



Umweltproduktdeklaration

nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804

CLAYTEC

Lehmmauermörtel nach DIN 18946

Deklarationsinhaber	Claytec GmbH & Co. KG, Nettetal, Strasse 113, 41751 Viersen
Herausgeber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Programmbetreiber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Deklarationsnummer	UPD_LMM_CLAY 2023007_PKRÜ5-DE
Ausstellungsdatum	06.12.2023
Gültig bis	05.12.2028



Umwelt-Produktdeklaration – Allgemeine Angaben

Programmbetreiber

Dachverband Lehm e.V.
Postfach 1172, 99409 Weimar
www.dachverband-lehm.de

Deklarationsnummer

UPD_LMM_CLAY 2023007_PKRÜ5-DE

Deklarationsbasis

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmmauermörtel (PKR LMM Version Ü5_2022_04)

Ersteller der Ökobilanz

Dipl.-Ök. Manfred Lemke
Westerstrasse 40
26506 Norden
Deutschland

Ausstellungsdatum

06.12.2023

Gültigkeitsdauer

05.12.2028

Verifizierung

Die Europäische Norm DIN EN 15804:2022-03 dient als Kern-PKR. Unabhängige Verifizierung der Deklaration nach DIN EN ISO 14025:2010 in Verbindung mit CEN ISO/TS 14071:2016

☐ intern ☒ extern



Dipl.-Ing. Stephan Jörchel
Dachverband Lehm e.V. (Programmbetrieb)



Dr.-Ing. Horst Schroeder
Verifizierer

Deklarationsinhaber

Claytec GmbH & Co. KG
Nettetal Strasse 113
41751 Viersen
www.claytec.de

Deklariertes Bauprodukt / Deklarierte Einheit

Die Umweltproduktdeklaration (UPD) für Lehmmauermörtel nach DIN 18946 mit den Bezeichnungen:

- Lehmmauermörtel schwer (Erdfeuchtverfahren)
- Lehmmauermörtel leicht (Erdfeuchtverfahren)
- Lehmmauermörtel leicht (Nachtrocknungsverfahren)

wurde nach der Muster UPD des Dachverbandes Lehm e.V. UPD_LMM_DVL2023002_PKRÜ5-DE erstellt. Als funktionale Einheit wurde ein Kilogramm Lehmmauermörtel (1 kg) analog zu DIN 18946 Anhang A.3 festgelegt.

Gültigkeitsbereich

Die vorliegende UPD bildet die Ökobilanz zur Herstellung der deklarierten Lehmmauermörtel nach DIN EN 15804 ab. Die Ökobilanz beruht auf Daten zu Energie- und Stoffströmen der Werke in Viersen. Bezugsjahr der Herstellerangaben ist das Jahr 2022.

Eine Haftung des Dachverbandes Lehm e.V. in Bezug auf dieser UPD zugrunde liegende Herstellerinformationen ist ausgeschlossen.



Prof. Dr. Klaus Pistol
Prüfgremium

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaustoffe

Umweltproduktdeklaration für die Baustoffkategorie Lehmmauermörtel (UPD LMM) nach DIN EN 15804

INHALT

1	Allgemeines.....	5
1.1	Normative Grundlagen.....	5
1.2	Nachverfolgung der Versionen.....	5
1.3	Begriffe / Abkürzungen.....	6
2	Produktdefinition.....	7
2.1	Geltungsbereich.....	7
2.2	Produktbeschreibung.....	7
2.3	Einsatzzweck.....	7
2.4	Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln.....	7
2.5	Gütesicherung.....	8
2.6	Lieferzustand.....	8
2.7	Bautechnische Eigenschaften.....	8
2.8	Brandschutz.....	8
2.9	Sonstige Eigenschaften.....	9
3	Ausgangsstoffe.....	9
3.1	Auswahl / Eignung.....	9
3.2	Stoffekläuterung.....	9
3.3	Bereitstellung.....	10
3.4	Verfügbarkeit.....	10
4	Produktherstellung.....	11
4.1	Erdfeuchtverfahren.....	11
4.2	Nachtrocknungsverfahren.....	12
4.3	Gesundheits- und Arbeitsschutz Herstellung.....	12
4.4	Umweltschutz Herstellung.....	12
4.4.1	Abfall.....	12
4.4.2	Wasser / Boden.....	12
4.4.3	Lärm.....	12
4.4.4	Luft.....	13
5	Produktverarbeitung.....	13
5.1	Verarbeitungshinweise.....	13
5.2	Arbeitsschutz / Umweltschutz.....	13
5.3	Restmaterial.....	13
5.4	Verpackung.....	14

6	Nutzungszustand.....	14
6.1	Ausgangsstoffe	14
6.2	Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit	14
6.3	Beständigkeit / Nutzungsdauer	14
7	Aussergewöhnliche Einwirkungen	14
7.1	Brand	14
7.2	Hochwasser	15
7.3	Havarie Wasserleitungen	15
8	Hinweise zur Nutzungsphase	15
9	Nachnutzungsphase	15
9.1	Recycling von LMM	15
9.2	Verwertung von Abfällen und Verpackungen	15
9.3	Entsorgung.....	16
10	Nachweise	16
10.1	Produkterstprüfung nach DIN 18942-100	16
10.2	VOC, TVOC.....	16
10.3	Radioaktivität	16
TEIL A SACHBILANZ		17
A.1	Funktionale Einheit	17
A.2	Betrachtungszeitraum	17
A.3	Ergebnisse der Sachbilanz.....	17
Teil B ÖKOBILANZ.....		19
B.1	Ziele der Analyse.....	19
B.2	Zielgruppen der Analyse	19
B.3	Referenznutzungsdauer	19
B.4	Abschneidekriterium	19
B.5	Annahmen und Abschätzungen.....	19
B.6	Datenqualität	21
B.7	Allokation.....	22
B.8	Ergebnisse der Ökobilanzierung (LCA)	22
TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ		23
C.1	Primärenergieeinsatz (PEI).....	23
C.2	Treibhausgaspotenzial GWP	24
C.3	Abriss und Aufbereitung	25

C.4	Rückgewinnungsszenarien	27
C.4.1	Szenario D1 Erdfeuchtverfahren	28
C.4.2	Szenario D2 Nachtrocknungsverfahren.....	28
C.4.3	Szenario D3 Trockendosiervverfahren.....	29
Teil D	TABELLENANHANG.....	31
D.1	Erdfeuchtverfahren LMM 01 – 02.....	31
D.1.1	Inputfaktoren	31
D.1.2	Wirkungsfaktoren	33
D.1.3	Outputfaktoren.....	35
D.2	Nachtrocknungsverfahren LPM 03	37
D.2.1	Inputfaktoren	37
D.2.2	Wirkungsfaktoren	38
D.2.3	Outputfaktoren.....	39
	ZITIERTE STANDARDS	40
	LITERATURQUELLEN	40

1 ALLGEMEINES

1.1 Normative Grundlagen

Dieses Dokument wurde auf der Grundlage folgender Normen sowie der in *Abs. 2.4* genannten Normen und Regeln erstellt:

- DIN EN 15804:2022-03, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*,
- DIN EN 15942: 2022-04, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Kommunikationsformate zwischen Unternehmen*,
- DIN EN ISO 14025:2011-10, *Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen, Grundsätze und Verfahren*,
- DIN EN ISO 14040:2021-02, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen*,
- DIN EN ISO 14044:2021-02, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen*.

1.2 Nachverfolgung der Versionen

Version	Kommentar	Stand
Ü1	Entwurf I nach Datenerhebung	Mai 2023
Ü2	Entwurf II nach Bilanzberechnung	Juli 2023
Ü3	Entwurf III, Hintergrundbericht	Aug 2023
Ü4	Entwurf IV nach vor Ort Besichtigung	Aug 2023
Ü5	Mit Hersteller abgestimmte Version	Okt 2023
Ü6	Verifizierte Version	Dez 2023

Version Ü6

Norden/Viersen, Dezember 2023

Kontakt Deklarationsinhaber:

Claytec GmbH & Co. KG
Nettetal Strasse 113
41751 Viersen
www.claytec.com

Kontakt Programmbetreiber:

Dachverband Lehm e. V., Postfach 1172; 99409 Weimar, Deutschland
dvl@dachverband-lehm.de · upd.dachverband-lehm.de

1.3 Begriffe / Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten in Verbindung mit den Allgemeinen Regeln für die Erstellung von Typ III UPD für Lehmbaumstoffe (Teil 2) [1] die nachfolgenden Begriffe und Abkürzungen:

Produktkategorieregeln (PKR) nach DIN EN 14025 enthalten eine Zusammenstellung spezifischer Regeln, Anforderungen oder Leitlinien, um Typ III Umweltproduktdeklarationen für eine oder mehrere Produktkategorien zu erstellen.

Typ III Umweltproduktdeklarationen (UPD) nach DIN EN 14025 sind freiwillig und stellen auf der Grundlage festgelegter Parameter quantitative, umweltbezogene Daten und ggf. umweltbezogene Informationen bereit, die den Lebensweg des Bauprodukts vollständig oder in Teilen abbilden.

Ökobilanz (LCA): für Baustoffe nach DIN EN 15804 Zusammenstellung und *Beurteilung* der In- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus

Sachbilanz (LCI): Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und *Quantifizierung* von In- und Outputs eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus umfasst.

Werk(trocken)mörtel werden aus ihren Ausgangsstoffen nach festen Rezepturen (trocken) im Herstellerwerk vorgemischt und in Gebinden (Sackware) / lose (Silo) an die Baustelle geliefert.

Lehmmauermörtel (LMM) besteht aus Baulehm sowie Zusatzstoffen und wird gemäß DIN 18946 nach steigenden Festigkeitsklassen M1 – M4 sowie den Rohdichteklassen 0,9 bis 2,2 klassifiziert. LMM der Rohdichteklassen 0,9 – 1,4 können als *Leichtlehmmauermörtel (LLMM)* bezeichnet werden.

Lehmsteine (LS) nach DIN 18945 sind ungebrannte, i. a. quaderförmige Baustoffe. Sie bestehen aus Baulehm, Sand und ggf. organischen Faserstoffen.

Lehmsteinmauerwerk (LSM) nach DIN 18940 besteht aus Lehmsteinen (LS) nach DIN 18945, Lehmmauermörtel (LMM) nach DIN 18946 und ggf. Lehmputzmörtel (LPM) nach DIN 18947.

Lehm-Rezyklat: nach Abbruch von Lehmsteinmauerwerk LSM rückgewonnenes Gemisch aus LS-Bruch mit anhaftenden Lehmmörtelresten.

Trockenlehm ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm.

LS Lehmstein

LSM Lehmsteinmauerwerk

LMM Lehmmauermörtel

LR Lehmbauregeln des Dachverbandes Lehm e. V. (DVL) [2]

AVV Europäische Abfallverzeichnis-Verordnung [3]

2 PRODUKTDEFINITION

2.1 Geltungsbereich

Diese Umweltproduktdeklaration (UPD) ist eine individuelle UPD des Herstellers, basierend auf der-UPD Musterdeklaration des Dachverbandes Lehm e. V. (UPD_LMM_DVL2023002_PKRÜ5-DE) für Lehmmauermörtel nach DIN 18946 [5]. Die vorliegende UPD bezieht sich auf erhobene Daten beim Deklarationsinhaber im Werk Viersen-Süchteln und umfasst die in *Tab. 2.1* deklarierten Produkte, gegliedert nach Verfahrensarten.

Die in *Tab. 2.1* deklarierten LMM des Herstellers CLAYTEC entsprechen dem Geltungsbereich der Muster-UPD für LMM des DVL:

Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung

Nr.	Hersteller	Werksanschrift	Verfahrensart	Produktbezeichnung
LMM 01	Claytec GmbH & Co. KG	Süchtelner Str. 188, 41747 Viersen	Erdfeucht	Lehmmauermörtel schwer
LMM 02	Claytec GmbH & Co. KG	Süchtelner Str. 188, 41747 Viersen	Erdfeucht	Lehmmauermörtel leicht
LMM 03	Claytec GmbH & Co. KG	Süchtelner Str. 188, 41747 Viersen	Nachtrocknung	Lehmmauermörtel leicht

2.2 Produktbeschreibung

Die Ausgangsmischungen für LMM nach DIN 18946 bestehen aus Baulehm, mineralischen und pflanzlichen Zusatzstoffen. Die Erhärtung des LMM im Mauerwerk erfolgt durch Verdunstung des Anmachwassers. Erhärteter LMM kann durch Wasserzugabe replastifiziert werden.

Die vorliegende Deklaration unterscheidet zwei produktspezifische Verfahren zur werksmäßigen Herstellung von LMM:

- *ungetrocknete* LMM (leicht und schwer), die im erdfeuchten Zustand hergestellt werden (*Erdfeuchtverfahren*),
- *nachgetrocknete* LMM (leicht), die erdfeucht vorgefertigt wurden und anschließend eine Trocknungsanlage durchlaufen (*Nachtrocknungsverfahren*);

2.3 Einsatzzweck

LMM nach DIN 18946 dienen als Baustoff zur Herstellung von tragendem und nichttragendem Mauerwerk (Wände, Trennwände, Ausfachungen) aus Lehmsteinen (LS) nach DIN 18945 und LR DVL [2]. Für tragendes Lehmsteinmauerwerk (LSM) gilt DIN 18940.

Leichtlehmmauermörtel LLMM ($\rho_d \leq 1.200 \text{ kg/m}^3$) werden zur Ausführung von nicht tragendem Mauerwerk aus wärmedämmenden Leichtlehmsteinen angewendet.

2.4 Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln

Für die Zulassung / das Inverkehrbringen von LMM gelten folgende Normen und Anwendungsregeln:

- DIN 18940:2023-03, *Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Bemessung, Konstruktion u. Ausführung*,
- DIN 18942-1:2018-12, *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe*,

- DIN 18942-100:2018-12, *Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*,
- DIN 18946:2018-12, *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*,
- Lehmbau Regeln des Dachverbandes Lehm e. V. (LR DVL) [2],

Weiterhin gelten die PKR LMM [5] und damit im Zusammenhang das Dokument „Teil 2“ mit den entsprechenden Begriffsbestimmungen und Abkürzungen [1], das Technische Merkblatt TM 05 des DVL [6] sowie die entsprechenden Arbeitsblätter der Hersteller. Darüber hinaus müssen die Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung AVV) [3] sowie die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) [7] beachtet werden.

2.5 Gütesicherung

Die Gütesicherung des Herstellungsprozesses von LMM nach DIN 18946 erfolgt gem. DIN 18942-100.

2.6 Lieferzustand

Erdfeucht hergestellte LMM werden in nicht luftdicht verschlossene, wasserfeste Gewebesäcke verpackt, transportiert, gelagert und zu den Baustellen geliefert (LMM 01, 02).

Nachgetrocknete LMM (Werk-Trockenmörtel) werden in geschlossenen Papiersäcken verpackt, transportiert, gelagert und zu den Baustellen geliefert. Getrocknete LMM sind unbegrenzt lagerfähig (LMM 03).

2.7 Bautechnische Eigenschaften

Die deklarierten LMM erfüllen die Vorgaben nach DIN 18946.

Der „schwere“ LMM nach dem Erdfeuchtverfahren der Rohdichteklasse 2,0 / Festigkeitsklasse M3 erfüllt die Anforderungen für tragendes Lehmsteinmauerwerk (LSM) nach DIN 18940. Der „leichte“ LMM der Rohdichteklasse 1,4 enthält Holzspäne als organischen Zusatzstoff.

Tab. 2.2 Bautechnische Eigenschaften der deklarierten LMM

Eigenschaft / Prüfung n. DIN 18946	LMM 01 schwer, feucht	LMM 02 leicht, feucht	LMM 03 leicht, nachgetrocknet	Einheit/ Klasse/ Erläuterungen
<i>Rohdichteklasse</i>	2,0	1,4	1,4	Tab. 2.1
<i>Festigkeitsklasse Druckfestigkeit Haftscherfestigkeit</i>	M 3 3,0 0,08	M 0 < 3,0	M 0 < 3,0	N/mm ² N/mm ²
<i>Wärmeleitfähigkeit</i>	1,1	0,59	0,59	W/mK
<i>lineares Trocknungsschwindmaß</i>	< 2,5	< 3,0	< 3,0	%
<i>Korngruppe, Überkorngröße</i>	0/4, < 8	0/4, < 8	0/4, < 8	mm
<i>Aktivitätskonzentrationsindex natürlicher Radionuklide I_A</i>	<1	<1	<1	–

Eine Untersuchung auf natürliche Radionuklide erfolgte gem. DIN18946, A.2. Es gelten die Stoffverbote und -beschränkungen nach DIN18946 und natureplus RL 0803 [8].

2.8 Brandschutz

Die Baustoffklasse von Lehmwerkmörteln wird durch Prüfung nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1 bestimmt. LMM schwer (Nr. 1 Tab. 2.1) sind der Baustoffklasse A1 (nicht brennbar),

LMM leicht (*Nr. 2, 3 Tab. 2.1*) der Baustoffklasse B2 zugeordnet. Vorbehaltlich brandschutztechnischer Belegprüfungen ist eine bessere Einordnung möglich.

2.9 Sonstige Eigenschaften

LMM nach DIN 18946 können nach Erhärtung durch Wässerung vom Mauerwerk separiert, replastifiziert oder trocken zu Lehm-Rezyklat zermahlen werden. Sie können dann als LMM oder Ausgangsstoff für neue Lehmbaumstoffe wieder- bzw. für Anwendungen außerhalb des Lehmbaus weiterverwertet werden (*Abs. 8.1*).

3 AUSGANGSSTOFFE

3.1 Auswahl / Eignung

Für die Auswahl der Ausgangsstoffe / Vorprodukte gelten die PKR LMM [5]. *Tab. 3.1* zeigt die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe der deklarierten LMM.

Tab. 3.1 Ausgangsstoffe der deklarierten LMM

Nr.	Ausgangsstoffe	Anteile in der Ausgangsmischung [M.-%]		
		LMM 01	LMM 02	LMM 03
1	Primärgrubenlehm			
2	Sekundärgrubenlehm	X	X	X
3	Primärrecyclinglehm			
4	Trockenlehm			
5	Sand 0/2, ungetrocknet	X	X	X
6	Sand 0/4, getrocknet			
7	Sand 0/4, ungetrocknet			
8	Pflanzenteile / -fasern			
9	Unbehandelte Holzteile / -späne		X	X

3.2 Stofferläuterung

Baulehm gemäß LR DVL [2] ist zur Herstellung von Lehmbaumprodukten geeigneter Lehm, bestehend aus einem Gemisch aus schluffigen, sandigen bis kiesigen Gesteinskörnungen und bindekräftigen Tonmineralien. Der Abbau geschieht oberflächennah frei von Wurzeln und Humusanteilen mittels Schürfkübelraupe /Radlader nach DIN 18300. Beim Abbau von Grubenlehm und Sand werden Belange des Naturschutzes beachtet.

Baulehm wird unterschieden nach Grubenlehm, Trockenlehm und Recyclinglehm.

Grubenlehm wird erdfeucht dem geologisch „gewachsenen“ Boden entnommen und ist natürlicher Primärrohstoff [2] mit unterschiedlicher granulometrischer sowie schwankender mineralogischer Zusammensetzung (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaCO_3). Dadurch können sich je nach Lehmvorkommen unterschiedliche plastische Eigenschaften während der Aufbereitung und Verarbeitung (mager / fett) sowie Farben des Endprodukts ausbilden. Je nach Verwertung wird unterschieden:

- *Primärgrubenlehm* wird zielgerichtet für die Herstellung von Lehmbauprodukten abgebaut und verwendet.
- *Sekundärgrubenlehm* fällt beim Ton-, Sand-, Kies- und Kalkabbau oder anderen Erdarbeiten für Baumaßnahmen als *Boden- / Lehmaushub* [1] an und kann als Sekundärrohstoff weiterverwertet werden. Er verliert dann seine Abfalleigenschaft (*Abs. 8.1*).

Trockenlehm ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm. *Tonmehl* ist natürlicher, getrockneter, ggf. gemahlener Ton, der zur Erhöhung der Bindekraft magerer Grubenlehme verwendet werden kann. Trockenlehm sowie getrocknete Gesteinskörnungen enthalten „graue“ Wärmeenergie aus Vorprozessen, die nach Art und Menge im Rahmen der Ökobilanz erfasst werden (*Abs. 8.1*).

Recyclinglehm ist aus Abbruchbauteilen rückgewonnener Lehmbaumstoff [2]. Er liegt i. d. R. als Bestandteil von LSM oder Baumischabfall (Bauschutt / Baustellenabfälle) vor und muss durch geeignete Trennverfahren von anderen Abfällen separiert werden. Er kann trocken zu Lehm-Rezyklat zerkleinert oder durch Zugabe von Wasser separiert, replastifiziert und als Baulehm im Produktionsprozess weiterverwertet werden. Je nach Verwertung wird unterschieden nach:

- Primärrecyclinglehm / Lehm-Rezyklat wird zielgerichtet als Lehmbaumstoff wiederverwertet.
- Sekundärrecyclinglehm wird für Anwendungen außerhalb des Lehmbaus weiterverwertet (z. B. Abtrennung der Sandkornfraktion für Betonherstellung, Erdbau).

Mineralische Zusatzstoffe / natürlich: natürliche Sandkörnungen (DIN EN 12620 / DIN EN 13139) mit dem Hauptmineral Quarz sowie natürlichen Neben- und Spurenmineralien. Sie beeinflussen die bauphysikalischen (Trockenrohdichte, Wärmeleitung, Trocknungsschwindmaß) und die baumechanischen (Festigkeits-) Eigenschaften des Endprodukts, vor allem aber die plastischen Eigenschaften des Baulehms. Natürliche Gesteinskörnungen sind Bestandteile geologisch „gewachsener“ Strukturen und können problemlos in geogene Kreisläufe zurückgeführt werden.

Organische Zusatzstoffe / natürlich: zerkleinertes, chemisch unbehandeltes Holz / -späne (keine Holzwerkstoffe). Durch organische Zusatzstoffe können die bauphysikalischen Eigenschaften des Endprodukts beeinflusst werden. Faserartige Zusatzstoffe wirken einer Rissbildung des LMM bei Austrocknung / Erhärtung entgegen.

Wasser ist „Anmachwasser“ und zum Erreichen der geeigneten Verarbeitungskonsistenz des LMM grundsätzlich notwendig. Durch Verdunstung des Anmachwassers erhärtet der LMM und erreicht seine vorgesehenen Produkteigenschaften. Erhärteter LMM kann durch Wasserzugabe replastifiziert und für neuen LMM oder in anderen Prozessen baustofflich verwertet werden.

3.3 Bereitstellung

Alle deklarierten LMM basieren auf Sekundärgrubenlehm, der als Bodenabfall bei der Kiesgewinnung, dem Kalkabbau oder anderen Erdarbeiten anfällt und mit der Wiederverwertung als Ausgangsstoff für die Herstellung von LMM seine Abfalleigenschaft verliert.

3.4 Verfügbarkeit

Alle mineralischen Rohstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit als „geologisch gewachsene“ Naturstoffe generell begrenzt. Bei Erdarbeiten (z. B. Kies-, Sandgewinnung, Kalkabbau, Tiefbau) anfallender, geeigneter lehmhaltiger Bodenaushub [1] wird als Sekundärrohstoff für die in dieser Deklaration erfassten LMM verarbeitet. Die Weiterverwertung von lehmhaltigem Bodenaushub als *Sekundärgrubenlehm* für die Herstellung von Lehmbaumstoffen spart Deponieraum, ersetzt

Primärrohstoffe und verlängert da-durch deren Verfügbarkeit. Der Bodenaushub verliert dadurch seine Abfalleigenschaft.

Ein bisher kaum erschlossenes Rohstoffpotenzial für die Herstellung von Lehmbaumstoffen ist die Rückgewinnung von LMM oder von mineralischen Komponenten in LMM aus Abbruchbauteilen / Baumischabfall als Primär- bzw. Sekundärrecyclinglehm (*Abs. 8.1*) [1, Bild 3.3]. Aufgrund der besonderen hydraulischen Eigenschaften des Bindemittels Lehm ist eine Replastifizierung und Wiederverwertung von Lehmsteinbruch mit LMM-Anhaftungen jederzeit möglich. Eine Rohstoffknappheit besteht nicht.

Alle Pflanzenteile und -fasern sind nachwachsende Rohstoffe.

4 PRODUKTHERSTELLUNG

Die Verfahrensarten zur Herstellung der deklarierten LMM (*Tab. 2.1*) unterscheiden sich hinsichtlich der Energiebilanzen und Umweltwirkungen. Analysiert werden LMM nach dem Erdfeuchtverfahren und dem Nachtrocknungsverfahren.

4.1 Erdfeuchtverfahren

Alle deklarierten LMM können aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften im erdfeuchten Zustand gemischt, verpackt, gelagert, transportiert und verarbeitet sowie nach Erhärtung replastifiziert werden. Das ermöglicht ein Verfahren zur Dosierung, Mischung und gravimetrischen Absackung, das keine thermische Behandlung der Komponenten und keine Wasserzugabe erfordert (*Erdfeuchtverfahren*).

Das Erdfeuchtverfahren umfasst folgende Prozessschritte mit ggf. dazwischen liegenden Transporten:

1. Bereitstellung von erdfeuchtem Baulehm / Lehmaushub und Ausgangsstoffen,
2. mechanische Zerkleinerung des Baulehms im Kollergang / Walzwerk / Siebung. Der fertig aufbereitete Baulehm / Lehmaushub ist erdfeucht, besitzt eine krümelige Struktur und ist gut rieselfähig.
3. Aussiebung von groben Gesteinskörnungen (Überkorn nach DIN 18946) im Baulehm und im Zusatzstoff Sand,
4. Förderung des aufbereiteten Lehms und des ungetrockneten, gesiebten Sandes gemäß Rezeptur aus Vorratsbehältern in den Mischer,
5. nur für LMM 2 und 3 „leicht“: Zufuhr von unbehandelten Holzspänen gemäß Rezeptur in den Mischer,
6. Mischvorgang (ohne Wasserzugabe),
7. Absackung des Fertigproduktes in feuchtestabile Transportverpackungen (PP-Big Bags) zum Transport auf Mehrweg-Holzpaletten.

Bild 4.1 zeigt ein Produktionsschema für LMM nach dem Erdfeuchtverfahren:



Bild 4.1 Produktionsschema für LMM 01 „schwer“ und LMM 02 „leicht“, Erdfeuchtverfahren

4.2 Nachtrocknungsverfahren

Erdfeuchte LMM, die als Fertigmischung nach dem Erdfeuchtverfahren (*Bild 4.1*) vorbehandelt wurden, können in einem unmittelbar anschließenden Prozess technisch getrocknet werden (*Nachtrocknungsverfahren*). Die Trocknung erfolgt in Trommeltrocknern für Schüttgüter, beheizt mit Flüssiggas. Das Nachtrocknungsverfahren findet nur Anwendung für LMM 03 mit Holzspänen.

Nach Trocknung werden die LMM als feinkörnige, rieselfähige Massen in 25 kg Kraftpapiersäcke ohne Folieneinlage abgepackt und auf Holzpaletten ausgeliefert.

Die Nachtrocknung schließt unmittelbar an den Mischvorgang an (*Abs. 4.1.1, Pkt. 6*):

7. direkte Zuführung in den Trommeltrockner (z. B. offene Transportbänder),
8. Trocknung, z. B. nach dem Drehofenprinzip, in einem speziell angepassten Trommeltrockner,
9. Reduktion des Feuchtegehaltes von „erdfeucht“ (ca. 8-12 M.%) auf „getrocknet“ (ca. 2-4 M.%)
10. Absackung in Kraftpapiersäcke ohne Folieneinlagen.

4.3 Gesundheits- und Arbeitsschutz Herstellung

Die Grenzwerte der TA Luft [9] werden eingehalten.

4.4 Umweltschutz Herstellung

4.4.1 Abfall

Die anfallenden mineralischen Abfälle, z. B. abgesiebtes Überkorn, gehen zurück in den Produktionsprozess auf derselben Anlage.

4.4.2 Wasser / Boden

Belastungen von Wasser / Boden entstehen nicht. Die Restfeuchte des ungetrockneten LMM (*Erdfeuchtverfahren*) wird zusammen mit dem Anmachwasser während des Trocknungsprozesses im / am Bauteil in Form von Wasserdampf wieder freigesetzt.

4.4.3 Lärm

Die Grenzwerte werden eingehalten.

4.4.4 Luft

Die Grenzwerte der TA Luft [9] werden eingehalten.

Staubemissionen von pflanzlichen oder mineralischen Zusatzstoffen während des Produktionsprozesses werden durch Filter begrenzt. Ausgefilterte Zusatzstoffe werden wieder verwendet. Luftemissionen durch den Betrieb von Dieselfahrzeugen im Werk Viersen werden im Rahmen der Ökobilanz als Output des spezifischen Einsatzes von Diesel erfasst und bewertet.

5 PRODUKTVERARBEITUNG

5.1 Verarbeitungshinweise

Die deklarierten LMM sind erdfeucht (LMM 01 u. 02) oder trocken (LMM 03) ausgelieferte Lehmwerkmörtel für die Herstellung von Mauerwerk. Sie sind verarbeitungsfertig und werden auf der Baustelle mit Wasser angemacht. LMM werden nach DIN 18946 bzw. LR DVL [2] aufbereitet und verarbeitet.

LMM werden i. d. R. mit üblicher Mischtechnik (Freifall- oder Zwangsmischer) aufbereitet. Kleinere Mengen werden mit einem Rührgerät oder manuell gemischt.

Die Verarbeitung von LMM zu Lehmsteinmauerwerk (LSM) nach LR DVL [2] und DIN 18940 erfolgt i. d. R. manuell. In Mörtelkästen erhärteter LMM kann durch Wasserzugabe wieder in die erforderliche Verarbeitungskonsistenz überführt werden.

LMM werden abfallfrei verarbeitet, indem frischer oder erhärteter Mörtel der Wiederverwendung zugeführt wird.

5.2 Arbeitsschutz / Umweltschutz

Es gelten die Regelwerke der Berufsgenossenschaften und die jeweiligen Sicherheitsdatenblätter der Hersteller.

Während der Verarbeitung von LMM sind keine besonderen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu treffen. LMM nach DIN 18946 erzeugen bei Hautkontakt während der Verarbeitung keine Reizungen oder Schäden. Der Kontakt von LMM mit den Augen ist zu vermeiden.

Die Reinigung der für die Verarbeitung verwendeten Maschinen von erhärtetem LMM ist problemlos mit Wasser möglich. LMM, die bei der Verarbeitung oder Reinigung in den Boden gelangen, stellen keine Gefährdung der Umwelt dar.

5.3 Restmaterial

Während der Verarbeitung herabgefallener, erhärteter LMM wird von einem Mörtelfangbrett sauber aufgenommen und zusammen mit Frischmörtel in den Verarbeitungsprozess zurückgeführt. Nicht verarbeiteter Lehmfestmörtel kann jederzeit durch Wasserzugabe ohne zusätzlichen Energieaufwand wieder in die entsprechende Verarbeitungskonsistenz überführt und weiterverarbeitet werden.

Reste von LMM dürfen nicht über die Kanalisation entsorgt werden (Verstopfung).

5.4 Verpackung

Mörtelsäcke aus ungebleichtem Kraftpapier und Großgebinde aus Kunststoffgewebe (PP) werden sortenrein als Transportverpackungen durch die dualen Entsorgungssysteme RePack bzw. Interzero einem stofflichen Recyclingprozess zugeführt.

Holzpaletten werden vom Hersteller oder durch den Baustoffhandel zurückgenommen (EURO-Pfandsystem) und mehrfach verwendet.

6 NUTZUNGSZUSTAND

6.1 Ausgangsstoffe

Bei der Produktion von LMM werden ausschließlich die Ausgangsstoffe nach Abs. 3 verwendet. Diese Ausgangsstoffe sind im Nutzungszustand durch die Tonmineralien des Baulehms als feste Stoffe im Bauteil gebunden. Dieser Verbund bleibt nach Erhärtung an der Luft wasserlöslich.

6.2 Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit

Die deklarierten LMM enthalten keine schädlichen Stoffe in gesundheitsschädigenden Konzentrationen, wie z. B. flüchtige organische Komponenten (VOC), Formaldehyd, Isocyanate usw. Der Nachweis erfolgt nach DIN EN ISO 16000-9. Entsprechende schädigende Emissionen sind deshalb auch nicht zu erwarten. LMM sind im verarbeiteten Zustand geruchsneutral.

Die natürliche ionisierende Strahlung der LMM ist gering und gesundheitlich unbedenklich. Die deklarierten LMM weisen einen Aktivitätskonzentrationsindex $I < 1$ gemäß DIN 18946 auf.

6.3 Beständigkeit / Nutzungsdauer

Tonminerale sind nicht hydraulische Bindemittel, d. h. sie erhärten nur an der Luft und werden bei Wiederbefeuchtung erneut plastisch (Replastifizierung). Die Anwendung von LMM ist deshalb auf den Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich begrenzt. Sie sind konstruktiv im Bauteil vor stehendem und fließendem Wasser oder dauerhafter Durchfeuchtung zu schützen.

Die Lebensdauer von LMM ist abhängig von der jeweiligen Konstruktion, der Nutzungssituation, dem Nutzer selbst sowie von Unterhalt und Wartung. Die Nutzungsphase kann deshalb nur in Form von Szenarien beschrieben werden.

7 AUSSERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN

7.1 Brand

Im Brandfall können sich keine toxischen Gase / Dämpfe entwickeln. Bei LMM mit organischen Zusatzstoffen können geringe Mengen CO entstehen.

Zur Brandbekämpfung eingesetztes Löschwasser kann Schäden an LMM erzeugen. LMM im Löschwasser erzeugt keine Umweltrisiken.

7.2 Hochwasser

Unter Wassereinwirkung (z. B. Hochwasser) können LMM nach DIN 18946 replastifiziert und ausgewaschen werden. Dabei werden keine wassergefährdenden Stoffe freigesetzt. Aufgeweichte Bereiche des mit LMM aufgeführten Mauerwerks müssen ggf. auf ihre Stabilität untersucht werden.

7.3 Havarie Wasserleitungen

Infolge von Schäden an Wasserleitungen kann im Gebäude Wasser austreten und im Mauerwerk verarbeiteten LMM aufweichen. Dadurch können in betroffenen Bereichen partielle Tragfähigkeitsverluste eintreten, die ggf. fachlich zu begutachten sind.

8 HINWEISE ZUR NUTZUNGSPHASE

LMM emittieren keine umwelt- oder gesundheitsgefährdenden flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, TVOC). Der Nachweis erfolgt nach DIN EN ISO 16000-9.

9 NACHNUTZUNGSPHASE

9.1 Recycling von LMM

Ergebnisse von Rückbauversuchen von Lehmsteinmauerwerk LSM zeigen, dass eine auf sortenreine Produktkategorien bezogene Rückgewinnung von LMM unter praktischen / betriebswirtschaftlichen Bedingungen ausgeschlossen werden kann [10]. Praktikabel ist eine Rückgewinnung von Lehmsteinbruch mit anhaftenden LMM-Resten durch Einsumpfen und Mauken oder trocken in geeigneten Brecheranlagen. Das aufbereitete Lehm-Rezyklat kann danach als *Primärrecyclinglehm* für LMM oder andere Lehmbaumstoffe wiederverwertet werden unabhängig von der ursprünglichen Anwendung. Bei einer Wiederverwertung als LMM für *tragendes* LSM muss vom Hersteller eine Druckfestigkeitsklasse $\geq M 2,5$ nachgewiesen werden [10].

Das zurückgewonnene Lehm-Rezyklat und die enthaltenen Komponenten lassen sich alternativ als Ausgangsstoff für andere Baumstoffe (*Sekundärrecyclinglehm*) wiederverwerten.

Dabei darf das rückgebaute LSM keine lehmfreien Reststoffe (Zement-, Gips- und Kalkmörtel) sowie keine relevanten Spuren aus chemischen und biologischen Einwirkungen aus zurückliegenden Nutzungen enthalten (bauschädigende Salze, Moose / Algen, Hausschwamm, Schimmelpilze usw.). Gleiches gilt für die Weiterverwertung von separierten mineralischen Komponenten (z. B. Sand).

Sofern die o. g. Möglichkeiten der Wiederverwertung nicht praktikabel sind, können rückgewonnene LMM aus Gebäudeabriss mit natürlichen mineralischen Zusatzstoffen und einem homogen verteilten Gehalt an natürlichen organischen Zusatzstoffen ≤ 1 M.-% wie Bodenaushub weiterverwertet werden, z. B. im Landschaftsbau, zur Rekultivierung, zur Trassierung von Verkehrswegen oder in der Land- und Forstwirtschaft entsprechend der Ersatzbaustoffverordnung EBV für Einbauklassen für Böden und mineralische Reststoffe [11]. Im *Tabellenanhang E, IM C4* werden Komponenten zur Weiterverwertung deklariert.

9.2 Verwertung von Abfällen und Verpackungen

Die Verwertung von Holz, Papier- und Kunststoffverpackungen erfolgt gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [12]. Bei der Herstellung von LMM entstehen keine Produktionsabfälle.

TEIL A SACHBILANZ

A.1 Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit für die Herstellung von LMM ist in DIN 18946, A.3 sowie in der entsprechenden PKR geregelt und wird massebezogen mit einem Kilogramm (1 kg) festgelegt.

A.2 Betrachtungszeitraum

Die eingesetzten Mengen an Ausgangsstoffen, Energie sowie Verpackungen sind als Mittelwert von 12 Monaten in dem betrachteten Werk (*Tab. 2.1*) berücksichtigt.

A.3 Ergebnisse der Sachbilanz

Die Sachbilanz nach DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044 bzw. DIN EN 15804 dient der Quantifizierung der Input- und Outputströme des Produktsystems auf Basis der Datenerhebung beim Hersteller und als Grundlage eines Berechnungsverfahrens.

Tab. A.1 bildet die Sachbilanz für die drei deklarierten LMM ab. Der Hauptaustgangsstoff ist Sekundärgrubenlehm mit unterschiedlichen mineralischen und natürlichen Zusatzstoffen. Hauptinputfaktoren sind Strom aus Wasserkraft, Flüssiggas für die Nachtrocknung und Diesel für Baufahrzeuge im Werk. Weitere Inputfaktoren sind Verpackungsmaterialien. Die Herstellung aller LMM erfolgt ohne Wasserzugabe, abwasser- und abfallfrei. Der Frischwasserverbrauch und die Outputfaktoren ergeben sich indirekt als Eintrag aus den Produktionsketten der Vorprodukte und Energieträger.

Tab. A.1 Sachbilanz der deklarierten Lehmmauermörtel (LMM 01 – LMM 03)

Lehmmauermörtel LMM (Trockenrohdichte ρ_d)	Produkte			Einheit	Erläuterungen
	LMM 01 (1.800kg/ m ³) schwer, feucht	LMM 02 (1.400kg/m ³) leicht, feucht	LMM 03 (1.400kg/m ³) leicht, nachgetr.		
Input					
Ausgangsstoffe					
Grubenlehm					
-Primärgrubenlehm	–	–	–		
-Sekundärgrubenlehm	0,43	0,7	0,7	kg/kg LMM	
Gesteinskörnung 0/2	0,57	0,2	0,2	kg/kg LMM	
Holzspäne, unbehandelt	–	0,1	0,1	kg/kg LMM	
Energie					
Elektrische Energie	0,026	0,026	0,026	MJ/kg LMM	Strom aus Wasserkraft
Thermische Energie			0,013	kg/kg LMM	Flüssiggas
Diesel (Baufahrzeuge)	0,0006	0,0006	–		Im Werk
Frischwasser	0,000079	0,000055	0,000054	m ³ /kg LMM	aus Vorprodukten, z.B. Sand
Verpackungen					
PP Großgebinde	0,014	0,014	–	kg/kg LMM	für 1 t LMM

<i>Kraftpapiersäcke</i>			0,0036	kg/kg LMM	90 g für 25 kg Sackware
Output					
<i>LMM</i>	1	1	1	kg	Endprodukt
<i>Abfälle</i>	0,0144	0,0051	0,0052	kg/kg LMM	aus Vorketten
<i>Abwasser</i>	–	–	–	m³/kg LMM	abwasserfreie Produktion

Der Baulehm der deklarierten LMM besteht zu 100 % aus Sekundärgrubenlehm, der als Abfall aus der Kiesgewinnung stammt.

Die in *Tab. A.1* aufgelisteten mineralischen und pflanzlichen Zusätze entsprechen DIN 18946. Untertrockneter Sand (0/2) ist der einzige mineralische Zusatzstoff. LMM 02 und LMM 03 enthalten unbehandelte Holzspäne als organischen, pflanzlichen Zusatz (7,1 M.-%).

Die Herkunfts- und Verbrauchsangaben zu Strom und Flüssiggas basieren auf Rechnungsangaben der Energielieferanten für den Produktionsstandort Viersen (*Tab. 2.1*). Es wurde der durchschnittliche Energieeinsatz (MJ / kg LMM) für die Jahresproduktion der LMM bezogen auf die produzierte Gesamtmasse auf derselben Produktions- bzw. Trocknungsanlage angesetzt (massenbezogene Allokation).

Bei allen drei deklarierten LMM handelt es sich um wasser- und abwasserfreie Produktionsverfahren. Der Frischwasserinput entsteht aus den Prozessketten der Vorprodukte, z. B. Sandanteile, Flüssiggas, Verpackungen. Die Produktion der LMM ist abfallfrei, die in der Sachbilanz einberechneten Abfälle entstehen in der Vorkette bis zur Bereitstellung von Ausgangsstoffen und Energieträgern.

TEIL B ÖKOBILANZ

Die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN ISO 14044 / DIN EN15804 zur Erstellung einer Typ III UPD beruht auf einer Lebenszyklusanalyse (LCA) von LMM nach Herstellerdaten 2022 für das Werk in Viersen (LMM 01 – 03).

B.1 Ziele der Analyse

Ein erstes Ziel der Analyse ist die Erstellung einer Typ III UPD nach DIN EN ISO 14025 als Umweltinformation für die Planung und Ausführung von Bauteilen mit LMM. Ein weiteres Ziel bezieht sich auf die Optimierung von Produktionsprozessen und Verfahrenstechniken durch das Aufzeigen ökologischer Schwachstellen, einschließlich Ansätzen zu deren Beseitigung.

Ein drittes Ziel ist die Beantwortung der Frage, wie sich aus Gebäudeabbruch oder Demontage Baulehm und mineralische Ausgangsstoffe zurückgewinnen und mit „ökologischem Gewinn“ wieder- bzw. weiterverwerten lassen.

B.2 Zielgruppen der Analyse

Zielgruppen der Analyse sind neben Herstellern auch Anwender von LMM, Planer und Entscheidungsträger, die die Ergebnisse zur ökologischen Bewertung eines Bauteils oder Bauwerks verwenden können.

B.3 Referenznutzungsdauer

Die Referenznutzungsdauer (RSL – Reference Service Life) ist die Nutzungsdauer, die unter der Annahme bestimmter Nutzungsbedingungen (z. B. Standardnutzungsbedingungen) für ein Bauprodukt zu erwarten ist. Mit Bezug auf den Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD GmbH, Version 2014 [13] wird eine RSL für LMM von 100 Jahren zugrunde gelegt.

B.4 Abschneidekriterium

Entsprechend DIN 18946, A.3 werden alle Stoffflüsse berücksichtigt, die in das Produktionssystem fließen (Inputs) und mehr als 1 % der Gesamtmasse der Stoffflüsse oder mehr als 1 % des Primärenergieverbrauchs betragen. Das trifft auf die Holzpaletten zu.

Abweichend davon werden auch alle Stoffflüsse erfasst, die das System verlassen (Outputs) und deren Umweltauswirkungen > 1 % der gesamten Auswirkungen einer in der Bilanz berücksichtigten Wirkungskategorie darstellen. Das trifft auf Holzspäne in der Rezeptur für „leichte“ LMM (*Nr. 2, 3 Tab 2.1*), die Großbinde und die Absackung in Kraftpapiertüten zu.

Die Stoffflüsse zur Herstellung der LMM benötigten Maschinen, Anlagen und Infrastruktur wurden nicht einbezogen.

B.5 Annahmen und Abschätzungen

Annahmen und Abschätzungen betreffen Grubenlehm als Primär- bzw. Sekundärrohstoff, Verpackungen, Pflanzenanteile, die Abfallaufbereitung (IM C1 u. C3) und das Rückgewinnungspotenzial (IM D).

Grubenlehm: Alle deklarierten LPM basieren auf *Sekundärgrubenlehm*. Der Ressourceneinsatz und die Umweltwirkungen entfallen auf die Endprodukte des Betriebes zur Kiesgewinnung. Sekundärgrubenlehm kann als Sekundärrohstoff weiterverwertet werden und reduziert das

Aufkommen an Bauabfällen (AVV Nr. 17 05 04 [3]). Er verliert damit seine Abfalleigenschaft, tritt in ein neues Produktsystem über und erfährt dort eine Aufwertung (Upcycling).

Verpackungen: *Holzpaletten* lassen sich nicht vollständig den LMM zuordnen, da solche Universalpaletten in einem Pfand-Mehrwegsystem für verschiedene Produkte verwendet werden. Die im Holz der Paletten gebundenen biogenen Kohlenstoffe und Gutschriften aus der möglichen energetischen Verwertung werden nicht berücksichtigt. Das Abschneidekriterium gem. *Abs. B.4* findet hier Anwendung.

Großgebinde (Big bags): erdfeucht produzierte und transportierte LMM werden in offene Großgebände mit einer Kapazität von 1,0 – 1,2 t abgesackt. Mangels originärer UPD für alle anderen Wirkungskategorien der Big bags erfolgte die Bilanzierung durch generische Daten für PP-Gewebebahnen nach ÖKOBAUDAT, Z. 6.6.04 [14] als annähernd vergleichbares Verfahren (worst case Annahme). Auf Gutschriften durch die stoffliche / thermische Verwertung der Big bags über das Entsorgungssystem wurde verzichtet.

Ungebleichte Kraftpapiersäcke ohne Kunststoffeinlage dienen der Verpackung und dem Feuchteschutz für nachgetrocknete „leichte“ LMM 03 mit 25 kg Verpackungseinheit. Ein Kraftpapiersack wiegt 90 g. Gutschriften durch die stoffliche oder thermische Verwertung der Kraftpapiersäcke über ein Entsorgungssystem werden nicht berücksichtigt.

PE-Folie schützt die palettierten, in Kraftpapiersäcke abgefüllten, nachgetrockneten „leichten“ LMM 03. Die 150 cm breite Folie umschließt eine Palette mit 48 Sack LMM und einem Gesamtgewicht von 1,2 t. Für PE-Folie findet das Abschneidekriterium nach *Abs. B.4* Anwendung.

Holzspäne: Die Umrechnung der Holzmasse in CO₂ erfolgt über die im Holz enthaltene Kohlenstoffmenge im Verhältnis der Molmassen von CO₂ zu C (44/12) nach DIN EN 16449. Der Kohlenstoffgehalt im Holz wird für alle Holzarten mit 50 % der absolut trockenen Holzmasse angenommen. Somit entspricht 1 kg absolut trockene Holzmasse etwa 1,832 kg CO₂. [15][16]. Die verwendeten Holzspäne sind nicht absolut trocken. Sie entstehen bei der Verarbeitung von unterschiedlichen Hölzern mit nicht definierten Restfeuchten. Die angelieferten Holzspäne werden im Werk nicht weiter getrocknet, zumal sie zusammen mit Baulehm und Wasser vermischt werden. Angenommen wird ein Sicherheitsabschlag auf die CO₂-Speicherung einer absolut trockenen Holzmasse von 10 % auf die in den Holzspänen enthaltene Restfeuchte $w = 30 \%$ (fasergesättigt).

Während der Wachstumsphase eines Baumes wird der Atmosphäre durch die Photosynthese CO₂ entzogen und in Form von Kohlenstoff C in das Holz eingelagert, welches am Lebensende nur bei energetischer Verwertung wieder in die Atmosphäre entlassen wird. „Leichte“ LMM werden am Lebensende ausschließlich stofflich verwertet, und das gebundene CO₂ verbleibt im System.

Abbruch/Abriss (C1): LMM bilden im Lehmsteinmauerwerk LSM einen festen Verbund mit den Lehmsteinen LS (DIN 18940). Durch Abriss von LSM kann LMM nicht auf die Produktkategorie bezogen sortenrein, sondern nur als LS-Bruch mit anhaftenden Lehmmörtelresten rückgewonnen werden.

Für die nachfolgende Modellrechnung wird auf die Leistungsdaten eines branchentypischen Abrissbaggers für LSM mit einem Dieselverbrauch von 0,16 l / Betriebsstunde bei einer Abrissleistung von 50 m³ / h zurückgegriffen.

Abfallaufbereitung (C3): Die Annahmen im IM C3 basieren auf experimentellen Untersuchungen der FH Potsdam [10] zur Aufbereitung von LSM mit anhaftenden Mörtelresten durch Auflösung in Wasser (Einsumpfen) oder trockenes Zermahlen in entsprechenden Mühlen zu Lehm-Rezyklat. Für die nachfolgende Modellrechnung werden die Verbrauchs- und Leistungsdaten einer

branchentypischen Prallbrecheranlage für mineralische Baustoffe unterstellt. Die Anlage benötigt 0,23 l Diesel / t Abbruchmaterial, einschließlich des Betriebs eines integrierten Stromgenerators.

Rückgewinnungspotenzial (D): LMM können nur als Bestandteil von Abbruchmaterial, bestehend aus LS mit anhaftenden Lehmmörtelresten, rückgewonnen, zu Lehm-Rezyklat aufbereitet und wiederverwertet werden. *Sortenreine (Lehm-)Baustoffe* besitzen gleiche Werkstoffeigenschaften, auch wenn sie sich als Mischform homogen verteilter Ausgangsstoffe darstellen [17]. Dieser Ansatz erlaubt den universellen Ersatz von primären Grubenlehm / Lehmaushub durch Lehm-Rezyklat unabhängig von der „neu“ herzustellenden Lehmbaumstoff-Produktkategorie.

In den Modellrechnungen werden drei unterschiedliche Szenarien D1 bis D3 angenommen:

IM D1 unterstellt eine Wiederverwertung des trocken rückgewonnen Abbruchmaterials aus LSM als Sekundärstoff für *neuen LMM 01 „schwer“ und LMM 02 „leicht“ im Erdfeuchtverfahren*. Die Einsparung bei der Bereitstellung von primären Ausgangsstoffen bilden das Rückgewinnungspotenzial dieses Szenarios.

IM D2 unterstellt eine Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials aus LSM als Sekundärstoff für *neuen LMM 03 „leicht“ im Nachtrocknungsverfahren*. Im Szenario D2 ersetzen die trocken rückgewonnenen Sekundärstoffe nicht nur die primären Ausgangsstoffe, sondern auch die Energie für die Nachtrocknung erdfeuchter LMM 02.

IM D3 unterstellt eine Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials aus LSM mit LMM-Anhaftungen als Sekundärstoff für *andere Lehmbaumstoffe*, die im *Trockendosierverfahren* hergestellt werden, z. B. für „neue“ LPM. Bei diesem Verwertungsszenario ersetzen die Bestandteile des LSM und der LMM ansonsten vorgetrockneten *Trockenlehm* und *Trockensand*.

B.6 Datenqualität

Die verwendeten Daten beziehen sich auf das Geschäftsjahr 2022. Die Ökobilanzen wurden für den Bezugsraum Deutschland erstellt.

Die Datenerfassung für die untersuchten Produkte und Verfahren erfolgte durch Nachweis der Energieeinsätze und Ermittlung weiterer Daten mittels eines strukturierten Erfassungsbogens. Die in dieser UPD deklarierten, nach den beschriebenen Verfahren hergestellten drei LMM entsprechen den in der Muster-UPD des DVL untersuchten LMM [4].

Zur Modellierung der Umweltwirkungen wurden die in *Tab. B.1* aufgeführten Hintergrunddatensätze, Studien und weitere Fachliteratur herangezogen.

Tab. B.1 Übersicht Datengrundlagen

Nr.	Daten	Hintergrunddatensätze/Vergleichsdaten
1	Gesteinskörnung	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 1.2.01 (2023-08) [14]
2	Holzspäne	Forschungszentrum Karlsruhe/ BFH [16]
3	Elt. Energie aus Wasserkraft	GaBi 2020 in: ÖKOBAUDAT 9.2.05 (2021-06) [14]; Verifiziert nach: GEMIS 5.0
4	Flüssiggas	GaBi 2020 in: ÖKOBAUDAT 9.2.02 (2021-06) [14]
5	Transport zum Werk (35-40 t, EURO 5, 27 t Nutzlast, 85 % Auslastung)	GaBi 2020 in: ÖKOBAUDAT 9.3.01 (2021-06) [14]
6	Abbruch/Abriss	Herstellerdaten; Abrissbagger

7	Abfallaufbereitung	FH Potsdam [10]; Herstellerdaten Prallbrecher
8	Wiederverwendungspotenzial	FH Potsdam [10]; Muster UPD LMM [4]

B.7 Allokation

Als Allokation wird die Zuordnung der Input- und Outputströme eines Ökobilanzmoduls auf das untersuchte Produktsystem und weitere Produktsysteme definiert (DIN EN ISO 14040).

Grubenlehm als *Sekundärgrubenlehm* wird als Bodenaushub bereitgestellt und in anderen Prozessen stofflich ohne Veränderung der Produkteigenschaften wiederverwertet. Der Hauptanteil der Belastungen wird entsprechend der *physikalischen Allokation* nach DIN EN ISO 14044, Abs. 4.3.2 der Kiesgewinnung als Hauptprodukt zugewiesen.

Der gemessene *Energieinput* wird nach der auf derselben Produktions- bzw. Trocknungsanlage hergestellten Masse aller Lehmbaumstoffe proportional auf die Masseanteile der deklarierten Produkte aufgeteilt (*massebezogene Allokation*).

B.8 Ergebnisse der Ökobilanzierung (LCA)

Für das Produkt „Gebäude“ sind alle IM A – D nach *Tab. B.3.1 – B.5.2* zu berücksichtigen. In der Produktebene „Baustoff“ entstehen in der Errichtungs- und Nutzungsphase i. d. R. keine Ressourcenverbräuche mit entsprechenden Umweltauswirkungen. Nach DIN EN 15804 ist die Deklaration der IM A1 – A3, C1 – C4 und D für alle zu untersuchenden Bauprodukte verpflichtend. Diese Auswahl entspricht der UPD-Art „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“. Sie wird für die nachfolgende Bilanzierung zugrunde gelegt. Die Daten basieren auf nachgewiesenen Werten für erdfeuchte (*E1 Tabellenanhang*) und nachgetrocknete „leichte“ LMM (*E2 Tabellenanhang*). Die Rückgewinnungspotenziale IM D1 – D3 werden im *Teil C* in Form von Tabellen zusammenfassend dargestellt und interpretiert (*Abb. C.4.3– C.4.5*).

Zu folgenden erweiterten Umweltindikatoren in *Tab. B.2* liegen keine Daten vor:

Tab. B.2: Erweiterte Umweltindikatoren

Nr.	Indikator	Symbol	Einheit	Umweltwirkung /Wirkungskategorie
1	Feinstaubemission	PM	Krankheitsfälle	Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund v. Feinstaubemissionen (PM: Particulate Matter)
2	Ionisierende Strahlung, menschliche Gesundheit ²	IRP	kBq U235-Äq.	Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP: Ionizing Radiation Potential)
3	Ökotoxizität (Süßwasser) ¹	ETP-fw	CTUe	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (CTUe: Comparative Toxic Unit for ecosystems; ETP: Ecological Toxic Potential)
4	Humantoxizität kanzerogene Wirkungen ¹	HTP-c	CTUh	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (CTUh: Comparative Toxic Unit for humans; HTP-c: Human Toxic Potential-carcinogenic)
5	Humantoxizität nicht kanzerogene Wirkungen ¹	HTP-nc	CTUh	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-nc: Human Toxic Potential-non carcinogenic)
6	Mit der Landnutzung verbundene Wirkungen / Bodenqualität ¹	SQP	–	Potenzieller Bodenqualitätsindex (SQP: Soil Quality Index)

TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ

Im *Teil C* werden ausgewählte Ergebnisse der Ökobilanz (*E Tabellenanhang*) für die Parameter PEI und GWP (*Abb. C.1 bzw. C.2*), den Gebäudeabriss (*Abb. C.3.1, jeweils PEI u. GWP*) und die Aufbereitung (*Abb. C.3.2, jeweils PEI u. GWP*) grafisch dargestellt und interpretiert.

C.1 Primärenergieeinsatz (PEI)

Abb. C.1 zeigt den gesamten Primärenergieeinsatz PEI für die Herstellung der LMM im Werk Viersen, basierend auf den Jahresabrechnungen 2022 der Energielieferanten. Der PEI umfasst die Bereitstellung der Ausgangsstoffe (IM A1), die Transporte ins Werk (IM A2) und den Herstellungsprozess (IM A3). Vom Ausgangsstoff zum Werkstor benötigt LMM 01 „schwer“ ungetrocknet $5,17\text{E-}01$ MJ / kg LMM 01, LMM 02 „leicht“ ungetrocknet $5,83\text{E-}01$ MJ / kg LMM 02, und LMM 03 „leicht“ mit Trocknung verbraucht $1,31\text{E+}00$ MJ/kg LMM 03. Strom aus Wasserkraft ist der Hauptenergieträger für alle deklarierten LMM. LMM 03 benötigt für die Trocknung im Trommeltrockner zusätzlich $7,00\text{E-}01$ MJ/kg LMM 03 für Flüssiggas, das entspricht knapp 60 % des gesamten PEI für LMM 03.

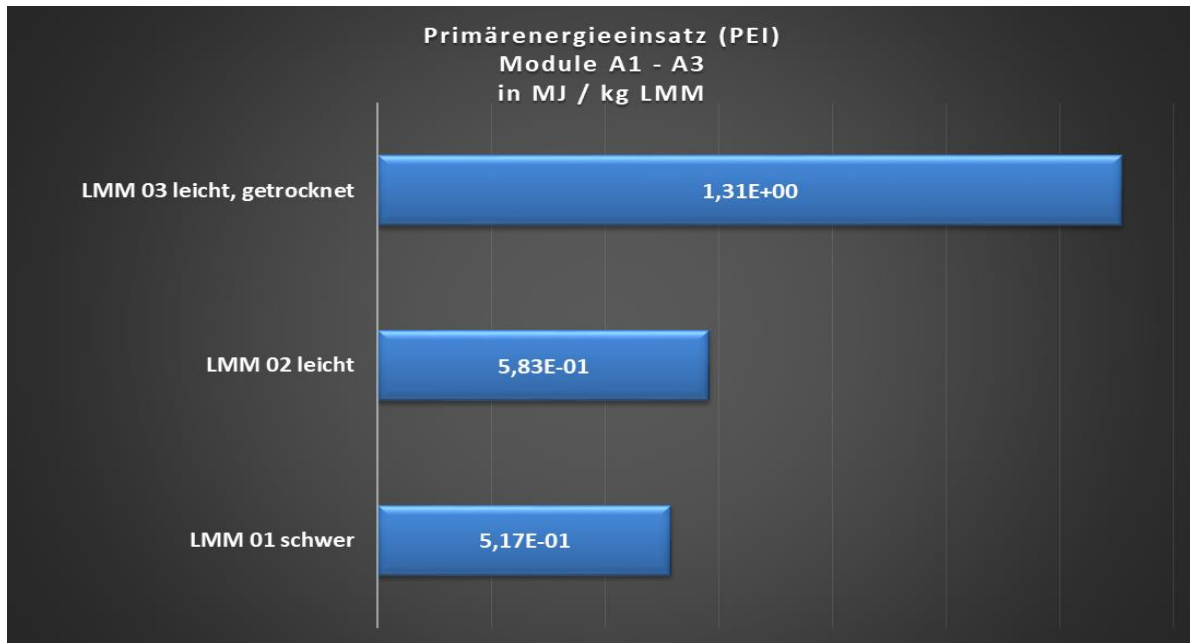


Abb. C.1: Primärenergieeinsatz PEI für LMM

Die Transporte zum Werk berücksichtigen die Anlieferung des Sekundärgrubenlehms, der Gesteinskörnung, anderer Zusätze und der Verpackungen. Diese Transporte tragen zwischen $3,50\text{E-}02$ MJ/kg LMM 01 und $6,61\text{E-}02$ MJ/kg LMM 02 zum PEI bei. Das sind 8 % bzw. 6 % des gesamten PEI.

Die Großgebinde (PP Big Bag) verursachen einen „grauen Energieeintrag“ in einer geschätzten Höhe von $1,05\text{E-}01$ MJ/kg LMM 01 und LMM 02, entsprechend 18 % bzw. 20 % des gesamten PEI für LMM 02 und LMM 01. Es handelt sich dabei um eine worst case-Betrachtung mit Annahmen zur Ökobilanz solcher Großgebinde, abgeleitet aus Werten für ähnliche Kunststoffgewebe, die in der ÖKOBAUDAT [14] als generische Daten verfügbar sind (*Abs. B.6*).

Ungebleichte Kraftpapiersäcke ohne Kunststoffinlet zur Absackung von LMM 03 „leicht“ getrocknet wiegen 90 g / 25 kg LMM 03 und tragen $1,32\text{E-}01$ MJ / kg LMM 03 mit rund 10 % zum PEI bei.

C.2 Treibhausgaspotenzial GWP

Die Treibhausgaspotenziale $\text{CO}_{2\text{equiv.}}$ werden als GWP 100 in ihrer Klimawirkung über 100 Jahre betrachtet. In Abb. C.2 werden die Treibhausgaspotenziale von der Bereitstellung der Ausgangsstoffe inkl. Verpackungen in IM A1, über die Transporte ins Werk (IM A2) bis zum Herstellungsprozess (IM A3) zusammenfassend dargestellt. Die für die Rezeptur von getrockneten LMM „leicht“ verwendeten unbehandelten Holzspäne enthalten gebundenes CO_2 , das in die Berechnung nach DIN EN 16449 einbezogen wurde.

Die im Erdfeuchtverfahren hergestellten LMM 01 verursachen, aufsummiert über die IM A1 – A3 („von der Wiege bis zum Werkstor“) $7,98\text{E-}03 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{kg LMM 01}$.

Die ebenfalls im Erdfeuchtverfahren hergestellten LMM 02 „leicht“ enthalten 7,1 M.-% Holzspäne. Die darin enthaltene CO_2 -Gutschrift von $1,06\text{E}+00 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{kg Holzspäne}$ (Abs. B.5) führt insgesamt zu einem Klimaentlastungseffekt mit negativem Vorzeichen in Höhe von $-6,02\text{E-}02 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{kg LMM 02}$. Dieser Effekt setzt sich fort, wenn LMM 02 zusätzlich getrocknet werden (*Nachtrocknungsverfahren*). Nach technischer Trocknung im Trommeltrockner mit Flüssiggas ergibt sich ein Klimaentlastungseffekt in Höhe von $-5,69\text{E-}02 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{kg LMM 03}$.

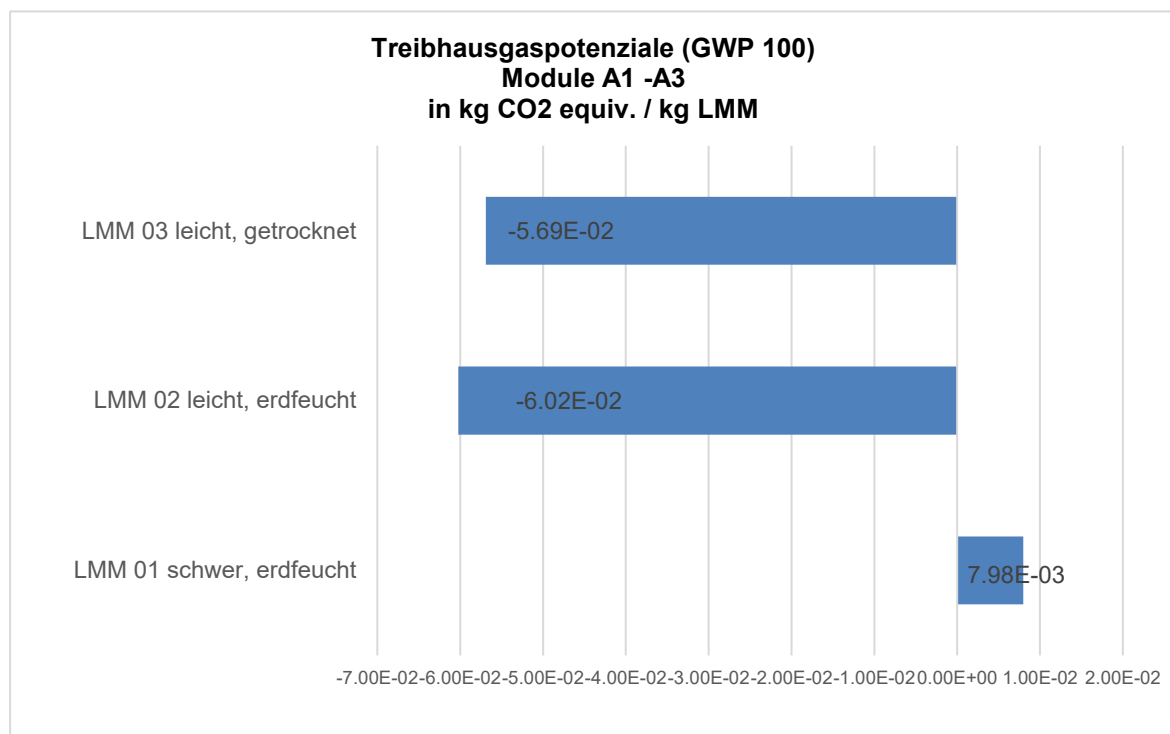


Abb. C.2: Treibhausgaspotentiale (GWP 100) LMM 01 – LMM 03

Der Dosier- und Mischprozess für alle drei deklarierten LMM erfolgt mit 100 % Strom aus Wasserkraft aus Flusskraftwerken auf derselben Produktionsanlage. Dieselverbräuche entstehen durch Baufahrzeuge (Radlader, Stapler) im Werk Viersen. Dieser Herstellungsprozess hat ein Treibhausgaspotenzial in Höhe von $3,06\text{E-}04 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{kg LMM 01 – 03}$. Für LMM 03 kommt die Treibhausgasemission des anschließenden Trocknungsprozesses mit $1,05\text{E-}02 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{kg LMM 03}$ hinzu. Der relativ geringe Effekt geht auf zwei Faktoren zurück. Die Ausgangsfeuchte im erdfeuchten Zustand beträgt maximal 18 M.-%, die Endfeuchte ca. 5 M.-%. Nur diese Differenz ist zu

trocknen. Der Trommeltrockner ist im Innern durch spezielle Schaufelanordnung zur Materialführung optimiert.

Transporte zum Werk berücksichtigen neben anderen Rohstofflieferungen auch den Weg des Sekundärgrubenlehms von der Kiesgewinnung ins Werk Viersen. Die Transporte mit LKW (EURO 5) mit 34 – 40 t zulässigem Gesamtgewicht und 27 t Nutzlast bei 85 % Auslastung verursachen je nach Rezeptur und Verpackungsart zwischen 2,44E-03 kg CO_{2equiv.} / kg LMM 01 und 4,60E-03 kg CO_{2equiv.} / kg LMM 02 bzw. LMM 03.

Die Absackung der LMM 01 und LMM 02 in offene Großgebinde aus PP (Big Bags) mit 1 t Fassungsvermögen trägt mit 3,74E-03 kg CO_{2equiv.} / kg LMM zum Treibhauseffekt bei. Wie beim PEI (*Abb. C.1*) stellen diese Gebinde mit 47 % der Treibhausgasemissionen den größten Emissionsfaktor für LMM 01 dar. Die Größenordnung der positiven GWP-Gesamtemissionen für LMM 01 mit einem Faktor E-03 begünstigt diesen relativ hohen Anteil der Großgebinde. Eine Gutschrift für stoffliche oder energetische Verwertung der Großgebinde ist in der Umweltbilanz nicht enthalten.

Kraftpapiersäcke für LMM 03 „leicht“ nachgetrocknet enthalten eine CO₂-Gutschrift, die den Gesamtwert für das Treibhausgaspotenzial der LMM 03 auf -3,45E-03 kg CO_{2equiv.} / kg LMM 03 mindert. Ohne diese Gutschrift würde sich die CO₂-Gesamtbilanz (IM A1 – A3) für LMM 03 auf -5,53E-02 kg CO_{2equiv.} / kg LMM 03 etwas vermindern. Eine Gutschrift für eine stoffliche oder energetische Verwertung der Papiersäcke ist in dieser Umweltbilanz nicht enthalten.

Rezeptur und Herstellungsverfahren für LMM 02 „leicht“ und nachgetrocknete LMM 03 „leicht“ sind identisch. Hinzu kommt nur der Treibhausgaseffekt der Trocknung mit Flüssiggas für LMM 03. Die Rezeptur enthält 7,1 M.-% Holzspäne. Der in den Holzspänen enthaltene Kohlenstoff wird im Verhältnis der Molmassen von CO₂ zu C (44/12) umgerechnet. Der Kohlenstoffgehalt im Holz wird für alle Holzarten mit 50 % der absolut trockenen Holzmasse angenommen. Somit entspricht 1 kg absolut trockene Holzmasse etwa 1,832 kg CO₂ [15]. Da die Holzspäne nicht absolut trocken sind, reduziert sich das hier berechnete gebundene CO₂ von 1,83 kg CO₂ auf angenommene 1,06E+00 kg CO₂ / kg fasergesättigte Holzspäne (worst case Ansatz). Bezogen auf den Anteil der Holzspäne in der Rezeptur (7,1 M.-%) und unter Einberechnung des Aufwandes zur Herstellung von Holzspänen [15] ergibt das eine Gutschrift in Höhe von 6,94E-02 kg CO_{2equiv.} / kg LMM 03.

C.3 Abriss und Aufbereitung

Für die Quantifizierung des *IM C1* wurden die Leistungsdaten eines branchentypischen Abrissbaggers angenommen und auf LSM mit Anhaftungen von LMM bezogen: Nach Herstellerangaben verbraucht ein Abbruchbagger 7,65 kg Diesel / h bei einer geschätzten Abrissleistung von 50 m³ LSM / h [. Diese Angaben wurden in der Umweltbilanz des *IM C.1* „Abbruch / Abriss“ unterstellt. *Abb. C.3.1* veranschaulicht die Kerngrößen der Umweltwirkungen in *IM C.1*.

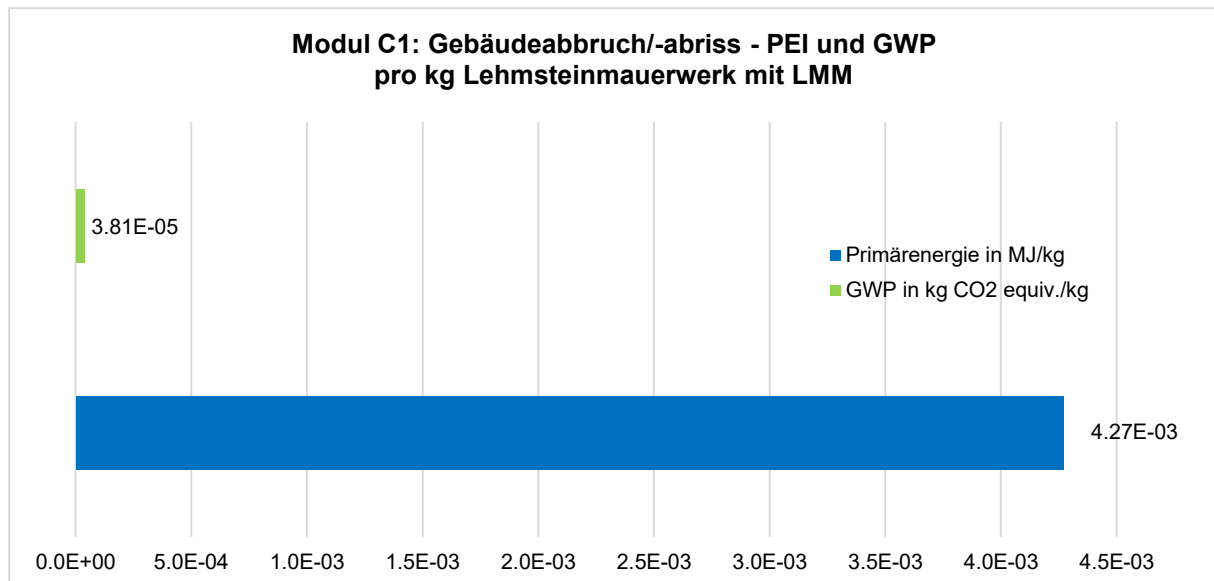


Abb. C.3.1 IM C1: PEI u. GWP für Gebäudeabriss / kg Lehmsteinmauerwerk LSM

Der Energieaufwand (MJ / kg LMM) und die resultierenden Treibhausgasemissionen (CO₂equiv. / kg LMM) der *IM C1* und *C3* werden in Beziehung zu den Rückgewinnungspotenzialen gesetzt und geben Auskunft über den Netto-Effekt der Rückgewinnung.

In *IM C3* wird das Trockenverfahren zur Aufbereitung des Verbundes von LSM mit LMM-Anhaftungen zu Lehm-Rezyklat bewertet. Alternativ kann die Aufbereitung von Lehmsteinbruch im *Nassverfahren* durch Wässern und Mauken als Teil des Prozesses zur Wiederverwertung im Werk [10] erfolgen. Das Nassverfahren wird hier nicht weiter bewertet.

Zur Bewertung der „trockenen“ Aufbereitung des Verbundes LSM mit LMM-Anhaftungen zu Lehm-Rezyklat wurde ein für das Baustoffrecycling typischer Prallbrecher mit geschätzten 0,23 l / t Dieselverbrauch einschließlich Stromgenerator ausgewählt. Solche Prallmühlen zerkleinern i. d. R. härtere Materialien als Lehm (Beton, Ziegel) mit einem Durchsatz von 250 t / h. Deshalb dürfte der hier zur Bilanzierung angenommene Verbrauch für Lehmsteinbruch tendenziell zu hoch angesetzt sein, wird aber als worst case-Annahme beibehalten. *Abb. C.3.2* zeigt die Umweltkennzahlen zum PEI und zur Wirkung auf das Treibhausgaspotenzial GWP der beschriebenen Aufbereitungstechnik in *IM C3*. Der betrachtete Prallbrecher mit integriertem Stromgenerator erfordert ca. 0,001 MJ / kg Lehmsteinbruch. Die Treibhausgasemissionen ergeben sich daraus mit 8,8E-05 kg CO₂equiv. / kg Lehmsteinbruch.

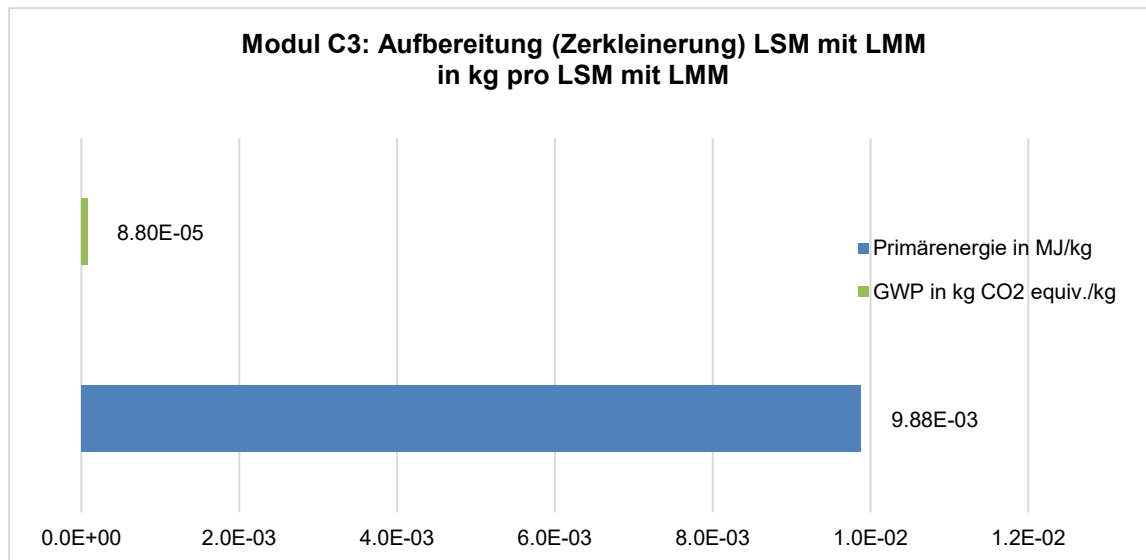


Abb. C.3.2 IM C3: PEI u. GWP für Aufbereitung von Lehmsteinbruch mit LMM.

C.4 Rückgewinnungsszenarien

Die Rückgewinnung von verarbeiteten LMM erfolgt aus teilweisem / vollständigem Gebäudeabriss. Dabei lassen sich LMM i. d. R. nur als Anhaftungen im Verbund mit LS als Lehmsteinmauerwerk (LSM) zurückgewinnen. Die originäre homogene Zusammensetzung (Tab. C.1) von LS und LMM ermöglicht eine Wiederverwertung als sortenreines Lehm-Rezyklat unter Zusatz von Sandkörnung 0/2 für neue LMM oder andere Lehmbaustoffe.

Tab. C.1 Originäre Stoffzusammensetzung LMM und Lehmsteine LS

LMM / LS, Zusammensetzung	LMM 01, 02, erdfeucht (1.800 kg / m³)	LMM 03, nachgetrocknet (1.400 kg / m³)	LS (1.800 kg / m³)	LS (1.600 kg / m³)
Ausgangsstoffe	kg / kg LMM	kg / kg LMM	kg / kg LS	kg / kg LS
Sekundärgrubenlehm	0,43	0,7	1,0	0,9
Gesteinskörnung 0/2, (Zusatzstoff)	0,57	0,2	0	0
Holzspäne, unbehandelt / Strohhacksel	0	0,1	0	0,1

Die mineralische Zusammensetzung des Lehmsteinbruchs aus LSM nach Tab. D.1, die Rückbauversuche an der FH Potsdam [10] und Herstellerangaben zum Mörtelanteil (55 l / m² LSM) zeigen, dass trockenes Lehm-Rezyklat zu mindestens 70 M.-% aus Körnungen im Ton- und Schluffbereich und zu ca. 30 M.-% Sandanteil besteht. Das trocken rückgewonnene, zu Lehm-Rezyklat aufbereitete Abbruchmaterial eröffnet drei Szenarien der Wiederverwertung in IM D1 – D3:

- Szenario D1: für neue LMM 01 und LMM 02 im Erdfeuchtverfahren,
- Szenario D2: für neue getrocknete LMM 03 im Nachtrocknungsverfahren,
- Szenario D3: für andere Lehmprodukte, die im Trockendosiervverfahren hergestellt werden.

Insgesamt vermeiden alle Rückgewinnungsszenarien die Energie- und Umwelteffekte einer Deponierung. Die Bilanzdaten zur Rückgewinnung (D1 – D3), der Aufbereitung (C1 und C3) und Deponierung (C4) sind im Tabellenanhang E enthalten. Nachfolgend werden die Szenarien D1 – D3 interpretiert.

C.4.1 Szenario D1 Erdfeuchtverfahren

Für die Wiederverwertung von Lehmsteinbruch mit LMM-Anhaftungen für neue „schwere“ LMM 01 oder „leichte“ LMM 02 (Tab. C.2) wird für die Berechnung der Rückgewinnungspotenziale der Baulehmanteil von 70 M.-% und ein Sandanteil von 30 M.-% aus dem Abbruchmaterial übernommen. In einem neuen Prozess außerhalb des hier bilanzierten Systems müsste fehlender Sandanteil (27 M.-%) für LMM 01 ggf. ergänzt werden.

Tab. C.2 Modul D1: Wiederverwertung von Lehmsteinbruch mit LMM-Anhaftungen im Erdfeuchtverfahren

Modul D1: Wiederverwertung als LMM im Erdfeuchtverfahren						
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA						
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM						
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERT	PENRT	PEI = PERT + PENRT	GWP (Gesamt)
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg CO ₂ äquiv.
Entsorgungs- stadium	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	3,32E-03	3,34E-03	3,24E-05
	Nassaufbereitung, einsumpfen/mauken	C3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungs- potenziale	Wiederverwertung als LMM 01 erdfeucht	D1	-8,58E-03	-2,93E-01	-3,02E-01	-2,62E-03
	Wiederverwertung als LMM 02, erdfeucht	D1	-3,20E-03	-1,32E-01	-1,36E-01	-2,53E-03

Die Substitution der Ausgangsstoffe erspart bei Wiederverwertung von LSM-Bruch zur Herstellung „neuer“ LMM 01 und LMM 02 nach Erdfeuchtverfahren einen Energieaufwand in Höhe von 1,36E-01 MJ / kg LMM 02 bis 3,02E-01 MJ / kg LMM 01. Dabei wird LSM-Bruch eingesumpft und nicht zu Lehm-Rezyklat aufbereitet. Die Umweltparameter für den primären Abbau von Grubenlehm (erdfeucht) und den Prozess der Sandbereitstellung (ungetrocknet) unterstellt [20], vermeidet Szenario D1 Treibhausgasemissionen in Höhe von 2,53E-03 bis 2,62E-03 kg CO₂equiv. / kg LMM. Die Unterschiede ergeben sich aus den unterschiedlichen Anteilen der mineralischen Bestandteile. Pflanzliche Bestandteile wurden nicht einbezogen, dementsprechend entfallen CO₂ Gutschriften.

Nach Szenario D1 lassen sich durchschnittlich 58 % der Primärenergie einsparen und 33 % der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu primär im Erdfeuchtfahren hergestellten LMM 01 vermeiden. Aufgrund der unterschiedlichen Rezepturen ergibt sich für LMM 02 ein Energiespareffekt von 23 % und eine Klimaentlastung in Höhe von rund 20 % der CO₂equiv. im Vergleich zu primär im Erdfeuchtfahren hergestellten LMM 02.

C.4.2 Szenario D2 Nachtrocknungsverfahren

Bei der Wiederverwertung von LSM-Bruch für neue, getrocknete LMM 03 „leicht“ ergibt sich ein anderer Substitutionseffekt (Tab. C.3): Das trockene, zu Lehm-Rezyklat aufbereitete Abbruchmaterial

ersetzt nicht nur primäre Ausgangsstoffe, sondern auch die Trocknungsenergie für neue „leichte“ LMM 03 und die damit verbundenen Energieeinträge und Treibhausgasemissionen.

Tab.C.3 Modul D2: Wiederverwertung von Lehmsteinbruch mit LMM-Anhaftungen für LMM 03 im Nachtrocknungsverfahren

Modul D2 Rückgewinnungspotenziale als LMM 03 leicht im Nachtrocknungsverfahren						
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA						
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM						
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERT	PENRT	PEI = PERT + PENRT	GWP (Gesamt)
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg CO ₂ equiv
Entsorgungs- stadium	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	3,32E-03	3,34E-03	3,24E-05
	Trockenaufbereitung	C3	6,41E-05	9,76E-03	9,82E-03	9,52E-05
Rückgewinnungs- potenziale	Wiederverwertung als LPM 03 Nachtrocknungsverfahren	D2	-8,17E-03	-7,92E-01	-8,00E-01	-1,25E-02

Anders als bei LMM 01 „schwer“ und LMM 02 „leicht“ substituiert das Abbruchmaterial entsprechend der Rezeptur 70 M.-% Baulehm und 20 M.-% Sand im Recycling für LMM 03.

Der Primärenergieeintrag vermindert sich um 8,00E-01 MJ/ kg LMM 03 durch die wiederverwerteten, trockenen Sekundärstoffe. Die Treibhausgasemissionen sinken um 1,25E-02 kg CO₂ equiv. / kg verwendetes Lehm-Rezyklat. Das ist um einen Faktor mehr als bei der Wiederverwertung der Sekundärstoffe aus Lehmsteinbruch für LMM 01 und LMM 02. Ursächlich dafür ist der mögliche Verzicht auf eine Nachtrocknung mit Flüssiggas als Energieträger.

Wird der Aufwand für den Abbruch von LSM (*Abb. C.3.1*) und die Aufbereitung durch Zerkleinerungsmühlen zu Lehm-Rezyklat (*Abb. C.3.2*) gegengerechnet, reduzieren sich die in *Tab.C.3* betrachteten Nettoeffekte der Substitution in IM D2, bleiben aber höher als der Aufbereitungsaufwand.

Nach Szenario D2 lassen sich durchschnittlich 61 % der Primärenergie einsparen und 67 % der Treibhausgasemissionen (berechnet ohne CO₂-Gutschriften) im Vergleich zu primär im Erdfeuchtfahren hergestellten LMM 03 vermeiden.

C.4.3 Szenario D3 Trockendosiervverfahren

Tab. C.4 zeigt die Umweltkennzahlen PEI und GWP bei einer Wiederverwertung von LSM mit LMM-Anhaftungen als Alternative zur Trocknung erdfeuchter Ausgangsstoffe für andere Lehmbaumstoffe außer LMM. Die trockene Aufbereitung des Abbruchmaterials zu rieselfähigem Lehm-Rezyklat ermöglicht die Wiederverwertung im gravimetrischen *Trockendosiervverfahren*. Vorgelagerte Herstellungsprozesse für Trockenlehm benötigen einen Energieinput mit Erdgas und Strom in Höhe von insgesamt 1,13E+00 MJ/kg Trockenlehm. Das verursacht Treibhausgasemissionen in Höhe von

6,63E-02 kg CO_{2equiv.}/kg Trockenlehm. Für Trockensand sind es 5,58E-01MJ/kg bzw. 2,62E-03 kg CO_{2equiv.}/kg Trockensand.

In IM D3 ersetzen die Bestandteile des Lehm-Rezyklats 70 M.-% Trockenlehm und 30 M.-% Trockensand [10], hier für andere Lehmbaumstoffe im Trockendosierverfahren.

Tab.C.4 Modul D3 Weiterverwertung von Lehm-Rezyklat im Trockendosierverfahren für andere Lehmbaumstoffe

Modul D3 Rückgewinnungspotenziale im Trockendosierverfahren						
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA						
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM						
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERT	PENRT	PEI = PERT + PENRT	GWP (Gesamt)
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg CO ₂ äquiv
Entsorgungs- stadium	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	3,32E-03	3,34E-03	3,24E-05
	Trockenaufbereitung	C3	6,41E-05	9,76E-03	9,82E-03	9,52E-05
Rückgewinnungs- potenziale	Wiederverwertung für Lehmprodukte im Trockendosierverfahren	D3	-1,94E-02	-8,92E-01	-9,12E-01	-2,79E-02

Im Szenario D 3 reduziert sich der Primärenergieeinsatz für Trockenlehm und getrockneten Sand um 9,12E-01 MJ / kg Lehm-Rezyklat durch Wiederverwertung als Sekundärstoff für trocken dosierte, neue Lehmbaumstoffe, z. B. LPM. Die Treibhausgasemissionen (GWP) sinken um 2,79E-02 kg CO_{2equiv.} / kg Lehm-Rezyklat.

Wird der Aufwand für den Abbruch von LSM mit LMM-Anhaftungen (*Abb. C.3.1*) und die Aufbereitung durch Zerkleinerungsmühlen zu Lehm-Rezyklat (*Abb. C.3.2*) gegengerechnet, reduziert sich der Nettoeffekt der Substitution in IM D3 für den Energieinput um <1,0 % und für die GWP um <0,1 %.

Ein Vergleich zu neuen Lehmprodukten mit diesen Sekundärstoffen hängt ab von der spezifischen Zusammensetzung der Produkte und kann hier nicht quantifiziert werden.

TEIL D TABELLENANHANG

Im *Teil D Tabellenanhang* werden für die deklarierten LMM 01 – 03 die ermittelten Input-, Wirkungs- und Outputfaktoren nach Verfahrensart tabellarisch gem. DIN EN 15942 zusammengestellt.

D.1 Erdfeuchtverfahren LMM 01 – 02

Im *Abs. E.1* werden die Input-, Wirkungs- und Outputfaktoren für die erdfeucht hergestellten LPM 01 – 02 tabellarisch dargestellt.

D.1.1 Inputfaktoren

Im *Abs.D.1.1* werden in den *Tab. D.1.1.1 – D.1.1.2* die Inputfaktoren für die erdfeucht hergestellten LMM 01 – 02 tabellarisch dargestellt.

Tab.D.1.1.1 Lehmmauermörtel schwer LMM 01, erdfeucht

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
LMM 01: Lehmmauermörtel schwer nach DIN 18946 - Erdfeuchtverfahren												
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg	MJ H _u	MJ H _u	m ³
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	9,05E-03	0,00E+00	9,05E-03	3,10E-01	0,00E+00	3,10E-01	4,30E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,02E-05
	Transport	A2	2,20E-03	0,00E+00	2,20E-03	3,28E-02	0,00E+00	3,28E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,95E-06
	Herstellung	A3	3,81E-02	0,00E+00	3,81E-02	8,63E-02	3,88E-02	1,25E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,50E-05
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	4,94E-02	0,00E+00	4,94E-02	4,29E-01	3,88E-02	4,67E-01	4,30E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-04
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	0,00E+00	2,18E-05	3,32E-03	0,00E+00	3,32E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,56E-08
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,41E-05	0,00E+00	6,41E-05	9,76E-03	0,00E+00	9,76E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,79E-06
Rückgewinnungspotenziale	Deponierung	C4	3,27E-02	0,00E+00	3,27E-02	2,00E-01	0,00E+00	2,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,05E-05
	Wiederverwertung LMM 01, Erdfeuchtverfahren	D1	-8,58E-03	0,00E+00	-8,58E-03	-2,93E-01	0,00E+00	-2,93E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,81E-05
	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D2	-8,17E-03	0,00E+00	-8,17E-03	-7,92E-01	0,00E+00	-7,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,24E-05
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierverfahren	D3	-1,94E-02	0,00E+00	-1,94E-02	-8,92E-01	0,00E+00	-8,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-05

PERE = Erneuerbare Primärenergie (PE)

PERM = Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung

PERT = Summe erneuerbarer PE

PENRE = Nicht-erneuerbare PE als Energieträger

PENRM = Nicht-erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung

PENRT = Summe nicht-erneuerbarer PE

SM = Einsatz von Sekundärstoffen

RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe

NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe

FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

MB = Modul beschrieben

MNR = Modul nicht relevant

Tab. D.1.1.2 Lehmmauermörtel leicht LMM 02, erdfeucht

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
LMM 02: Lehmmauermörtel leicht nach DIN 18946 - Erdfeuchtverfahren												
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg	MJ H _u	MJ H _u	m ³
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	6,49E-03	0,00E+00	6,49E-03	3,48E-01	0,00E+00	3,48E-01	7,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,42E-05
	Transport	A2	4,14E-03	0,00E+00	4,14E-03	6,19E-02	0,00E+00	6,19E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,69E-06
	Herstellung	A3	3,81E-02	0,00E+00	3,81E-02	8,63E-02	3,88E-02	1,25E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,50E-05
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	4,87E-02	0,00E+00	4,87E-02	4,96E-01	3,88E-02	5,35E-01	7,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	8,29E-05
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	0,00E+00	2,18E-05	3,32E-03	0,00E+00	3,32E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,56E-08
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,41E-05	0,00E+00	6,41E-05	9,76E-03	0,00E+00	9,76E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,79E-06
	Deponierung	C4	3,27E-02	0,00E+00	3,27E-02	2,00E-01	0,00E+00	2,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,05E-05
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LMM 02, Erdfeuchtverfahren	D1	-3,20E-03	0,00E+00	-3,20E-03	-1,32E-01	0,00E+00	-1,32E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,85E-05
	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D2	-8,17E-03	0,00E+00	-8,17E-03	-7,92E-01	0,00E+00	-7,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,24E-05
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierverfahren	D3	-1,94E-02	0,00E+00	-1,94E-02	-8,92E-01	0,00E+00	-8,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-05

PERE = Erneuerbare Primärenergie (PE)

PERM = Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung

PERT = Summe erneuerbarer PE

PENRE = Nicht-erneuerbare PE als Energieträger

PENRM = Nicht-erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung

PENRT = Summe nicht-erneuerbarer PE

SM = Einsatz von Sekundärstoffen

RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe

NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe

FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

MB = Modul beschrieben

MNR = Modul nicht relevant

D.1.2 Wirkungsfaktoren

Im Abs. D.1.2 werden in den Tab. D.1.2.1 – D.1.2.2 die Wirkungsfaktoren für die erdfeucht hergestellten LMM 01 – 02 tabellarisch dargestellt.

Tab. D.1.2.1 Lehmmauermörtel schwer LMM 01, erdfeucht

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
LMM 01: Lehmmauermörtel nach DIN 18946 - Erdfeuchtverfahren															
Funktionale Einheit kg		Parameter	GWP total	GWP-biogenic	GWP-luluc	GWP-fossil	ODP	POCP	AP	EP-terrestrial	EP-fresh-water	EP-marine	WDP	ADPE	ADPF
		IM/Einheit	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CFC-11 eq.	kg NMVOC eq.	Mole of H+ eq.	Mole of N eq.	kg P eq.	kg N eq.	m³ world eq.	kg Sb eq.	MJ H ₂ eq.
Produkt-stadium	Ausgangsstoffe	A1	1,50E-03	-1,61E-06	5,75E-06	1,49E-03	2,64E-06	1,05E-08	1,77E-02	2,76E-05	5,01E-06	2,51E-06	3,91E-05	1,49E-07	2,05E-02
	Transport	A2	2,44E-03	-8,00E-06	1,44E-05	2,43E-03	3,02E-13	1,01E-06	8,17E-06	4,28E-05	5,67E-06	3,82E-06	1,26E-05	1,73E-07	3,27E-02
	Herstellung	A3	4,05E-03	-3,81E-05	2,45E-06	4,08E-03	1,09E-11	9,34E-06	9,06E-06	2,75E-05	4,56E-07	2,27E-06	4,87E-05	2,04E-07	3,21E-02
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	7,98E-03	-4,77E-05	2,26E-05	8,01E-03	2,64E-06	1,04E-05	1,78E-02	9,79E-05	1,11E-05	8,60E-06	1,00E-04	5,26E-07	8,53E-02
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungs-stadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungs-stadium	Rückbau, Abriss	C1	3,24E-05	3,85E-07	5,22E-09	3,20E-05	4,03E-14	8,19E-08	9,24E-08	1,87E-07	5,00E-08	1,71E-08	2,55E-07	2,64E-09	3,32E-03
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	9,52E-05	1,13E-06	1,54E-08	9,40E-05	1,18E-13	2,41E-07	2,72E-07	5,49E-07	1,47E-07	5,01E-08	7,49E-07	7,76E-09	9,75E-03
	Deponierung	C4	1,46E-02	-4,98E-04	4,67E-05	1,50E-02	8,31E-05	3,86E-11	1,07E-04	3,03E-04	3,04E-05	2,75E-05	1,65E-03	6,95E-07	2,00E-01
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung LMM 01, Erdfeuchtverfahren	D1	-2,62E-03	1,52E-06	-5,45E-06	-2,61E-03	-2,51E-06	-1,58E-06	-1,68E-02	-2,62E-05	-7,02E-06	-2,38E-06	-3,71E-05	-1,42E-07	-3,67E-02
	Wiederverwertung LMM 03, Nachrocknung	D2	-1,25E-02	-7,70E-05	-2,98E-06	-1,24E-02	-8,86E-07	-2,23E-05	-5,98E-03	-1,12E-05	-5,55E-06	-5,15E-06	-8,76E-05	-5,11E-08	-6,96E-01
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierverfahren	D3	-2,79E-02	-5,82E-05	-6,57E-06	-2,78E-02	-2,55E-06	-2,05E-05	-1,71E-02	-1,07E-04	-7,25E-06	-9,65E-06	-1,62E-04	-4,34E-07	-4,63E-01

GWP total = Globales Erwärmungspotenzial

GWP-biogenic = Globales Erwärmungspotenzial - biogen

GWP-luluc = Globales Erwärmungspotenzial - luluc

GWP-fossil = Globales Erwärmungspotenzial - fossil

ODP = Abbaupotenzial der stratosphäre. Ozonschicht

POCP = Bildungspotenzial für troposphäre. Ozon

AP = Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung

EP-terrestrial = Eutrophierungspotenzial - Land

EP-freshwater = Eutrophierungspotenzial - Süßwasser

EP-marine = Eutrophierungspotenzial - Salzwasser

WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer)

MNR = Modul nicht relevant

MB = Modul beschrieben

Tab. D.1.2.2 Lehmmauermörtel leicht LMM 02, erdfeucht

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
LMM 02: Lehmmauermörtel leicht nach DIN 18946 - Erdfeuchtverfahren															
Funktionale Einheit kg		Parameter	GWP total	GWP-biogenic	GWP-luluc	GWP-fossil	ODP	POCP	AP	EP-terrestrial	EP-freshwater	EP-marine	WDP	ADPE	ADPF
		IM/Einheit	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg CFC-11 eq.	kg NMVOC eq.	Mole of H ⁺ eq.	Mole of N eq.	kg P eq.	kg N eq.	m ³ world eq.	kg Sb eq.	MJ H ₂ eq.
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	-6,89E-02	-7,55E-02	2,03E-06	6,61E-03	9,33E-07	1,58E-06	6,26E-03	9,73E-06	3,57E-06	8,84E-07	1,38E-05	5,25E-08	7,23E-03
	Transport	A2	4,60E-03	-1,51E-05	2,72E-05	4,59E-03	5,70E-13	1,90E-06	1,54E-05	8,08E-05	1,07E-05	7,20E-06	2,39E-05	3,27E-07	6,18E-02
	Herstellung	A3	4,05E-03	-3,81E-05	2,45E-06	4,08E-03	1,09E-11	9,34E-06	9,06E-06	2,75E-05	4,56E-07	2,27E-06	4,87E-05	2,04E-07	3,21E-02
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	-6,02E-02	-7,55E-02	3,17E-05	1,53E-02	9,33E-07	1,28E-05	6,29E-03	1,18E-04	1,47E-05	1,04E-05	8,64E-05	5,84E-07	1,01E-01
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	3,24E-05	3,85E-07	5,22E-09	3,20E-05	4,03E-14	8,19E-08	9,24E-08	1,87E-07	5,00E-08	1,71E-08	2,55E-07	2,64E-09	3,32E-03
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	9,52E-05	1,13E-06	1,54E-08	9,40E-05	1,18E-13	2,41E-07	2,72E-07	5,49E-07	1,47E-07	5,01E-08	7,49E-07	7,76E-09	9,75E-03
	Deponierung	C4	9,01E-02	7,50E-02	4,67E-05	1,50E-02	8,31E-05	3,86E-11	1,07E-04	3,03E-04	3,04E-05	2,75E-05	1,65E-03	6,95E-07	2,00E-01
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LMM 02, Erdfeuchtverfahren	D1	-2,53E-03	5,38E-07	-1,92E-06	-2,52E-03	-8,86E-07	-2,67E-06	-5,95E-03	-9,24E-06	-5,53E-06	-8,40E-07	-1,31E-05	-5,06E-08	-3,61E-02
	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D2	-1,25E-02	-7,70E-05	-2,98E-06	-1,24E-02	-8,86E-07	-2,23E-05	-5,98E-03	-1,12E-05	-5,55E-06	-5,15E-06	-8,76E-05	-5,11E-08	-6,96E-01
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierv Verfahren	D3	-2,79E-02	-5,82E-05	-6,57E-06	-2,78E-02	-2,55E-06	-2,05E-05	-1,71E-02	-1,07E-04	-7,25E-06	-9,65E-06	-1,62E-04	-4,34E-07	-4,63E-01
	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D3	-2,79E-02	-5,82E-05	-6,57E-06	-2,78E-02	-2,55E-06	-2,05E-05	-1,71E-02	-1,07E-04	-7,25E-06	-9,65E-06	-1,62E-04	-4,34E-07	-4,63E-01

GWP total = Globales Erwärmungspotenzial

GWP-biogenic = Globales Erwärmungspotenzial - biogen

GWP-luluc = Globales Erwärmungspotenzial - luluc

GWP-fossil = Globales Erwärmungspotenzial - fossil

ODP = Abbaupotenzial der stratosphär. Ozonschicht

POCP = Bildungspotenzial für troposphär. Ozon

AP = Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung

EP-terrestrial = Eutrophierungspotenzial - Land

EP-freshwater = Eutrophierungspotenzial - Süßwasser

EP-marine = Eutrophierungspotenzial - Salzwasser

WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer)

MNR = Modul nicht relevant

MB = Modul beschrieben

D.1.3 Outputfaktoren

Im Abs. D.1.3 werden in den Tab. D.1.3.1 – D.1.3.2 die Outputfaktoren für die erdfeucht hergestellten LMM 01 – 02 tabellarisch dargestellt.

Tab. D.1.3.1 Lehmmauermörtel schwer LMM 01, erdfeucht

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
LMM 01: Lehmmauermörtel schwer nach DIN 18946 - Erdfeuchtverfahren										
Funktionale Einheit kg		Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET
		IM/Einheit	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	6,58E-08	1,44E-02	8,07E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	1,84E-09	1,64E-04	1,44E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	8,58E-07	1,67E-04	5,52E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	9,25E-07	1,47E-02	7,76E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	5,54E-12	3,79E-09	3,05E-09	0,00E+00	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,37E-10	4,16E-05	3,51E-07	0,00E+00	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Deponierung	C4	4,31E-12	1,00E+00	2,25E-06	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LMM 01, Erdfeuchtverfahren	D1	-1,09E-07	-2,39E-02	-1,34E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D2	-1,06E-07	-2,23E-02	-1,91E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosiervverfahren	D3	-6,92E-08	-1,40E-02	-1,17E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie

NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall

RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall

CRU = Komponenten f. die Wiederverwendung

MFR = Stoffe zum Recycling

MER = Stoffe für die Energierückgewinnung

EEE = Exportierte elektr. Energie

EET = Exportierte thermische Energie

MNR = Modul nicht relevant

MB = Modul beschrieben

Tab. D.1.3.2 Lehmmauermörtel leicht LMM 02, erdfeucht

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
LMM 02: Lehmmauermörtel leicht nach DIN 18946 - Erdfeuchtverfahren										
Funktionale Einheit kg		Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET
		IM/Einheit	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	2,32E-08	5,07E-03	2,85E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	1,04E-10	9,27E-06	8,15E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	8,89E-09	6,29E-05	5,13E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	3,22E-08	5,14E-03	5,49E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Rückbau, Abriss	C1	5,54E-12	3,79E-09	3,05E-09	0,00E+00	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,37E-10	4,16E-05	3,51E-07	0,00E+00	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Deponierung	C4	4,31E-12	1,00E+00	2,25E-06	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LMM 02, Erdfeuchtverfahren	D1	-1,02E-07	-2,22E-02	-1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D2	-1,06E-07	-2,23E-02	-1,91E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierv Verfahren	D3	-6,92E-08	-1,40E-02	-1,17E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie

NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall

RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall

CRU = Komponenten f. die Wiederverwendung

MFR = Stoffe zum Recycling

MER = Stoffe für die Energierückgewinnung

EEE = Exportierte elektr. Energie

EET = Exportierte thermische Energie

MNR = Modul nicht relevant

MB = Modul beschrieben

D.2 Nachtrocknungsverfahren LPM 03

Im Abs. D.2 werden die Input-, Wirkungs- und Outputfaktoren für den nachgetrockneten LPM 03 tabellarisch dargestellt.

E.2.1 Inputfaktoren

Im Abs. D.2.1 werden in Tab. D.2.1 die Inputfaktoren für den LMM 03 tabellarisch dargestellt.

Tab. D.2.1 Lehmmauermörtel leicht LMM 03, nachgetrocknet

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
LMM 03: Lehmmauermörtel leicht nach DIN 18946 - Nachtrocknungsverfahren												
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg	MJ H _u	MJ H _u	m ³
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	6,49E-03	0,00E+00	6,49E-03	3,48E-01	0,00E+00	3,48E-01	7,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,42E-05
	Transport	A2	4,19E-03	0,00E+00	4,19E-03	6,26E-02	0,00E+00	6,26E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,73E-06
	Herstellung	A3	8,88E-02	5,76E-02	1,46E-01	7,44E-01	0,00E+00	7,44E-01	7,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	6,98E-05
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	9,94E-02	5,76E-02	1,57E-01	1,15E+00	0,00E+00	1,15E+00	1,40E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,19E-05
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	0,00E+00	2,18E-05	3,32E-03	0,00E+00	3,32E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,56E-08
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,41E-05	0,00E+00	6,41E-05	9,76E-03	0,00E+00	9,76E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,79E-06
	Deponierung	C4	3,27E-02	0,00E+00	3,27E-02	2,00E-01	0,00E+00	2,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,05E-05
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LMM02, Erdfeuchtverfahren	D1	-3,20E-03	0,00E+00	-3,20E-03	-1,32E-01	0,00E+00	-1,32E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,85E-05
	Wiederverwertung LMM03, Nachtrocknung	D2	-8,17E-03	0,00E+00	-8,17E-03	-7,92E-01	0,00E+00	-7,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,24E-05
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierverfahren	D3	-1,94E-02	0,00E+00	-1,94E-02	-8,92E-01	0,00E+00	-8,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-05

PERE = Erneuerbare Primärenergie (PE)

PERM = Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung

PERT = Summe erneuerbarer PE

PENRE = Nicht-erneuerbare PE als Energieträger

PENRM = Nicht-erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung

PENRT = Summe nicht-erneuerbarer PE

SM = Einsatz von Sekundärstoffen

RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe

NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe

FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

MB = Modul beschrieben

MNR = Modul nicht relevant

D.2.2 Wirkungsfaktoren

Im *Abs. D.2.2* werden in *Tab. D.2.2* die Wirkungsfaktoren für den nachgetrockneten LMM 03 tabellarisch dargestellt.

Tab. D.2.2 Lehmmauermörtel leicht LMM 03, nachgetrocknet

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
LMM 03: Lehmmauermörtel leicht nach DIN 18946 - Nachtrocknungsverfahren															
Funktionale Einheit kg		Parameter	GWP total	GWP-biogenic	GWP-luluc	GWP-fossil	ODP	POCP	AP	EP-terrestrial	EP-fresh-water	EP-marine	WDP	ADPE	ADPF
		IM/Einheit	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CFC-11 eq.	kg NMVOC eq.	Mole of H+ eq.	Mole of N eq.	kg P eq.	kg N eq.	m³ world eq.	kg Sb eq.	MJ H _a eq.
Produkt-stadium	Ausgangsstoffe	A1	-6,89E-02	-7,55E-02	2,03E-06	6,61E-03	9,33E-07	1,58E-06	6,26E-03	9,73E-06	3,57E-06	8,84E-07	1,38E-05	5,25E-08	7,23E-03
	Transport	A2	4,60E-03	-1,51E-05	2,72E-05	4,59E-03	5,70E-13	1,90E-06	1,54E-05	8,08E-05	1,07E-05	7,20E-06	2,39E-05	3,27E-07	6,18E-02
	Herstellung	A3	7,34E-03	-4,93E-03	6,86E-06	1,23E-02	1,71E-11	3,19E-05	3,67E-05	4,10E-05	5,26E-07	8,60E-06	4,62E-04	7,24E-07	7,44E-01
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	-5,69E-02	-8,04E-02	3,61E-05	2,35E-02	9,33E-07	3,53E-05	6,32E-03	1,32E-04	1,48E-05	1,67E-05	5,00E-04	1,10E-06	8,13E-01
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungs-stadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungs-stadium	Rückbau, Abriss	C1	3,24E-05	3,85E-07	5,22E-09	3,20E-05	4,03E-14	8,19E-08	9,24E-08	1,87E-07	5,00E-08	1,71E-08	2,55E-07	2,64E-09	3,32E-03
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	9,52E-05	1,13E-06	1,54E-08	9,40E-05	1,18E-13	2,41E-07	2,72E-07	5,49E-07	1,47E-07	5,01E-08	7,49E-07	7,76E-09	9,75E-03
	Deponierung	C4	9,01E-02	7,50E-02	4,67E-05	1,50E-02	8,31E-05	3,86E-11	1,07E-04	3,03E-04	3,04E-05	2,75E-05	1,65E-03	6,95E-07	2,00E-01
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung LMM 02, Erdfeuchtverfahren	D1	-2,53E-03	5,38E-07	-1,92E-06	-2,52E-03	-8,86E-07	-2,67E-06	-5,95E-03	-9,24E-06	-5,53E-06	-8,40E-07	-1,31E-05	-5,06E-08	-3,61E-02
	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D2	-1,25E-02	-7,70E-05	-2,98E-06	-1,24E-02	-8,86E-07	-2,23E-05	-5,98E-03	-1,12E-05	-5,55E-06	-5,15E-06	-8,76E-05	-5,11E-08	-6,96E-01
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierverfahren	D3	-2,79E-02	-5,82E-05	-6,57E-06	-2,78E-02	-2,55E-06	-2,05E-05	-1,71E-02	-1,07E-04	-7,25E-06	-9,65E-06	-1,62E-04	-4,34E-07	-4,63E-01

GWP total = Globales Erwärmungspotenzial

GWP-biogenic = Globales Erwärmungspotenzial - biogen

GWP-luluc = Globales Erwärmungspotenzial - luluc

GWP-fossil = Globales Erwärmungspotenzial - fossil

ODP = Abbaupotenzial der stratosphär. Ozonschicht

POCP = Bildungspotenzial für troposphär. Ozon

AP = Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung

EP-terrestrial = Eutrophierungspotenzial - Land

EP-freshwater = Eutrophierungspotenzial - Süßwasser

EP-marine = Eutrophierungspotenzial - Salzwasser

WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer)

MNR = Modul nicht relevant

MB = Modul beschrieben

D.2.3 Outputfaktoren

Im Abs. D.2.3 werden in Tab. D.2.3 die Outputfaktoren für den nachgetrockneten LMM 03 tabellarisch dargestellt.

Tab. D.2.3 Lehmmauermörtel leicht LMM 03, nachgetrocknet

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
LMM 03: Lehmmauermörtel leicht nach DIN 18946 - Nachtrocknungsverfahren										
Funktionale Einheit kg		Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET
		IM/Einheit	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
Produkt-stadium	Ausgangsstoffe	A1	2,32E-08	5,07E-03	2,85E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	1,04E-10	9,27E-06	8,15E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	8,84E-09	6,00E-05	5,10E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	3,21E-08	5,14E-03	5,47E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungs-stadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungs-stadium	Rückbau, Abriss	C1	5,54E-12	3,79E-09	3,05E-09	0,00E+00	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,37E-10	4,16E-05	3,51E-07	0,00E+00	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Deponierung	C4	4.31E-12	1,00E+00	2,25E-06	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung LMM 01, Erdfeuchtverfahren	D1	-1,02E-07	-2,22E-02	-1,25E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LMM 03, Nachtrocknung	D2	-1,06E-07	-2,23E-02	-1,91E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LSM/LMM, Trockendosierverfahren	D3	-6,92E-08	-1,40E-02	-1,17E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie

NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall

RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall

CRU = Komponenten f. die Wiederverwendung

MFR = Stoffe zum Recycling

MER = Stoffe für die Energierückgewinnung

EEE = Exportierte elektr. Energie

EET = Exportierte thermische Energie

MNR = Modul nicht relevant

MB = Modul beschrieben

ZITIERTE STANDARDS

DIN 4102-1:1998-05: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*

DIN 4102-4:2016-05: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*

DIN 18300:2016-09: *VOB/C (ATV) – Erdarbeiten*

DIN 18940:2023-03, *Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Bemessung, Konstruktion u. Ausführung,*

DIN 18942-1:2018-12: *Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 1: Begriffe*

DIN 18942-100:2018-12: *Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*

DIN 18945:2018-12: *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18946:2018-12: *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18948:2018-12: *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 20000-412:2019-06: *Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 412: Regeln für die Verwendung von Mauermörtel nach DIN EN 998-2:2017-02*

DIN EN 998-2:2017-02: *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel*

DIN EN 12620:2008-07: *Gesteinskörnungen für Beton*

DIN EN 13139 (E):2015-07: *Gesteinskörnungen für Mörtel DIN EN 13501 (zurückgezogen)*

DIN EN 13501-1:2010-01: *Klassifizierung von Bauprodukten u. Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten*

DIN EN 15804:2022-03: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*

DIN EN 15942:2022-04: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Kommunikationsformate zwischen Unternehmen*

DIN EN ISO 14025:2011-10: *Umweltkennzeichnungen u. -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen; Grundsätze u. Verfahren*

DIN EN ISO 14040:2021-02: *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze u. Rahmenbedingungen*

DIN EN ISO 14044:2021-02: *Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen*

DIN EN ISO 16000-9:2008-04: *Innenraumluftverunreinigungen – Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen – Emissionskammer-Prüfverfahren*

DIN EN 16449:2014-06: *Holz und Holzprodukte - Berechnung des biogenen Kohlenstoffgehalts im Holz und Umrechnung in Kohlenstoffdioxid*

LITERATURQUELLEN

1. Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.), *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Allgemeine Hinweise für die Erstellung von Ökobilanzen und Projektberichten (Teil 2)*, Ausgabe 2022-06
2. Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): *Lehm-Bau Regeln - Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage, 3., überarbeitete Aufl., 2009

3. Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung AVV) v. 10.12.2001 (BGBl. I, S. 3379), letzte Fassung v. 30.06.2020 (BGBl. I, S.1533)
4. Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmmauermörtel (UPD LMM) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2023-01
5. Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmmauermörtel (PKR LMM)*. Weimar 2022-04
6. Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaumstoffe – Richtlinie*. Technische Merkblätter Lehm bau, TM 05. Weimar:2011-06
7. Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV) v. 18.04.2017 (BGBl.I, S.896), letzte Fassung v. 09.07.2021 (BGBl. I, S.2598)
8. Natureplus e. V. (Hrsg.): *Vergaberichtlinie 0803 zur Vergabe des Qualitätszeichens. Lehmputzmörtel*. Ausgabe April 2015, Neckargemünd: 2015
9. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft - v. 24.07.2002 (GMBL. S.511), BM f. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Berlin:2002, Entwurf Neufassung v. 17.12.2020
10. FH Potsdam: Symposium Baustoffrecycling & Lehmbaumstoffe – Perspektiven für eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, Potsdam August 2022
11. Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV). BGBl. I S.2598 (Nr. 43) v. 09.07.2021, gültig ab 01.08.2023
12. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), BGBl. I, 24.02.2012, letzte Fassung BGBl. I, Nr. 56 v. 02.03.2023
13. Bau-EPD (Hrsg.): *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von UPDs*. Bau-EPD GmbH, Wien 2014
14. www.oekobaudat.de (Stand Aug 2023)
15. Diederichs, S.; Rüter, S.: *Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz*. Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1
16. Forschungszentrum Karlsruhe Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (Hrsg.): Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten - Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Karlsruhe 2007
17. Hebel, D.; Heisel, F.; Webster, K.: *Besser Weniger Anders Bauen. Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft, Grundlagen, Fallbeispiele, Strategien*. Birkhäuser: Basel 2022