

LeWeLaS: Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände im System Bahn



Ao. Univ. Prof. DI Dr. Andrea Rieger-Jandl, Forschungsbereich Baugeschichte und Bauforschung, TU Wien



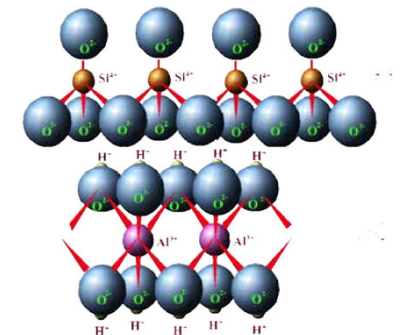
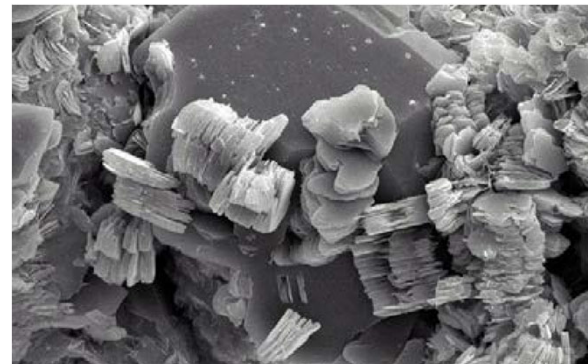
Projektpartner:

FoB Bahntechnologie und Mobilität, FH St. Pölten
FoB Baugeschichte und Bauforschung, TU Wien

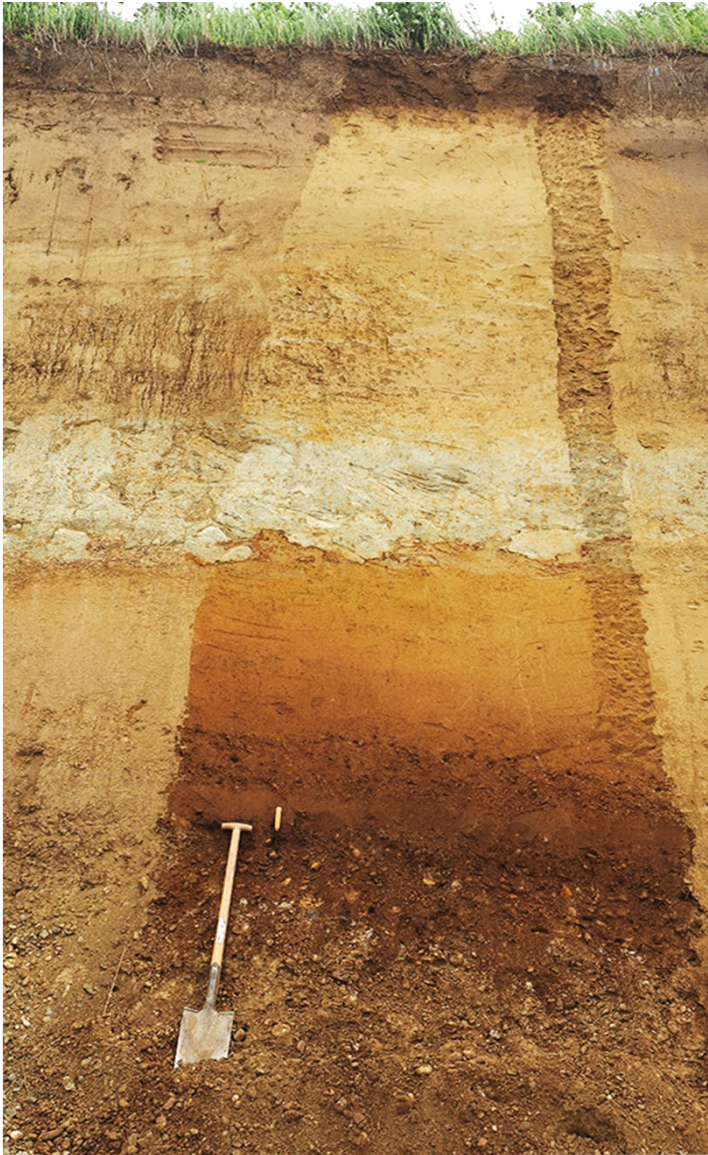
FFG Sondierungsprojekt
Sept. 2022 – Okt. 2023

Was ist Lehm?

- Lehm ist ein Verwitterungsprodukt aus mineralischen Komponenten: Ton, Schluff, Sand und Kies
- Lehm beinhaltet Ton als natürliches Bindemittel



© Roy Freeman, IG Lehm



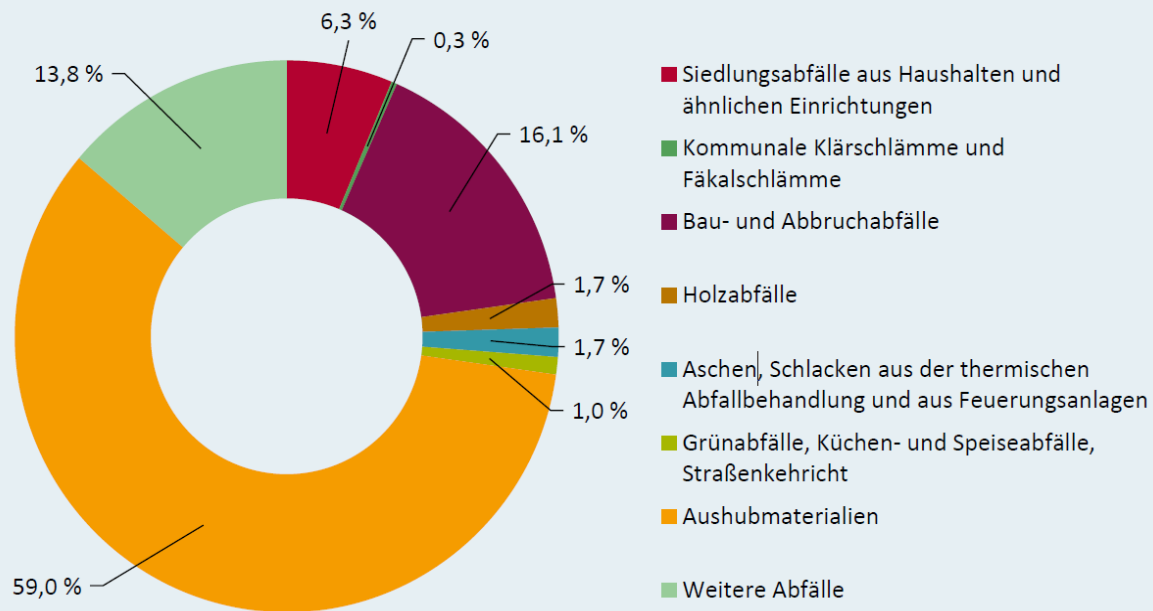
© Hermann, stock.adobe.com



© Michael Faulhaber

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Gesamtabfallaufkommen 2019 nach Abfallgruppen

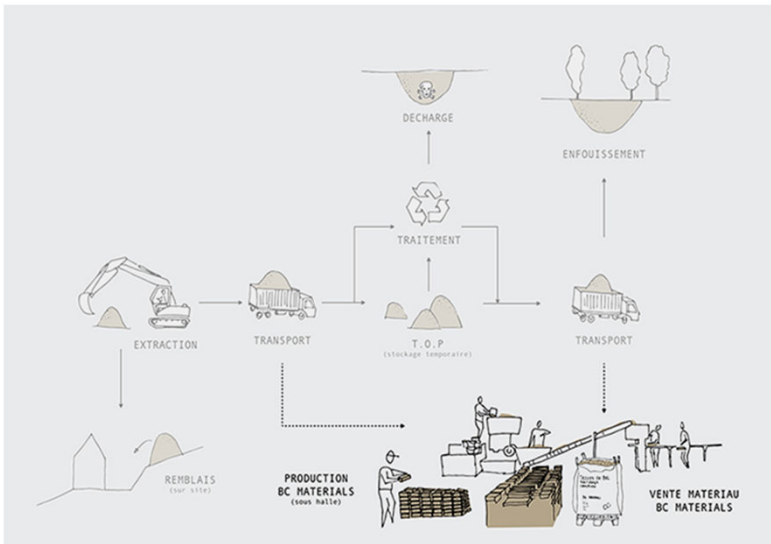


BM für Klimaschutz, 2021: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich – Statusbericht 2021, Referenzjahr 2019



© BC Materials

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände



© cycle terre

Cycle Terre, Frankreich



© amaco

BC Materials, Belgien



© BC Materials

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Parameter für die Entwicklung von LSW aus Lehm:

- Direkte Verwendung von Aushubmaterial (ohne aufwändige Aufbereitung und Mischung)
- Minimierung der Transportwege
- (Kosten)effiziente Herstellungsverfahren bzw. Produktionsanlagen
- Minimale CO₂-Belastung
- Kreislauffähigkeit

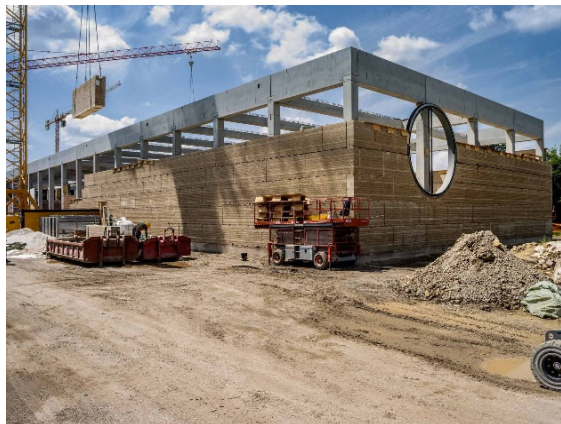
Untersuchte Lehmbautechniken

- Stampflehm
- Wellerlehm
- Robotische Systeme und 3D-Druck
- Lehm/Stahl (Gabionensystem)
- Hyper-Adobe

Stampflehm

Vorfertigung

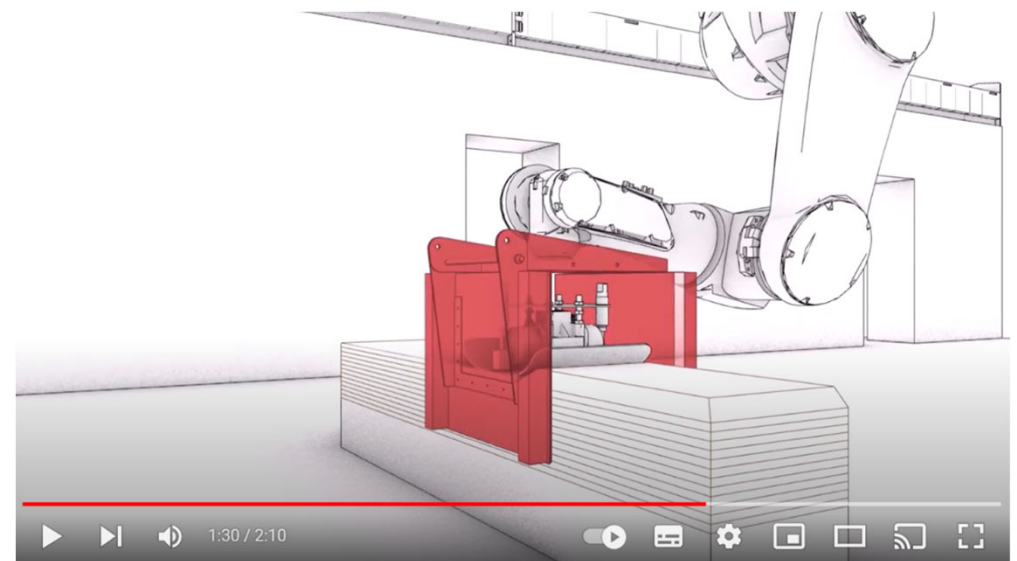
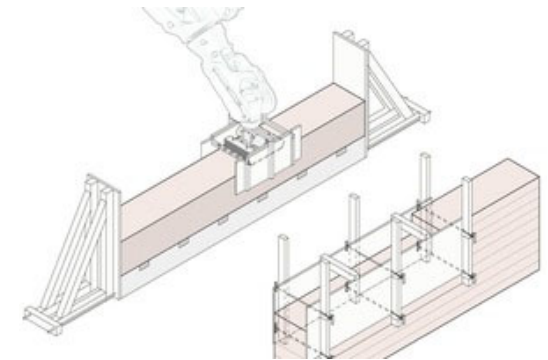
Ricola Gebäude, Laufen
Planung: Martin Rauch, Lehm Ton Erde



© Ricola, Laufen;
Markus Bühler-Rasom

Robotische Fertigung

TU Braunschweig: Forschungsprojekt:
Robotic formwork-free ramming



© <https://www.youtube.com/watch?v=F-0BvaeLBHw>, 7.7.2023

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Nachteile von Stampflehm für den Einsatz in Lärmschutzwänden:

- Die Qualität der Wand ist von sehr spezifischen Mischungsverhältnissen abhängig, weshalb der Aushub aufwändig aufbereitet werden muss
- Kontrollierte Verwitterung: 2-3 cm des Oberflächenmaterials wittert ab, bevor die Wand witterungsresistent ist. Dieses Abwitterungsmaterial stellt im Bahnbereich ein Problem dar
- Trotz Automatisierung benötigt Stampflehm einen aufwändigen und kostenintensiven Verarbeitungsprozess
- Die Vorfertigung der Wandelemente bzw. der Trocknungsprozess erfordert das Aufstellen einer Feldfabrik
- Bei robotischer Fabrikation muss die Wand während der Trocknungszeit vor Witterung geschützt werden
- Das Versetzen der vorgefertigten Elemente benötigt schweres Gerät
- Das notwendige Betonfundament wirkt sich erheblich auf die CO₂-Bilanz aus

Wellerlehm

Lärmschutzwandprojekt aus gepressten Lehmquadern in Nebelin; DE
TH Lübeck, Ute Reeh, Martin Rauch u.a.



© <https://zentrum-fuer-peripherie.org/startseite-test/projekte/brandenburgs-alhambra>; 23.8.2023

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

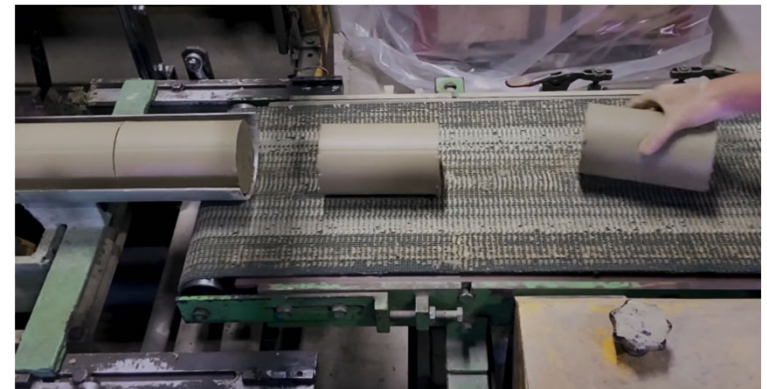
Nachteile von Wellerlehm für den Einsatz in Lärmschutzwänden:

- Lange Trocknungszeiten: Eine Wellerlage kann maximal 60 cm hoch aufgebaut werden, dann ist eine Trocknungszeit notwendig, während der die Wand vor Witterungseinflüssen geschützt werden muss
- Für die Herstellung vorgefertigter, gepresster Lehmquader muss eine Feldfabrik errichtet und es müssen Trocknungszeiten von mehreren Wochen in Kauf genommen werden
- Das Versetzen der Quader benötigt schweres Gerät
- Die Fugen der Quader stellen eine Schwachstelle dar
- Ein Betonfundament wäre notwendig, welches die CO₂-Bilanz erheblich schwächt

Robotische Systeme

Akustik Labor
Gramazio Kohler Architekten, ETH Zürich; Schweiz

© <https://gramaziokohler.arch.ethz.ch/web/d/projekte/430.html>, 26.7.2023



Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

3D - Druck

WASP-Projekt, Mario Cucinella Architects; Italien



© WASP / Crane System; <https://www.3dwasp.com/stampante-3d-per-case-crane-wasp/>
<https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-wall/>
<https://www.youtube.com/watch?v=4MLJs1KRa0Y> / 3.09 material mix

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Nachteile von robotischen und Druck-Verfahren für den Einsatz in Lärmschutzwänden:

- Aufgrund der langen Trocknungszeiten muss der Lehm bei 3D-Druckverfahren mit hydraulischen bzw. chemischen Zusätzen versetzt werden, um die Trocknung zu beschleunigen. Die vollständige Recyclingfähigkeit ist damit nicht mehr gegeben, die CO₂-Bilanz wird geschwächt
- Der Aushublehm muss aufwändig aufbereitet werden
- Die Baustelle muss während des gesamten Bauprozesses vor Witterung geschützt werden
- Roboter bzw. 3D-Drucker sind sensible Geräte und sind für die Verwendung im Außenraum nur bedingt geeignet

Bestehende Lärmschutzwandsysteme mit Lehmintegration

Lärmschutzwall



© Ralf Rödel

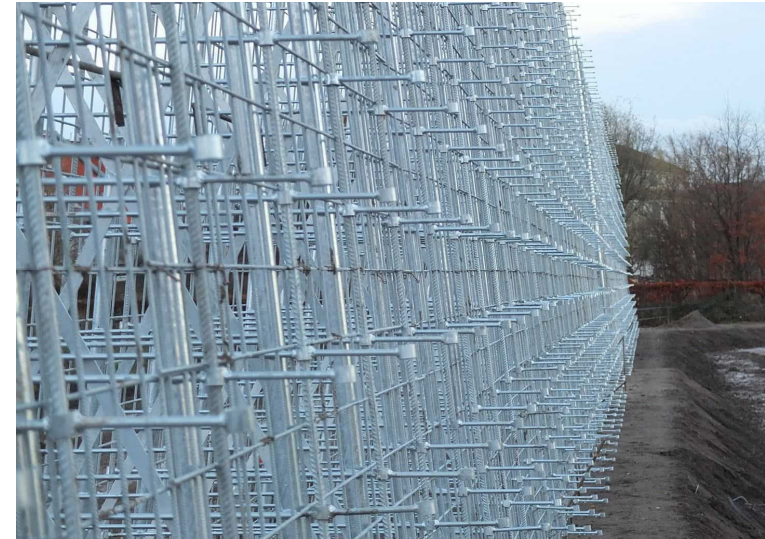
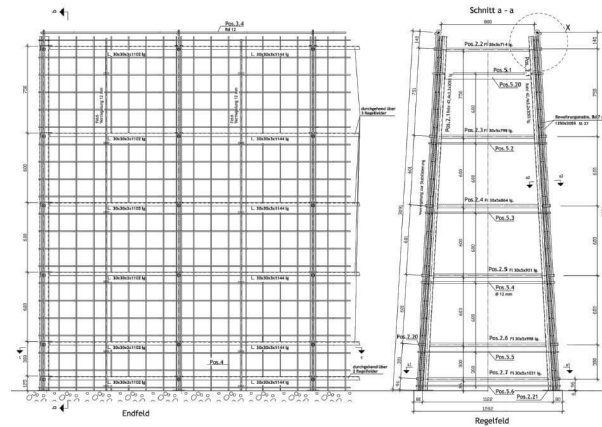
Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Stahl-Lehm-Verbundsystem

Fa. RAU, DE

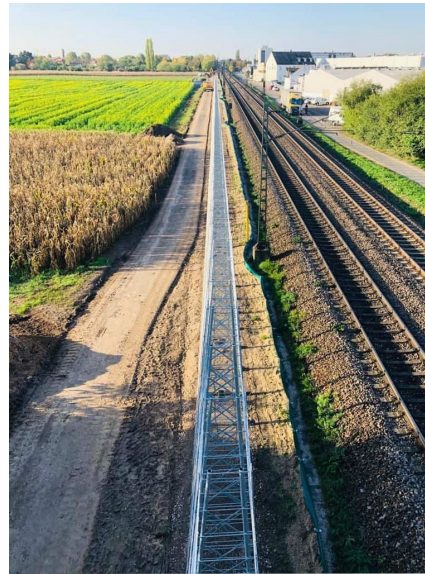
Fa. Knord, DE

Fa. Grünkonzept, AT



© <https://rau.de/de;>

© <https://www.k-nord.com/laerschutz>



Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Entwicklung Prototypen

Hyperadobe-System Lehmgefüllte Netzschläuche



© <https://www.earthbagbuilding.com/articles/hyperadobe.htm>, 11.9.2023



© <https://tinyshinyhome.com/hyperadobe-earthbag-solar-shed-office-tour>, 11.9.2023

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Warum Hyperadobe?

- Anfallendes Aushubmaterial kann ohne Aufbereitung im erdfeuchten Zustand eingebracht werden
- Die Netzschläuche können in einem fortlaufenden Verfahren befüllt und in beliebigen Längen eingebracht werden
- Das Verfahren benötigt keine Feldfabriken, Hallen bzw. aufwändige Fertigungsstraßen
- Durch die stabilisierenden Netze kann die Lärmschutzwand in voller Höhe durchkonstruiert werden, ohne lange Trocknungszeiten, die den Bauprozess verzögern
- Der Sockelbereich sowie die Abdeckung können im selben Verfahren ausgeführt werden, wobei hier eine witterungsbeständige Befüllung zur Anwendung kommt
- Die Struktur passt sich ohne Probleme der Topografie an, geschwungene Formen sind ebenso möglich wie gerade
- Die Netzschläuche könnten in einem durchgehenden Verfahren befüllt, aufgebracht und verdichtet werden
- Da das natürliche Material Lehm nach außen sichtbar ist, fügt sich die LSW in die natürliche Landschaft ein
- Die Lehmoberfläche bietet Nistmöglichkeiten für diverse Insekten und trägt damit zum Erhalt der Biodiversität bei
- Die Lärmschutzwand besteht zu über 90% aus Aushublehm und erfüllt damit sämtliche Kriterien eines gelungenen Kreislaufsystems.

Hyperadobe - Automatisierung



© <https://www.earthbagbuilding.com/articles/hyperadobe.htm>, 11.9.2023



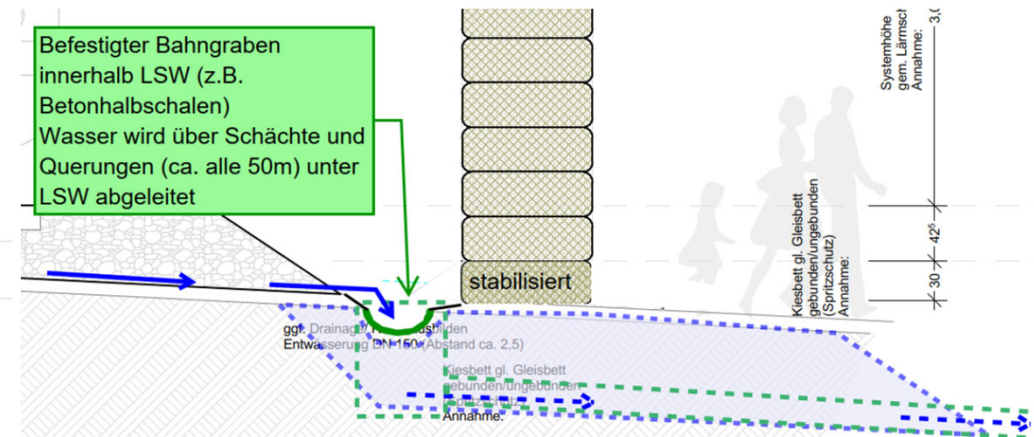
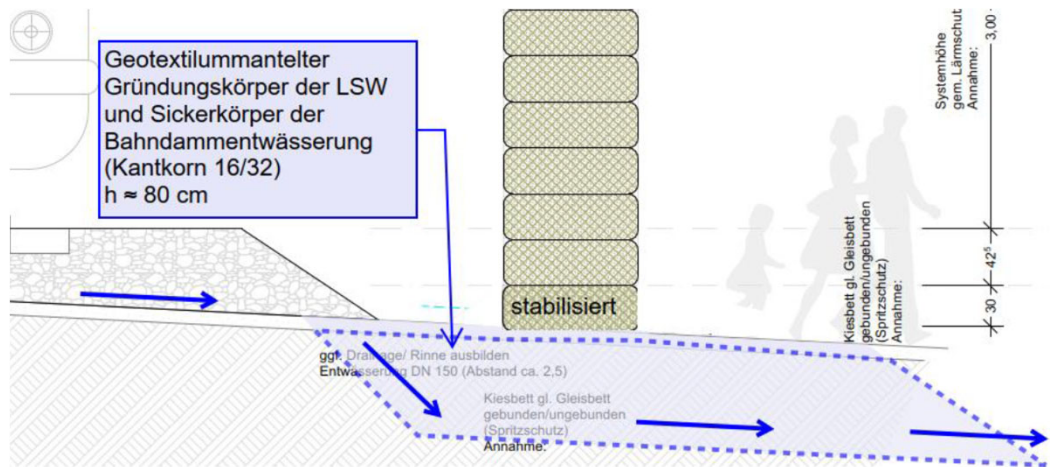
© <https://www.earthbagbuilding.com/articles/machines.html>, 11.9.2023

Verfahren, die als Orientierung dienen können



Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Statische Vordimensionierung



© ZT Mack

Nachweise

Standsicherheit:

$$\gamma_{LSW, \min} = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{LSW, \max} = 20 \text{ kN/m}^3$$

Veränderliche Lasten:

Die Winddruckbemessung (ÖNORM EN 1991-1-4) sowie die aerodynamischen Einwirkungen (ÖNORM EN 1991-2, Kap. 6.6) wurden berechnet. Mangels näherer Untersuchungen wurde von einer reduzierten Lastverteilung in Längsrichtung ausgegangen und eine Lasterhöhung gem. RVE 04.01.01 berücksichtigt.

Grundbruch- und Gleitnachweis:

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Grundbruchnachweis und den Gleitnachweis wurden gemäß ÖNORM EN 1990/A1, Tabelle A.2.4(B) für Tragsicherheitsnachweise (STR/GEO) ohne geotechnische Einwirkungen und zugleich entsprechend ÖNORM B 1997-1-2, Tabelle 1 gewählt.

Kippnachweis:

Der Nachweis wurde entsprechend ÖNORM B 1997-1-2 mit charakteristischen Beanspruchungen geführt.

Schalldämmung und Schallabsorption

(tgm | staatliche Versuchsanstalt)

Schalldämmung:

- Erforderliches bewertetes Schalldämmmaß: mind $R_w = 15$ dB (sehr günstig wäre ein $R_w = 30$ dB)

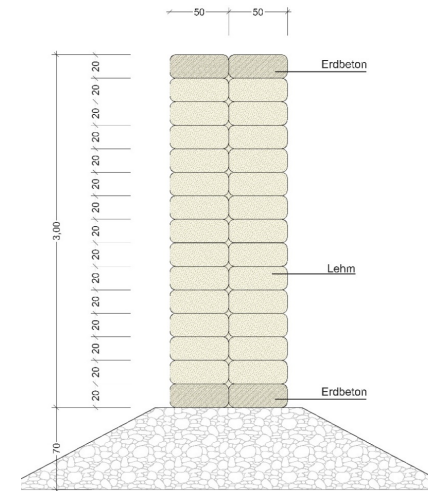
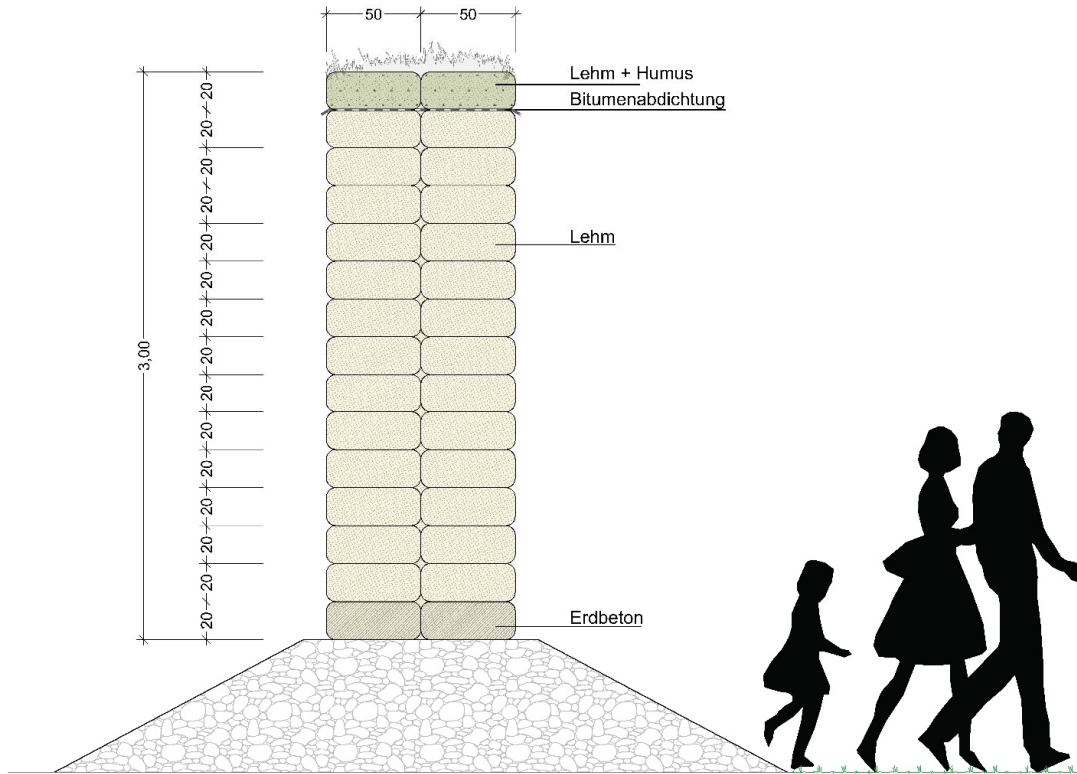
Annahmen: Lehmichte von mind. $\rho = 1200$ kg/m², Wandstärke von nur 500 mm (in den Entwürfen ist eine Stärke von 1000 mm vorgesehen)

Nach Begerschem Massengesetz ergibt sich ein bewertetes Schalldämm-Maß von $R_w \geq 60$ dB. Der sich so ergebende Wert liegt deutlich über dem genannten Mindestwert.

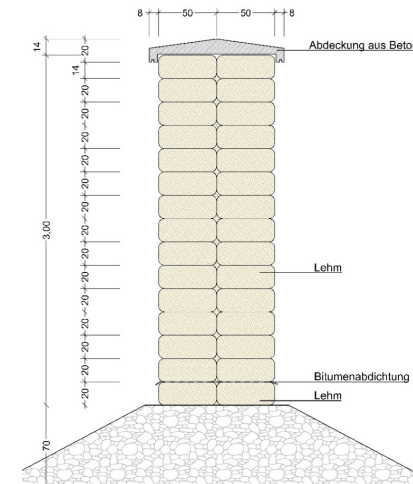
Schallabsorption:

- Lehmwände werden in der Berechnung lt. Kategorisierung (Richtlinie der Deutschen Bahn 804, Modul 804.5501) als nicht schallabsorbierend eingestuft. Hier muss in weiterer Folge eine Lösung gefunden werden, die über die Lebensdauer der Lärmschutzwand hinweg die erforderliche Porosität mit Sicherheit behält.

Bauteil 1

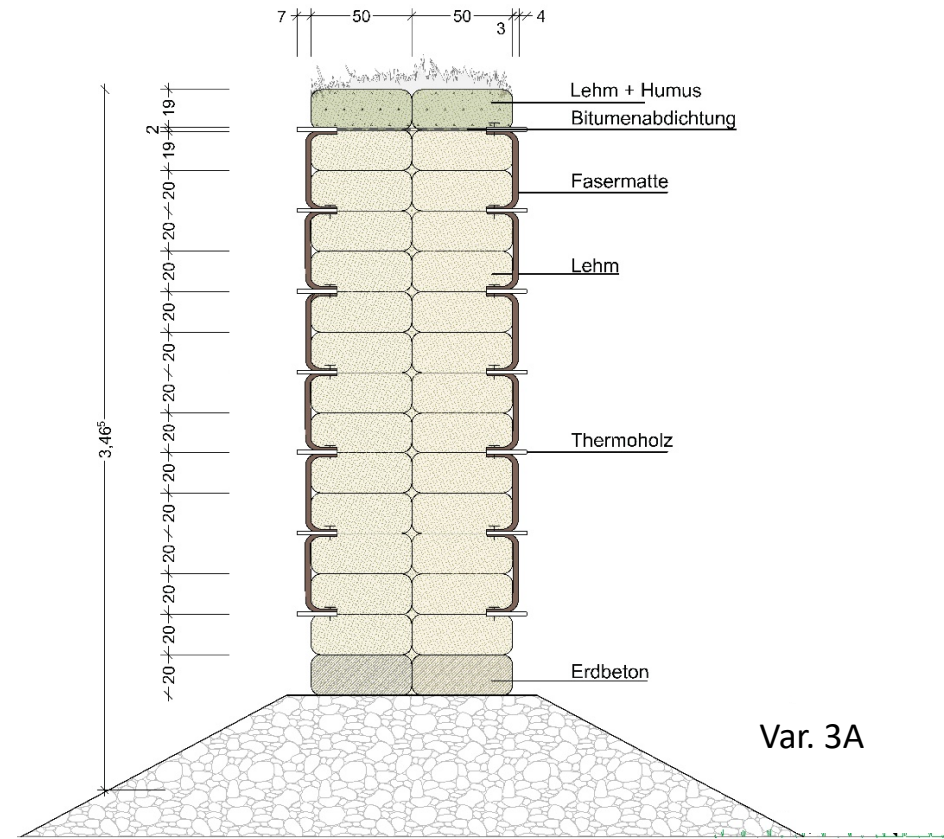
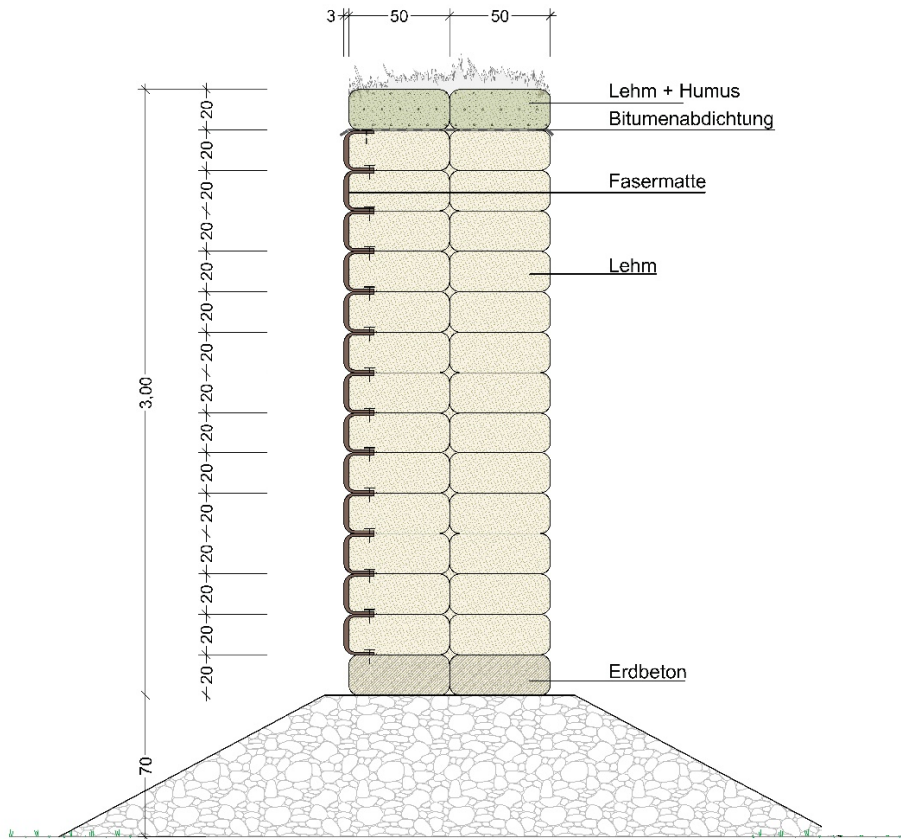


Var. 1A



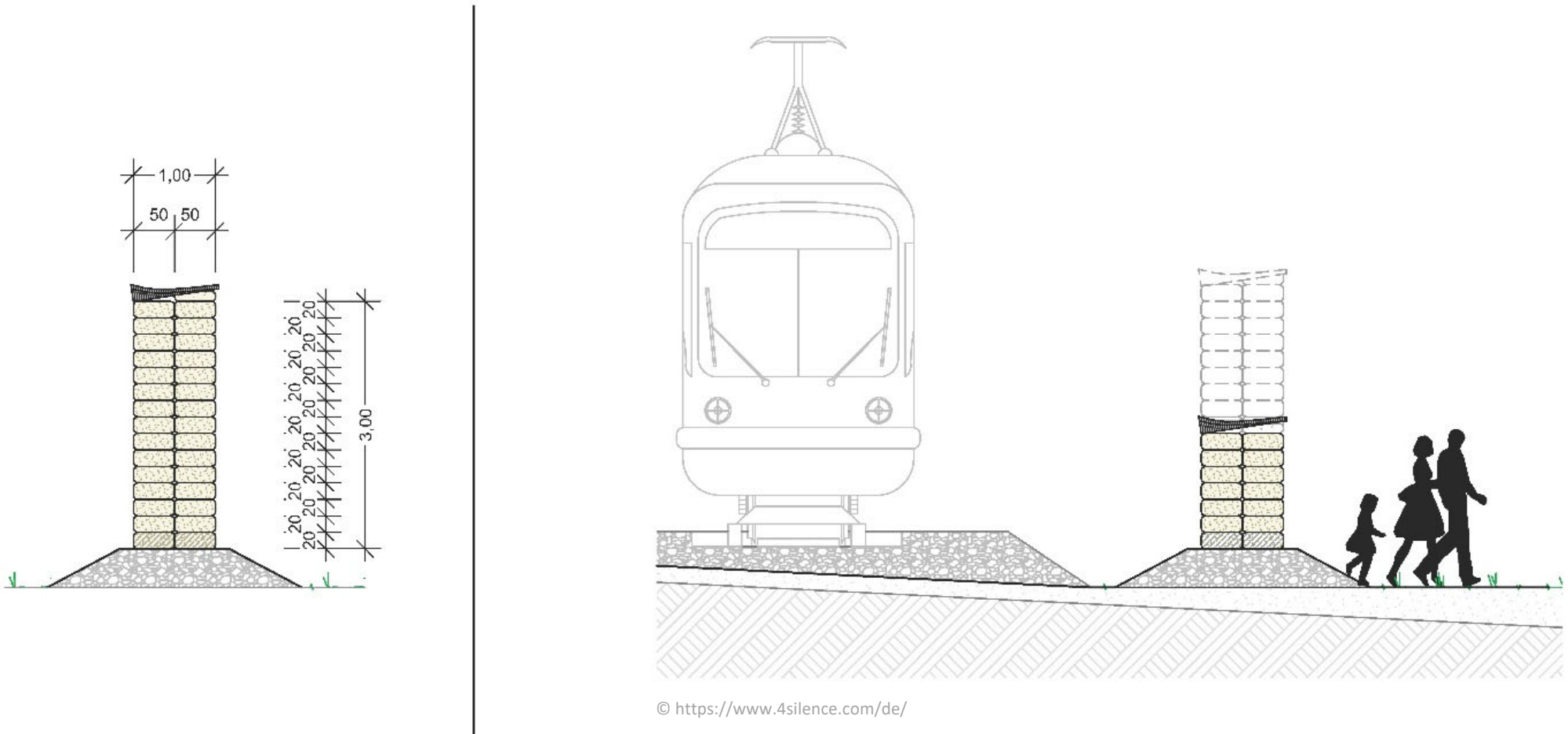
Var. 1B

Bauteil 3



Var. 3A

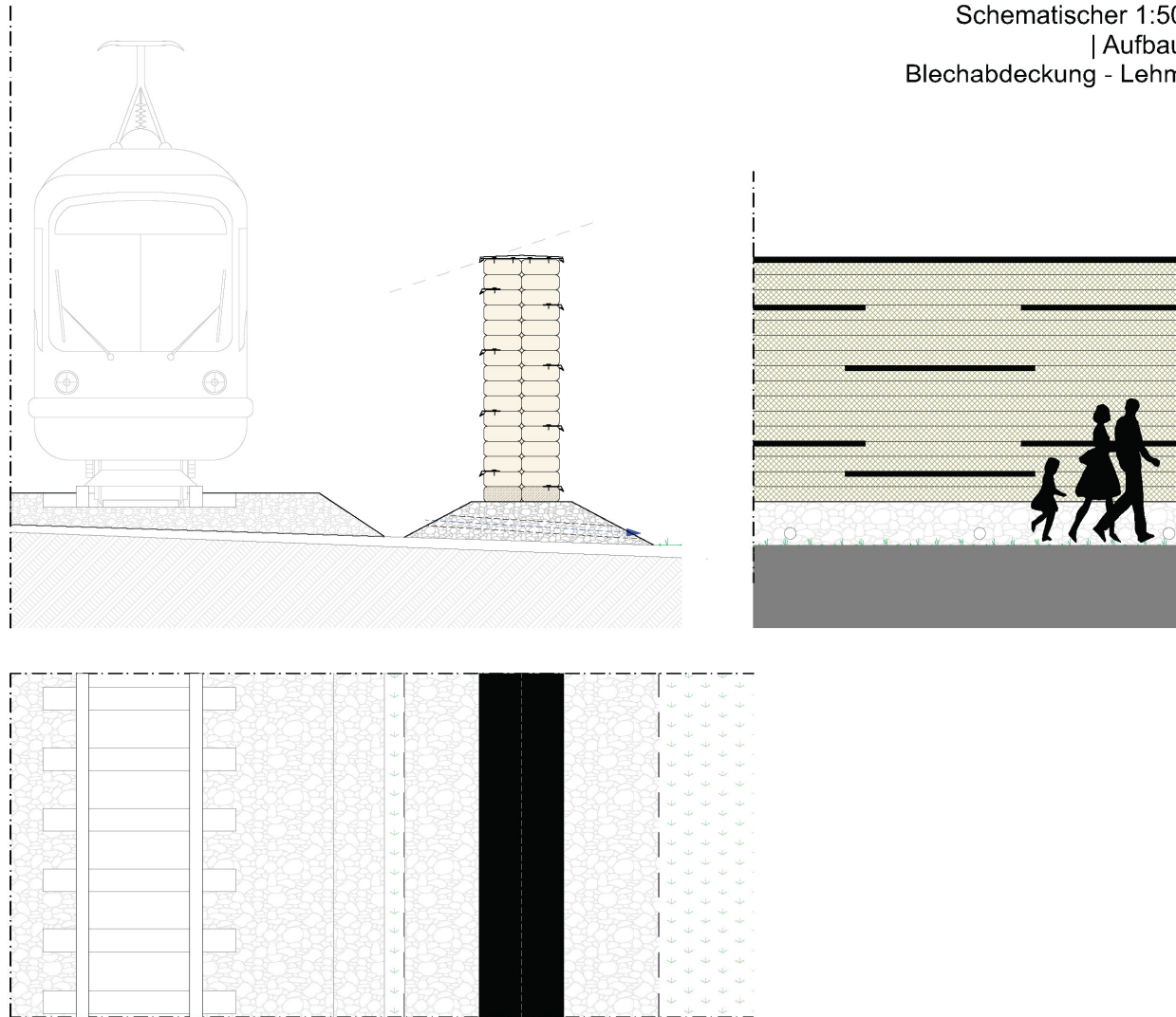
WHIS®wall - 4silence



© <https://www.4silence.com/de/>

Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Schematischer 1:50
| Aufbau
Blechabdeckung - Lehm



Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände

Folgeprojekt: Bau von Prototypen

Anhand von Prototypen sind folgende Parameter zu untersuchen:

- Eignung verschiedener Netzzusammensetzungen und Maschengrößen
- Überprüfung der Abriebfestigkeit bzw. des Erosionsgrades der mit Aushub gefüllten Netzschläuche unter Witterungseinfluss
- Auswirkung von Erosionsbremsen auf die langfristige Oberflächenbeschaffenheit
- Überprüfung des Verhaltens von Erdbeton mit unterschiedlich hohem Zementzuschlag
- Überprüfen der Standsicherheit unter Berücksichtigung möglicher Auswaschungen
- Überprüfung möglicher Gleitproblematik zwischen den Schichten
- Auswirkungen von Naturfasermatten (Kokosfaser, Hanf etc.) auf den Schallabsorptionsgrad
- Beständigkeit diverser Naturfasermatten unter Witterungseinfluss
- Observation der Wände in Bezug auf Biodiversität und Lebensraum für Insekten
- Erhebung sämtlicher CO₂-Werte der eingesetzten Materialien und Durchführung einer Prototypen-vergleichenden Life-Cycle-Analyse

LeWeLaS: Lehm als Werkstoff für Lärmschutzwände im System Bahn



Ao. Univ. Prof. DI Dr. Andrea Rieger-Jandl, Forschungsbereich Baugeschichte und Bauforschung, TU Wien

