	kWh		0.0594			
ENTSO-E-Mix	KBOB, 45.021, ENTSO-E-Mix (ehemals UCTE-Mix)	kWh		0.523			
Polyethylenvlies	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 09.008; umgerechnet auf m ³ (Bezugseinheit)	m ³	920	2723.20	2456.4		
Holzbeton (100 mm)	EPD_Holzbeton_ISO Tex (100 mm Tiefe); Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung KBOB-Daten für Ver	m ²	48.37	26	1.74		
Holzbeton (130 mm)	EPD_Holzbeton_ISO Tex (130 mm Tiefe); Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung, Verbundmaterialien	m ²	74.98	40.20	2.70		
Holzbeton (200 mm)	EPD_Holzbeton_ISO Tex (200 mm Tiefe); Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung, Verbundmaterialien	m ²	76.99	41.4	2.77		
Silicon-Fugenmasse	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 08.005; umgerechnet auf m ³ (Bezugseinheit)	m ³	1'000	2720	187.00		
Hanfvlies	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_1_2025); UUID: 9a9f76b6-54f0-421e-9f8a-6a5db3a22e1d	m ³	38	58.25805042	75.47816148	0	0
Dichtungsprofil - M.O.L. Gummiverarbeitung - Extrudierte G	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_1_2025); UUID: c45db940-25ea-44f5-a77f-890826a33c3a	kg	1300	2.85	2.52	0.0662	0.035
XD(A)	GWP-Katalog	m ³	2400	55.83	21.11	8.2	1.08
C25/30/B5	GWP-Katalog	m ³	2400	182.64	21.11	8.2	1.08
C30/37/B5	GWP-Katalog	m ³	2400	189.77	21.11	8.2	1.08
C35/45/B5	GWP-Katalog	m ³	2400	235.39	21.11	8.2	1.08
C40/50/B5	GWP-Katalog	m ³	2400	254.34	21.11	8.2	1.08
C25/30/B7	GWP-Katalog	m ³	2400	201.1	21.11	8.2	1.08
C30/37/B7	GWP-Katalog	m ³	2400	215.19	21.11	8.2	1.08
C25/30/B9	GWP-Katalog	m ³	2400	179.35	21.11	8.2	1.08
C25/30/B11	GWP-Katalog	m ³	2400	185.57	21.11	8.2	1.08
Modifizierte mineralische Mörtel der Gruppe 2	GWP-Katalog	m ³	2000	767.2	25.1312	40.48	87.2
Stäbe und Ringe / Mittelwert	GWP-Katalog	t		565.75	17.595	47.58	12.2
Stab- und Profilstähle / Mittelwert	GWP-Katalog	t		505	10.9	55.06	12.2
Grobbleche (ab 5 mm Dicke) / Mittelwert	GWP-Katalog	t		1672	37.95	47.58	12.2
Fvz. Baustähle	GWP-Katalog	t		789	38.11	55.06	12.2
Hohlprofile / Mittelwert	GWP-Katalog	t		2410	4.305	55.06	12.2
Beschichtungssysteme gem. RVS 15.05.11 werkseitig	GWP-Katalog	m ²		5.02	0.192025833	0	0
Beschichtungssysteme gem. RVS 15.05.11 baustellenseitig	GWP-Katalog	m ²		1.07	0.008333333	0.000583333	3.95
KVH Konstruktionsvollholz Stora Enso	GWP-Katalog	m ³		-685	718.95	8.55	0.783
Massivholzplatte (Ein-, Zwei, Dreischichtplatte) (Tilly) (AT)	GWP-Katalog	m ³	525	-664	788.43	8.987	5.577
Brettschichtholz, Balkenschichtholz, (vorwiegend Fichte), H	GWP-Katalog	m ³		-608	754.40	8.93	5.577
Polycarbonatplatte	GWP-Katalog	kg		5.794	3.33	0	0
Holzbeton	GWP-Katalog	t		-47.573	177.67	9.006	5.343
Mineralwolle-Dämmstoff	GWP-Katalog	m ³	120	177	4.31	3.32	22.1
Aluminiumblech	GWP-Katalog	t		5040	7.53	14.13	0
Holzverschalung	GWP-Katalog	m ³		-642	767.81	8.93	5.577
Lärmschutz-Panele Plexiglas	GWP-Katalog	t		4280	240.00	14.13	1.642
Holzmantelbetonsteine bzw. -platte	GWP-Katalog	t		-444.236	512.74	22.105	0.749
Mauersteine / Schalsteine	GWP-Katalog	t		57.452	7.61	5.055	2.058
Kies (Korngröße 2 bis 63 mm)	GWP-Katalog	t		2.445	6.95	6.23	0.715231788
Erde	GWP-Katalog	t		2.17417316	6.95	6.23	0.715231788
Lärmschutz sockelbrett	GWP-Katalog; umgerechnet in m ³ mit Dichte von 2400 kg/m ³	t	2400	60.0625	3.85	3.770416667	1.317083333

6.4.3 Daten Deutschland

Deutschland									
Material	Quelle	Bezugs- einheit	Umrechnungs- faktor	THG-Emissionen					
				Herstellung (A1-3)	Entsorgung (C3)	Transport Baustelle (C4)	Transport zur Entsorgung (C2)	Einbau (A5)	
			kg/m3 oder kg/Bezugseinheit	kg CO2 eq/Bezugseinheit					
Polyethylenfolie	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 09.007, umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	920	2530	2456.4				
Aushub unverschmutzt	Prozess «disposal, excavation material, clean, 20% water, to excavation landfill/CH U» (KBOB, eco-	m3	1850	0	0.22				
Polypropylen	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 13.003; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	910	2184	2156.7				
Polyvinylchlorid	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 13.004; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	1390	3308.2	2919				
LKW	KBOB-Daten (CH), 62.016, Lastwagen, Durchschnitt	tkm		0.142					
Photovoltaik Fassade, Marktmix	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 46.004, Photovoltaik Fassade, Marktmix	kWh		0.0594					
ENTSO-E-Mix	KBOB, 45.021, ENTSO-E-Mix (ehemals UCTE-Mix)	kWh		0.523					
Polyethylenvlies	KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 09.008; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	920	2723.2	2456.4				
Holzbeton (100 mm)	EPD_Holzbeton_ISOTex (100 mm Tiefe); Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung KBOB-Daten für	m2	48.37	26	1.74132				
Holzbeton (130 mm)	EPD_Holzbeton_ISOTex (130 mm Tiefe), Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung,	m2	74.98	40.2	2.69928				
Holzbeton (200 mm)	EPD_Holzbeton_ISOTex (200 mm Tiefe), Entsorgung KBOB, 91.033, Entsorgung,	m2	76.99	41.4	2.77164				
Silicon-Fugenmasse	*KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 08.005; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	1000	2720	187				
Magerbeton (ohne Bewehrung)	*KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 01.001; umgerechnet auf m3 (Bezugseinheit)	m3	2150	107.93	27.09				
Mauerziegel (ungefüllt)	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	575	113	-10.1	4.15	0.942	0.824	
SAGLAN Glaswolle, phenolharzgebunden +A2	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	30	1.34496525	0	0.024067025	0.002068418	0.45467417	
Nadelschnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	484.51	-741.2519478	803.0404733	0	0.630148072	4.64443209	
SAGEX expandiertes Polystyrol	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	20	54.62880265	64.1930977	0.833142132	0.036090855	24.7953678	
Holzbetonmantelstein Normalstein N 15 ohne Füllbeton	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025) Isospan 4 GaBi Holzbetonmantelsteine Normalstein N 15	m3	393	-132.8398479	0	4.593667547	3.547460647	10.6702997	
ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoffe im mittleren Rohdichtebereich	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	24	115.4064319	0	2.489752794	0.355678971	6.82486702	
Polycarbonatplatte	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	1200	5.794135507	3.325708134	0	0.003714003	0	
Kupferbleche	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025); Dichte aus KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.008	kg	8900	5.059849298	0	0	0.004260091	0	
Aluminiumblech	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	2700	10.77069544	0	0	0.004260091	0	
Edelstahlblech	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	7900	10.77069544	0	0	0.003405944	0	
	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025) umgerechnet in kg (Quelle: EPD; Flächengewicht 5.72 kg/m2); Dichte aus KBOB-Daten (CH), ID-Nummer: 06.01	kg	7850	2.900324031	0	0	0.004645406	0	
Feuerverzinktes Stahlblech	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	7850	2.921894413	0	0.009217001	0.004260091	0	
Stahlprofil	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	7850	2.921894413	0	0.009217001	0.004260091	0	
Stahlprofil verzinkt (Elektrolichtbogenroute, hoher Schrottanteil)	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	7850	1.458659101	0	0.009217001	0.004260091	0	
Bewehrungsstahl	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	7850	0.642238044	0	0	0.004645406	0	
Hanfvlies	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	38	58.25805042	75.47816148	0	0.146441097	0	
Epoxidharzmörtel	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	0	4.983605072	1.653899115	0	0.005030721	0	
Transportbeton C30/37	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	2360	257.6935927	14.89746745	2.126683049	8.934802525	0	
Transportbeton C25/30	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	2300	221.6567981	14.86157512	2.115088082	8.913275991	0	
Beton-Mauersteine	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	2000	229.0393578	14.20709578	0	8.5201816	0	
Feuerverzinkter Stahl	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	7850	2.48	0	0	0.00721	0	
Mauermörtel-Normalmauermörtel	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	1500	0.0924	0	0.0115	0.00569	0.0318	
Dichtungsprofil - M.O.L. Gummiverarbeitung - Extrudierte Gummipprofile aus EPDM	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	kg	1300	2.85	2.52	0.0662	0.00867	0.035	
Transparente Platten PVC	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	1220	3900.629915	2999.047979	0	5.667395044	0	
Kies (Korngröße 2/32)	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025); umgerechnet in m3	m3	1850	5.06657095	13.1415638	7.881	7.88116835	0	
Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	Oekobaudat (Sheet OBD_2024_I_2025)	m3	492.92	-7.27E+02	8.16E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	

6.5 Daten zur Abschätzung der Stromerzeugung mit PV

Simulierte spezifische PV-Erträge für 3 verschiedene Standorte, 3 Neigungen und 5 Ausrichtungen					
Ins Netz einspeisbare elektrische Energie. Keine Verschattungen wurden berücksichtigt (weder Horizont, noch Nahverschattungen)					
				Bifazialitäts-Faktor (real):	
				0.68	<-- Bei Bedarf anpassen
Standort	Orientierung	Neigung	Mono-/Bifazial	Anordnung [1]	Spezifischer Ertrag (kWh/kWp/Jahr)
Zürich	O	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1012
Zürich	S-O	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1174
Zürich	S	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1241
Zürich	S-W	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1182
Zürich	W	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1015
Zürich	O	60	Monofazial	3a, 3b, 6	872
Zürich	S-O	60	Monofazial	3a, 3b, 6	1074
Zürich	S	60	Monofazial	3a, 3b, 6	1152
Zürich	S-W	60	Monofazial	3a, 3b, 6	1088
Zürich	W	60	Monofazial	3a, 3b, 6	876
Zürich	O	90	Bifazial	7	1098
Zürich	S-O	90	Bifazial	7	1078
Zürich	S	90	Bifazial	7	1028
Zürich	S-W	90	Bifazial	7	1105
Zürich	W	90	Bifazial	7	1100
Vienna	O	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1024
Vienna	S-O	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1191
Vienna	S	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1256
Vienna	S-W	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1197
Vienna	W	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1030
Vienna	O	60	Monofazial	3a, 3b, 6	880
Vienna	S-O	60	Monofazial	3a, 3b, 6	1090
Vienna	S	60	Monofazial	3a, 3b, 6	1164
Vienna	S-W	60	Monofazial	3a, 3b, 6	1099
Vienna	W	60	Monofazial	3a, 3b, 6	887
Vienna	O	90	Bifazial	7	1104
Vienna	S-O	90	Bifazial	7	1095
Vienna	S	90	Bifazial	7	1034
Vienna	S-W	90	Bifazial	7	1105
Vienna	W	90	Bifazial	7	1107
Kassel	O	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	917
Kassel	S-O	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1069
Kassel	S	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1128
Kassel	S-W	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	1066
Kassel	W	30	Monofazial	5a, 9b, 9a	905
Kassel	O	60	Monofazial	3a, 3b, 6	800
Kassel	S-O	60	Monofazial	3a, 3b, 6	994
Kassel	S	60	Monofazial	3a, 3b, 6	1066
Kassel	S-W	60	Monofazial	3a, 3b, 6	991
Kassel	W	60	Monofazial	3a, 3b, 6	784
Kassel	O	90	Bifazial	7	1002
Kassel	S-O	90	Bifazial	7	1007
Kassel	S	90	Bifazial	7	973
Kassel	S-W	90	Bifazial	7	1018
Kassel	W	90	Bifazial	7	999

[1] gemäss Tabellen 5 und 6 in "Studie über das Potenzial der Lärmschutzwände entlang von Autobahnen und Bahnstrecken für die Produktion von Solarenergie", 2021, e-parl

Für die Abschätzung der THG-Emissionen, die durch die Stromerzeugung im Bauwerk eingespart werden können, wird eine Schätzung der jährlich produzierten Strommenge benötigt. Sie wird mit der folgenden Formel abgeschätzt

$$Strom_{Menge\ pro\ Jahr} = A_{PV} * L_{PV} * P_{PV}$$

mit

- A_{PV} : Fläche der PV-Module (m^2)
- L_{PV} : Leistung der PV-Module pro Quadratmeter (kWp)
- P_{PV} : Erwartete jährliche Produktion pro installierter Leistung (KWh/kWp)

Die THG-Emissionen, die durch Erzeugung und Nutzung von Strom durch PV-Module an Lärmschutzsystemen am Standort eingespart werden können, werden mithilfe der folgenden beiden Formeln abgeschätzt:

$$GWP_{Einsparung_PV_Schweiz} = P_{PV} * (GWP_{PV_Fassade}) - GWP_{CH-Verbrauchermix}$$

$$GWP_{Einsparung_PV_Österreich/Deutschland} = P_{PV} * (GWP_{PV_Fassade}) - GWP_{ENTSO-E-Mix}$$

mit

- $GWP_{Einsparung_PV_Schweiz}$: Menge der jährlich durch PV eingesparten THG-Emissionen in der Schweiz ($kg\ CO_2\ eq/a$)
- $GWP_{Einsparung_PV_Österreich/Deutschland}$: Menge der jährlich durch PV eingesparten THG-Emissionen in Österreich oder Deutschland ($kg\ CO_2\ eq/a$)
- P_{PV} : erwartete jährliche Produktion (kWh)
- $GWP_{PV_Fassade}$: THG-Emissionen für die Produktion von Strom mit PV-Modulen ($kg\ CO_2\ eq/kWh$)
- $GWP_{CH-Verbrauchermix}$: THG-Emissionen für die Produktion des in der Schweiz verwendeten Stroms (inkl. Importe) ($kg\ CO_2\ eq/kWh$)
- $GWP_{ENTSP-E-Mix}$: THG-Emissionen für die Produktion von Strom im europäischen Stromverbund ($kg\ CO_2\ eq/kWh$)

Als Datengrundlage werden die Schweizer Ökobilanzdaten im Baubereich verwendet. Um eine länderspezifische Abschätzung für Österreich oder Deutschland zu erstellen, müssen die entsprechenden Daten im Tabellenblatt "Daten" überschrieben werden.

6.6 Im Text erwähnte Quellen

ASFiNAG (2023), CO₂-Fussabdruck von Lärmschutzwänden. ASFiNAG Bau Management GmbH, Schnirchgasse 17, 1030 Wien.

ASFiNAG (2023), LCCO₂-Tool V2.0. Ergebnis des VIF 2020 Forschungsprojektes „Decarbonisation First“ und der öbv Arbeitsgruppe „Ökodaten“ siehe auch: <https://www.vce.at/de/projekte/lcco2-berechnungstool>.

Kytzia S., Wörle L., Horat A., Osterwalder D., Pohl T. (2024), Treibhausgas- und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau – Anhang 2 . Materialstammdaten. Datengrundlagen der Abschätzung der Umweltwirkungen. Herausgeber: Stadt Zürich.

Werner F. (2019), Arbeitsbericht: Ökobilanz von Ausfachungselementen für Lärmschutzwände. Eine Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA Lignum und des Verbands der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft.

Xylo Sweden (2023), LCA study: REEDuce - Noise Protection Technologies. External consultants: Xylo Sweden AB. LCA practitioner: Martina Fridl, Xylo Sweden AB.

KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022, Ökobilanzdaten im Baubereich. Version 7.0, <https://www.kbob.admin.ch/de/oekobilanzdaten-im-baubereich>.