



Umweltproduktdeklaration

nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804

ASANTO

Lehmputzmörtel Universal nach DIN 18947

Deklarationsinhaber	asanto Lehm & Baustoffe, Unterm Berg 9, 29456 Hitzacker/Elbe
Herausgeber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Programmbetreiber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Deklarationsnummer	UPD_LPM_ASAN 2024001_PKRÜ5-DE
Ausstellungsdatum	05.04.2024
Gültig bis	04.04.2029

Umwelt-Produktdeklaration – Allgemeine Angaben

Programmbetreiber

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

Deklarationsnummer

UPD_LPM_ASAN 2024001_PKRÜ5-DE

Deklarationsbasis

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (PKR LPM Version Ü5_2022_04)

Ersteller der Ökobilanz

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

Ausstellungsdatum

05.04.2024

Gültigkeitsdauer

04.04.2029

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

Deklarationsinhaber

asanto Lehm & Baustoffe
Thomas Hagelstein,
Unterm Berg 9
29456 Hitzacker/Elbe
www.asanto-lehm.de

Deklariertes Bauprodukt / Deklarierte Einheit

Die Umweltproduktdeklaration (UPD) für den Lehmputzmörtel nach DIN 18947 mit der Bezeichnung:

– asanto Lehmputz Universal, erdfeucht

wurde nach der Muster UPD des Dachverbandes Lehm e.V. UPD_LPM_DVL2023003_PKRÜ5-DE erstellt. Als funktionale Einheit wurde ein Kilogramm Lehmputzmörtel (1 kg) analog zu DIN 18947 Anhang A.3 festgelegt.

Gültigkeitsbereich

Die vorliegende UPD bildet die Ökobilanz zur Herstellung der deklarierten Lehmputzmörtel nach DIN EN 15804 ab. Die Ökobilanz beruht auf Daten zu Energie- und Stoffströmen im Werk Hitzacker/Elbe. Bezugsjahr der Herstellerangaben ist das Jahr 2023. Eine Haftung des Dachverbandes Lehm e.V. in Bezug auf dieser UPD zugrunde liegende Herstellerinformationen ist ausgeschlossen.



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



Prof. Dr. Klaus Pistol
Prüfgremium



Dr.-Ing. Horst Schroeder
Verifizierer

Inhalt

1	ALLGEMEINES.....	1
1.1	Normative Grundlagen.....	1
1.2	Nachverfolgung der Versionen	1
1.3	Begriffe / Abkürzungen.....	2
2	PRODUKTDEFINITION	2
2.1	Geltungsbereich.....	2
2.2	Produktbeschreibung.....	3
2.3	Einsatzzweck.....	3
2.4	Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln.....	3
2.5	Gütesicherung	3
2.6	Lieferzustand.....	4
2.7	Bautechnische Eigenschaften.....	4
2.8	Brandschutz.....	4
2.9	Sonstige Eigenschaften	4
3	AUSGANGSSTOFFE.....	4
3.1	Auswahl / Eignung.....	4
3.2	Stoffeklärungen.....	5
3.3	Bereitstellung des Baulehms	5
3.4	Verfügbarkeit	6
4	PRODUKTHERSTELLUNG	6
4.2	Gesundheits- und Arbeitsschutz.....	7
4.3	Umweltschutz Herstellung.....	7
4.3.1	Abfall.....	7
4.3.2	Wasser / Boden.....	7
4.3.3	Lärm.....	7
4.3.4	Luft	7
5	PRODUKTVERARBEITUNG.....	8
5.1	Verarbeitungsempfehlungen	8
5.2	Arbeitsschutz / Umweltschutz.....	8
5.3	Restmaterial.....	8
5.4	Verpackung	8
6	NUTZUNGSZUSTAND.....	9
6.1	Ausgangsstoffe.....	9
6.2	Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit.....	9
6.3	Beständigkeit / Reparatur / Nutzungsdauer.....	9

7	AUSSERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN	10
7.1	Brand.....	10
7.2	Hochwasser	10
7.3	Havarie Wasserleitungen	10
8	WEITERE HINWEISE ZUR NUTZUNGSPHASE	10
9	NACHNUTZUNGSPHASE	10
9.1	Recycling von LPM	10
9.2	Verwertung von Abfällen und Verpackungen	11
9.3	Entsorgung	11
10	NACHWEISE	11
TEIL A SACHBILANZ		11
A.1	Funktionale Einheit.....	11
A.2	Betrachtungszeitraum.....	11
A.3	Ergebnisse der Sachbilanz.....	11
TEIL B ÖKOBILANZ.....		13
B.1	Ziele der Analyse	13
B.2	Zielgruppen der Analyse	13
B.3	Referenznutzungsdauer	13
B.4	Systembeschreibung.....	13
B.5	Abschneidekriterium.....	14
B.6	Annahmen und Abschätzungen.....	14
B.7	Datenqualität	15
B.8	Allokation.....	15
B.9	Ergebnisse der Ökobilanzierung (LCA).....	16
TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ.....		16
C.1	Primärenergieeinsatz (PEI)	16
C.2	Treibhausgaspotenzial (GWP)	18
C.3	Sonstige Wirkungsfaktoren.....	19
C.4	Abbruch und Aufbereitung	20
C.5	Rückgewinnungsszenarien.....	21
C.5.1	Szenario D1 (<i>Erdfeuchtverfahren</i>)	21
C.5.2	Szenario D2 (<i>Nachrocknungsverfahren</i>)	22
C.5.3	Szenario D3 (<i>Trockendosierverfahren</i>).....	23
D	TABELLENANHANG	24
D.1	Inputfaktoren	25
D.2	Wirkungsfaktoren.....	26

D.3	Outputfaktoren	27
	ZITIERTE STANDARDS / LITERATRUQUELLEN.....	27

1 ALLGEMEINES

1.1 Normative Grundlagen

Dieses Dokument wurde durch den Programmbetreiber Dachverband Lehm e. V. (DVL) 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 u. Rahmenbedingungen*,

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

1.2 Nachverfolgung der Versionen

Version	Kommentar	Stand
Ü01	Entwurf I nach Datenerhebung	Feb2024
Ü02	Bilanzierte und mit Hersteller abgestimmte Version	März 2024
Ü03	Verifizierte Deklaration	April 2024

Version Ü.03

Norden/Hitzacker, April 2024

Kontakt Deklarationsinhaber:

asanto Lehm & Baustoffe
Thomas Hagelstein
Unterm Berg 9
29456 Hitzacker/Elbe
www.asanto-lehm.de

Kontakt Programmbetreiber:

Dachverband Lehm e. V.; Postfach 1172; 99409 Weimar, Deutschland
dvl@dachverband-lehm.de; www.dachverband-lehm.de/wissen/PKR-UPD

Bilanzersteller:

Dipl.-Ök. Manfred Lemke
Westerstr. 40
26506 Norden

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.

Lehmputzmörtel (LPM) besteht aus Baulehm sowie Zusatzstoffen und wird gemäß DIN 18947 nach Festigkeitsklassen SI –SII sowie den Rohdichteklassen 0,9 bis 2,2 klassifiziert. LPM der Rohdichteklassen 0,9 bis 1,2 können als *Leichtlehmputzmörtel* (LLPM) bezeichnet werden.

Lehm-Rezyklat: nach Abbruch von Lehmsteinmauerwerk rückgewonnenes, in Brecheranlagen aufbereitetes Gemisch aus LS-Bruch mit anhaftenden Lehmputzmörtelresten

Trockenlehm ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm.

PKR Produktkategorieregeln (engl.: PCR – Product Category Rules)

UPD Umweltproduktdeklaration (engl.: EPD – Environmental Product Declaration)

LCA Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)

LPM Lehmputzmörtel

LS Lehmstein

LSM Lehmsteinmauerwerk

LR Lehm bau Regeln 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 Musterdeklaration des Dachverbandes Lehm e. V. für Lehmputzmörtel nach DIN 18947 (UPD_LPM_DVL2023003_PKRÜ5-DE) [4] und den Produktkategorieregeln PKR für LPM des Dachverbandes Lehm e.V. (DVL) [5].

Die vorliegende UPD bezieht sich auf erhobene Daten beim Deklarationsinhaber im Werk Hitzacker. Sie umfasst das in *Tab. 2.1* deklarierte Produkt mit Benennung der Verfahrensart.

Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung

Nr.	Hersteller	Werksanschrift	Verfahrensart	Produktbezeichnung
01	asanto Lehm & Baustoffe	Bahrendorfer Str. 9a 29456 Hitzacker/Elbe	Erdfeucht	asanto Lehmputz Universal

2.2 Produktbeschreibung

Die Ausgangsmischung für den deklarierten LPM besteht aus Baulehm und mineralischen Zusatzstoffen nach DIN 18947. Die Erhärtung des LPM erfolgt durch Verdunstung des Anmachwassers. Erhärteter LPM nach DIN 18947 kann durch Wasserzugabe jederzeit replastifiziert werden.

Der in dieser Deklaration benannte LPM wird nach dem Erdfeuchtverfahren hergestellt: das sind *ungetrocknete* LPM, die im erdfeuchten Zustand hergestellt, gelagert, transportiert und verarbeitet werden (*Erdfeuchtverfahren*).

2.3 Einsatzzweck

Der deklarierte LPM nach DIN 18947 dient zur ein- oder mehrlagigen Beschichtung von Wänden und Decken im Innenbereich als Unter- bzw. Oberputz oder Reparaturputz, ggf. auch als Unterputz für Lehmdünnlagenbeschichtungen (LDB), sowie im witterungsgeschützten Außenbereich, hier ggf. auch als Unterputz für witterungsbeständigen Oberputz.

Die Auftragsdicken des deklarierten LPM variieren zwischen > 8 – 20 mm. Dabei bilden *Lehmunterputze* die untere(n) Lage(n) eines mehrschichtigen Putzaufbaus mit bis zu 20 mm pro Lage, *Lehmoberputze* mit mindestens 8 mm die obere Lage eines Putzaufbaus.

2.4 Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln

Für die deklarierten LPM gelten folgende Normen und Anwendungsregeln:

- DIN 18942-1:2024-03, *Lehm- und Lehmputzbaustoffe – Teil 1: Begriffe*,
- DIN 18942-100:2024-03, *Lehm- und Lehmputzbaustoffe – Teil 100: Konformitätsnachweis*,
- DIN 18947:2024-03, *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*,
- DIN 18550-2 in Verbindung mit DIN EN 13914-2 für Lehmputzmörtel LPM,
- Lehm- und Lehmputzregeln des Dachverbandes Lehm e. V. (LR DVL) [2].

Weiterhin gelten die PKR LPM [5] und damit im Zusammenhang das Dokument „Allgemeine Regeln für die Erstellung von Typ III Umweltproduktdeklarationen (Teil 2)“ mit den entsprechenden Begriffsbestimmungen und Abkürzungen [1], die Technischen Merkblätter TM 01 [6] und TM 05 des DVL [7] sowie die entsprechenden Arbeitsblätter des Deklarationsinhabers. Darüber hinaus müssen die Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung AVV) [3], sowie die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) [8] bzw. die Ersatzbaustoffverordnung (EBV) [9] beachtet werden.

2.5 Gütesicherung

Die Gütesicherung des Herstellungsprozesses von LPM nach DIN 18947 erfolgt gem. DIN 18942-100.

2.6 Lieferzustand

Der *erdfeuchte* LPM dieser Deklaration wird zu 90 M.-% lose und unverpackt von Anwendern im Werk abgeholt, der Rest in Großgebäude abgefüllt und zu den Baustellen geliefert. Rein mineralische, erdfeucht gelieferte LPM (Tab. 2.1) sind bei sachgemäßer Lagerung unbegrenzt lagerfähig.

2.7 Bautechnische Eigenschaften

Die in Tab. 2.2 deklarierten LPM werden nach DIN 18947 geprüft.

Tab. 2.2 Bautechnische Eigenschaften des deklarierten LPM

Eigenschaft / Prüfung n. DIN 18947	Asanto LPM Universal Erdfeuchtverfahren	Einheit
Rohdichteklassen	2,0 (Mittelwert 1,8)	kg/m ³
Festigkeitsklasse S	SII	
Biegezugfestigkeit	0,9	N/mm ²
Druckfestigkeit	2,2	N/mm ²
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ	5/10	-
lineares Trocknungsschwindmaß	1,30	%
mechanischer Abrieb	1,3	g
Aktivitätskonzentrationsindex natürlicher Radionuklide I	< 1	-
Wasserdampfadsorptionsklasse WS	WS I	

2.8 Brandschutz

Die Baustoffklasse von Lehmwerkmörteln wird durch Prüfung nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1 bestimmt. Der deklarierte rein mineralische LPM ist der Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1 zuzuordnen. Unabhängig von der Baustoffklassifizierung erwiesen sich LPM aus mineralischen Inhaltsstoffen als Bauteilbeschichtung (z. B. Holz, Strohdämmung) unter Brandtemperatureinwirkung als hemmend auf das Brandverhalten des Bauteils (z. B. Entzündungszeitpunkt, Flammausbreitung, REI nach DIN EN 13501-2 [10]).

2.9 Sonstige Eigenschaften

LPM nach DIN 18947 können nach Erhärtung entweder durch Wässerung replastifiziert oder trocken zermahlen und als LPM oder Ausgangsstoff für neue Lehmbaustoffe wieder- bzw. für Anwendungen außerhalb des Lehmbaus weiterverwertet werden (Abs. 9.1).

Der zulässige Gesamtgehalt an bauschädlichen Salzen von 0,12 M.-% wird nicht überschritten.

3 AUSGANGSSTOFFE

3.1 Auswahl / Eignung

Für die Auswahl der Ausgangsstoffe / Vorprodukte gelten die PKR LPM [5]. Tab. 3.1 zeigt die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe des deklarierten LPM nach Tab. 2.1.

Tab. 3.1 Ausgangsstoffe von LPM

Ausgangsstoffe LPM nach Tab. 2.1	Ausgangsstoffe LPM Asanto Universal
Primärlehmaushub	-
Sekundärlehmaushub	X
Primärrecyclinglehm	-
Trockenlehm	-
Sand 0/4, ungetrocknet, ungewaschen	X
Sand 0/2, getrocknet	-
Pflanzenteile/-fasern	-
Organische Zusatzstoffe, natürlich	-
Organische Zusatzstoffe, künstlich	-

Für die Eignungsprüfung von Baulehm gelten die LR DVL [2] sowie das TM 05 DVL [7].

3.2 Stofflerläuterungen

Baulehm gemäß LR DVL [2] ist zur Herstellung von Lehmbauprodukten 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 (natureplus RL 5003 [11]).

Baulehm wird unterschieden nach Lehmaushub, Trockenlehm und Recyclinglehm.

Lehmaushub (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 weiterer Verarbeitung wird unterschieden:

- *Primärlehmaushub* wird zielgerichtet für die Herstellung von Lehmbauprodukten abgebaut und verarbeitet.
- *Sekundärlehmaushub* fällt beim Ton-, Sand-, Kies- und Kalkabbau oder anderen Erdarbeiten für Baumaßnahmen als *Bodenaushub* [1] an und kann als Sekundärrohstoff weiterverarbeitet werden. Er verliert dann seine Abfalleigenschaft (*Abs. 9.1*).

Trockenlehm ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm. Tonmehl ist natürlicher, getrockneter, ggf. gemahlener Ton, der zur Erhöhung der Bindekraft magerer Baulehme verwendet werden kann. Trockenlehm sowie getrocknete Gesteinskörnungen enthalten „graue“ Wärmeenergie aus Vorprozessen, die nach Art und Menge erfasst werden (*Abs. 9.1*).

Recyclinglehm ist aus Abbruchbauteilen rückgewonnener Lehmbaustoff [2]. Er liegt i. d. R. als Bestandteil von Baumischabfall (Bauschutt / Baustellenabfälle) vor und muss durch geeignete Trennverfahren von anderen Abfällen separiert werden. Er kann trocken zerkleinert oder durch Zugabe von Wasser replastifiziert und als Baulehm im Produktionsprozess weiterverwertet werden. Je nach weiterer Verwertung wird unterschieden in (*Abs. 9.1*):

- *Primärrecyclinglehm* wird zielgerichtet als Lehmbaustoff wiederverwertet.
- *Sekundärrecyclinglehm* wird für Anwendungen außerhalb des Lehmbaus weiterverwertet (z. B. Abtrennung der Sandkornfraktion für Betonherstellung, Erdbau [9]).

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

3.3 Bereitstellung des Baulehms

Der deklarierte LPM basiert auf Sekundärlehmaushub, der als Bodenabfall bei der Sandgewinnung, oder anderen Erdarbeiten anfällt und mit der Wiederverwertung als Baulehm seine Abfalleigenschaft verliert.

3.4 Verfügbarkeit

Alle mineralischen Rohstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit als „geologisch gewachsene“ Naturstoffe generell begrenzt. Die Weiterverwertung von lehmhaltigem Bodenaushub als *Sekundärlehmaushub* [1, Bild 3.3] für die Herstellung von Lehmbaustoffen spart Deponieraum und verlängert die Verfügbarkeit von Primärrohstoffen.

Ein bisher kaum erschlossenes Rohstoffpotenzial für die Herstellung von Lehmbaustoffen ist die sortenreine Rückgewinnung von Lehmsteinmauerwerk LSM mit LPM-Anhaftungen und nachfolgender Aufbereitung zu Lehm-Rezyklat [12]. Aufgrund der besonderen hydraulischen Eigenschaften des Bindemittels Lehm ist eine Replastifizierung und Wiederverwertung von auf Putzgeweben haftenden, abgerissenen LPM oder trocken rückgebautem LSM mit anhaftenden Lehmmörtelresten jederzeit möglich. Eine mineralische Rohstoffknappheit besteht nicht.

4 PRODUKTHERSTELLUNG

Die Verfahrensarten zur Herstellung von LPM unterscheiden sich hinsichtlich der Energiebilanzen und Umweltwirkungen. Der deklarierte LPM wird nach dem *Erdfeuchtverfahren* hergestellt [4].

LPM können aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften ungetrocknet, 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 weder eine thermische Behandlung der Komponenten noch eine Wasserzugabe erfordert.

Der nach dem Erdfeuchtverfahren hergestellte LPM umfasst folgende Prozessschritte mit ggf. dazwischen liegenden Transporten im Werk:

1. Bereitstellung von Sekundärlehmaushub und weiteren Ausgangsstoffen,
2. Aufhalden und Bewittern des Baulehms,
3. Zugabe von Gesteinskörnung gemäß Rezeptur,
4. Mischung des Baulehms und des ungesiebten Sandes mit Radlader,
5. Förderung der Mischung über Siebanlage (Harfensieb 5 mm) und Aussiebung von Überkorn,
6. Abhaltung des Fertigproduktes zur Abholung (lose) oder zum Transport (1,2 t PP-Big Bags).

Bild 4.1 zeigt das Produktionsschema für den deklarierten LPM nach dem Erdfeuchtverfahren.

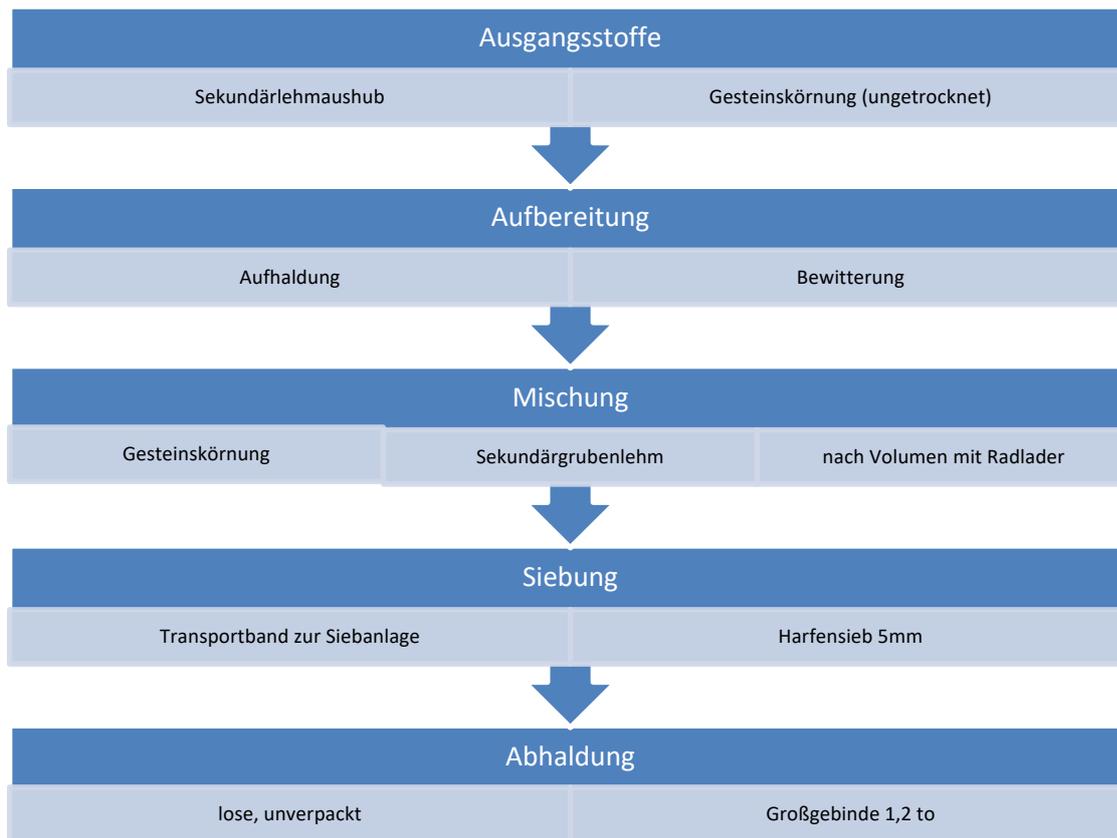


Bild 4.1 Produktionsschema Erdfeuchtverfahren für LPM Universal

4.2 Gesundheits- und Arbeitsschutz

Die Grenzwerte und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften werden eingehalten.

4.3 Umweltschutz Herstellung

4.3.1 Abfall

Stand der Technik ist die vollständige Wiederverwertung aller mineralischen Abfälle, die während des Produktionsprozesses anfallen, z. B. abgeseibtes Überkorn und Reste bei Produktwechselln auf derselben Anlage.

4.3.2 Wasser / Boden

Belastungen von Wasser / Boden entstehen nicht. Das beschriebene Herstellungsverfahren arbeitet abwasserfrei. Die Restfeuchte des ungetrockneten LPM (Erdfeuchtverfahren) wird zusammen mit dem Anmachwasser während des Trocknungsprozesses im / am Bauteil in Form von Wasserdampf wieder freigesetzt.

4.3.3 Lärm

Die geforderten Grenzwerte werden eingehalten.

4.3.4 Luft

Schadstoffemissionen durch den Betrieb von Dieselfahrzeugen im Werk werden im Rahmen der Ökobilanz als Output des spezifischen Einsatzes von Diesel erfasst und bewertet.

5 PRODUKTVERARBEITUNG

5.1 Verarbeitungsempfehlungen

Der deklarierte LPM ist verarbeitungsfertig für die Herstellung von Putzen und Mörteln, wird auf der Baustelle mit Wasser angemacht und i. d. R. maschinell mit üblicher Mischtechnik (Freifall- oder Zwangsmischer) aufbereitet. Kleinere Mengen werden mit einem Rührgerät oder manuell gemischt.

LPM werden nach DIN 18947 bzw. LR DVL [2] aufbereitet und verarbeitet. Sie sollen nach der Aufbereitung noch eine gewisse Zeit ruhen (mauken), damit sich die Bindekraft der Tonminerale voll entfaltet. Unmittelbar vor der Verarbeitung werden sie nochmals durchgemischt. Verarbeitungshinweise der Hersteller, insbesondere zu Maukzeiten, sind zu beachten.

LPM werden auf größere Flächen mit einer Putzmaschine, bei kleineren Flächen oder zur Erzielung besonderer Oberflächenstrukturen / zum Glätten auch manuell aufgetragen, insbesondere Lehmoberputz. In Schläuchen oder Mörtelkästen erhärteter LPM erhält durch Wasserzugabe wieder die erforderliche Verarbeitungskonsistenz.

LPM müssen nach dem Auftrag schnell austrocknen können, bevorzugt durch natürliche Lüftung. In ungünstigen Fällen (z. B. hohe Luftfeuchtigkeit im Außenbereich) ist eine künstliche Trocknung sinnvoll. Eine Überwachung mittels Trocknungsprotokoll nach TM 01 DVL [6] und Datenblätter wird empfohlen.

LPM werden abfallfrei verarbeitet, indem frischer oder erhärteter Mörtel der Wiederverwertung zugeführt wird.

5.2 Arbeitsschutz / Umweltschutz

Es gelten die Regelwerke der Berufsgenossenschaften und die jeweiligen Sicherheitsdatenblätter.

Während der Verarbeitung von LPM sind keine besonderen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu treffen. LPM nach DIN 18947 erzeugen bei Hautkontakt während der Verarbeitung keine Reizungen oder Schäden. Der Kontakt von LPM mit den Augen ist zu vermeiden.

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

5.3 Restmaterial

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

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

5.4 Verpackung

Der deklarierte LPM bleibt überwiegend unverpackt. Das lose Material wird im Werk abgeholt und dort auf geeignete Transportanhänger aufgeladen. Ein Zehntel der Jahresproduktion wird in Großgebände aus Kunststoffgewebe (1,2 t) abgefüllt und zur Baustelle transportiert.

6 NUTZUNGSZUSTAND

6.1 Ausgangsstoffe

Für die Herstellung des deklarierten LPM werden ausschließlich die natürlichen 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.

Die mineralischen Gesteinsrohstoffe können auf Grund ihrer geologischen Entstehung in geringen Mengen bestimmte Spurenelemente als natürliche Beimengungen enthalten.

6.2 Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit

Der deklarierte LPM enthält keine schädlichen Stoffe in gesundheitsschädigenden Konzentrationen wie z. B. flüchtige organische Komponenten (VOC), Formaldehyd, Isocyanate usw. Die Kriterien nach natureplus RL 0803 [13] werden erfüllt. LPM sind im verarbeiteten Zustand geruchsneutral.

Die Mikroporenstruktur der Tonmineralien des Baulehms ermöglicht eine rasche, besonders hohe Adsorption / Desorption von überschüssigem Wasserdampf im Innenraum. LPM auf inneren Bauteiloberflächen tragen deshalb zu einem ausgeglichenen Innenraumklima bei (IM B1). Der deklarierte LPM erfüllt die Prüfkriterien nach der in Tab. 2.2 ausgewiesenen Wasserdampfsorptionsklasse WS I gemäß DIN 18947.

Bei Taupunktunterschreitung der Innenraumluft wird ggf. an trockenen Bauteiloberflächen ausfallendes Tauwasser durch die kapillare Porenstruktur des LPM sofort verteilt. Dadurch wird der möglichen Bildung von Schimmel an gefährdeten Stellen („kalte Ecken“ von Außenwänden) entgegengewirkt (IM B1).

6.3 Beständigkeit / Reparatur / Nutzungsdauer

Tonminerale sind nicht hydraulische Bindemittel, d. h. sie erhärten nur an der Luft und werden bei Wiederbefeuchtung erneut plastisch (Replastifizierungseffekt). Die Anwendung des LPM ist deshalb auf den Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich begrenzt. Sie sind über den gesamten Nutzungszeitraum vor stehendem und fließendem Wasser oder dauerhafter Durchfeuchtung zu schützen.

LPM zeichnen sich wegen der Möglichkeit der Replastifizierung des Festmörtels durch vorübergehende Befeuchtung (z. B. Schwammbrett) durch besondere Reparaturfreundlichkeit aus (IM B2 und B3). Sie sind zum Auftrag auf verschiedene Untergründe gut geeignet, z. B. Beton, Gipsplatten (vorbehandeln), Holzfaserplatten, Mauerwerk.

Anforderungen an Lehmputz als Bauteil (Trocknung nach Putzauftrag, Weiterbehandlung / Überarbeitung, Gebrauchstauglichkeit, optische Anforderungen) sind in TM 01 DVL [6] ergänzend zu den LR DVL [2] festgelegt und im Datenblatt „Lehmputzmörtel nach DIN 18947, LPM-0/4-m-S II-2,0, Charge 003, erdfeucht“ von asanto spezifiziert (IM A5).

Der Risswiderstand der deklarierten LPM kann durch eine geeignete Gewebearmierung in der zugbelasteten Zone des Putzes erhöht werden (DIN 18550-2).

Die Lebensdauer von LPM 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.

Zur Brandbekämpfung eingesetztes Löschwasser kann Schäden am Lehmputz erzeugen. LPM im Löschwasser verursacht keine Umweltrisiken.

7.2 Hochwasser

Unter Wassereinwirkung (z. B. Hochwasser) können LPM nach DIN 18947 replastifiziert und ausgewaschen werden. Dabei werden keine wassergefährdenden Stoffe freigesetzt. Aufgeweichte LPM-Bereiche müssen ggf. auf ihre Stabilität und Haftung am Untergrund untersucht werden.

7.3 Havarie Wasserleitungen

Infolge von Schäden an Wasserleitungen kann im Gebäude Wasser austreten und verarbeiteten LPM aufweichen. Die Haftung der aufgeweichten Bereiche am Untergrund ist zu überprüfen.

8 WEITERE HINWEISE ZUR NUTZUNGSPHASE

LPM emittieren keine umwelt- oder gesundheitsgefährdenden flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, TVOC).

Die dynamische Luftfeuchtesorption von LPM in der Nutzungsphase hat Auswirkungen auf das Raumklima und trägt damit zur energetischen Optimierung notwendiger Luftwechselraten bei.

Die Lebensdauer von verarbeiteten LPM ist abhängig von der jeweiligen Konstruktion, der Nutzungssituation, dem Nutzer selbst, Unterhalt und Wartung usw. Deshalb ist die Nutzungsphase nur in Form von Szenarien zu beschreiben.

9 NACHNUTZUNGSPHASE

9.1 Recycling von LPM

Lehmputz als Bauteil kann während und nach Ablauf der Nutzungsphase üblicherweise als Putzgrund für das Aufbringen eines neuen Putzes weiterverwendet werden. Reststoffe (Altanstriche, alte Ausbesserungen mit Gips, Zement- und Kalkmörtel) sind zu entfernen. Durch Anfeuchten (z. B. Sprühnebel) und Bearbeiten der Oberfläche lassen sich die Klebkräfte des alten Lehmputzes vor Auftrag des neuen LPM reaktivieren.

LPM können bei Verwendung von Bewehrungsgeweben in einfacher Weise sortenrein zurückgebaut werden. Bewehrungsgewebe sind manuell leicht abziehbar und erleichtern die Rückgewinnung des LPM [12]. Zurückgewonnene LPM können aufgrund der hydraulischen Eigenschaften der Tonminerale durch Wasserzugabe ohne zusätzlichen Energieaufwand replastifiziert und wiederverwertet werden. Ihre ursprüngliche Zusammensetzung entspricht den für eine Wiederverwertung als LPM gemäß DIN 18947 geforderten Eigenschaften [12][14].

Bei einer Wiederverwertung als (Primär-)Recyclinglehm [1, Bild 3.5] dürfen die rückgebauten LPM keine relevanten Spuren aus chemischen und biologischen Einwirkungen aus der zurückliegenden Nutzung enthalten (bauschädigende Salze, Moose / Algen, Hausschwamm, Schimmelpilze usw.). Gleiches gilt für die Weiterverwertung von gelösten mineralischen Komponenten (z. B. Sand) als Rohstoff für andere Baustoffe (Sekundärrecyclinglehm). Sie müssen darüber hinaus frei von Reststoffen (Altanstriche, alte Ausbesserungen mit Gips, Zement- und Kalkmörtel) sein.

Sofern die o. g. Möglichkeiten der Wiederverwertung durch Einsumpfen nicht praktikabel sind, kann LPM oder LSM-Bruch mit anhaftenden LPM-Resten in Brecheranlagen zu Lehm-Rezyklat aufbereitet und danach als Primärrecyclinglehm für LPM oder andere Lehmbaustoffe wiederverwertet werden (*Abs. C.4*).

Nicht sinnvoll für neue Lehmprodukte verwertbare LPM aus Gebäudeabriss mit natürlichen mineralischen Zusatzstoffen und einem homogen verteilten Gehalt an natürlichen organischen Zusatzstoffen ≤ 1 M.-% lassen sich als Bodenaushub weiterverwerten, z. B. im Landschaftsbau, zur Rekultivierung, zur Trassierung von Verkehrswegen oder in der Land- und Forstwirtschaft entsprechend der Ersatzbaustoffverordnung EBV [9].

9.2 Verwertung von Abfällen und Verpackungen

Die Verwertung von Kunststoffverpackungen erfolgt durch einen zertifizierten Entsorger gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [15]. Bei der Herstellung von LPM entstehen keine Produktionsabfälle.

9.3 Entsorgung

Bei Gebäudeabriss zurückgebaute, nicht sortenrein gewinnbare LPM, sowie LPM aus Landwirtschaftsbauten, die für eine Wiederverwertung ungeeignet sind, können aufgrund ihres chemisch neutralen und inerten Verhaltens auf Deponien der Deponieklasse DK 0 eingelagert werden (AVV Abfallschlüssel 01 04 09 Abfälle aus Sand und Ton [3]). Sie stellen keine außergewöhnlichen Belastungen für die Umwelt dar und können als Bauabfall deklariert werden (*Modul C4*).

10 NACHWEISE

Die Regelprüfungen des Herstellers nach DIN 18947:2018-12 durch die MFPA Weimar liegen dem Programmbetreiber vor.

Der Radionuklidgehalt [Bq/kg] für Ra-226, Th-232, K-40 entspricht einem Aktivitätskonzentrationsindex $I < 1$ nach DIN 18947.

TEIL A SACHBILANZ

A.1 Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit für die Herstellung von LPM ist in DIN 18947, A.3 sowie in der entsprechenden PKR [5] geregelt und wird massebezogen mit einem Kilogramm (1 kg) festgelegt.

A.2 Betrachtungszeitraum

Die eingesetzten Mengen an Rohstoffen, Energien sowie Verpackungen sind als Mittelwert von zwölf Monaten auf Basis des Jahres 2023 in dem betrachteten Werk in Hitzacker 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 durch den Hersteller und geeigneter Berechnungsverfahren. Dabei beziehen sich die Inputfaktoren auf Ausgangs-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Energieträger, Energiearten und Verpackungen, die Outputfaktoren auf die entsprechenden Emissionen des Systems in Luft, Wasser und Boden sowie Abfälle.

Tab. A.1 bildet die Input- und Outputfaktoren für den deklarierten LPM ab. Hauptinputfaktoren sind die Ausgangsstoffe und die mit Dieselkraftstoff betriebenen Produktionsanlagen und Fahrzeuge im

Werk. Die Herstellung aller LPM erfolgt ohne Wasserzugabe, abwasserfrei und abfallfrei. Der Frischwasserverbrauch und die Outputfaktoren ergeben sich indirekt als Eintrag aus den Produktionsketten der Vorprodukte und Energieträger.

Tab. A.1 Sachbilanz der untersuchten Lehmputzmörtel (LPM)

Lehmputzmörtel LPM	Produkt		Bemerkungen
	asanto LPM Universal (Erdfeuchtverfahren)	Einheiten	
INPUTFAKTOREN			
Baulehm	0,8	kg/kg LPM	
- Primärlehmaushub	-	kg/kg LPM	
- Sekundärlehmaushub	0,8	kg/kg LPM	Bodenaushub, -abfall
- Trockenlehm	-	kg/kg LPM	
Gesteinskörnung	0,2	kg/kg LPM	
Pflanzliche Zusätze	-	kg/kg LPM	
Inputfaktoren			
Herstellung			
elektrische Energie	-	MJ/kg LPM	PV Anlage für Beleuchtung u. Gebäude, keine elektr. Energie zur Herstellung
Wärmeenergie	-	kg/kg LPM	keine
Diesel (u.a. Siebanlage, Baufahrzeuge)	0,00115	l/kg LPM	im Werk
Frischwasser	0,000004	m³/kg LPM	von Vorprodukten und Ausgangsstoffen
PP Großgebände	0,0013	kg/kg LPM	1,6 kg Big Bag für 1200kg LPM; nur für 10M.-% der LPM
OUTPUTFAKTOREN			
LPM	1	kg	Funktionale Einheit
Abfälle (indirekt)	0,0000124	kg/kg LPM	aus Vorketten
Abwasser	-		Abwasserfreie Produktion
Staub	-		Erdfeuchte Ausgangsstoffe, Staubfrei

Der Baulehm des deklarierten LPM besteht zu 80 M.-% aus Sekundärgrubenlehm, der als Abfall aus der Kiesgewinnung in der Nähe des Werkes stammt.

Der in Tab. A.1 aufgelistete mineralische Zusatz entspricht der DIN 18947. Der Anteil der Gesteinskörnungen (20 M.-%) aus gesiebt, ungewaschenem Sand magert den Baulehm ab und verbessert die Verarbeitungsfähigkeit des LPM.

Die Herkunfts- und Verbrauchsangaben zum Energieinput in das Werk basieren auf Angaben des Herstellers für das Jahr 2023. Der durchschnittliche Energieeinsatz (MJ/kg LPM) wurde bezogen auf die produzierte Gesamtmasse angesetzt (massenbezogene Allokation). Die Baumaschinen zum Betrieb im Werk, zum Mischen und zu internen Transporten arbeiten mit Dieselantrieben. Die in Tab. A1 angemerkte Stromversorgung aus der eigenen PV-Anlage dient nicht dem Herstellungsprozess, sondern der Versorgung nicht bilanzierter Gelände und Gebäude.

Die Großgebände (PP Big Bags) werden für 10 M.-% der Jahresproduktionsmenge verwendet, 90 M.-% der Jahresproduktionsmenge holen Kunden lose im Werk ab.

Die Wasserverbräuche entstehen indirekt aus Vorprodukten. Die Abfälle entstehen nicht im Herstellungsprozess des untersuchten LPM, sondern durch die Bereitstellung von Energieträgern und Vorprodukten.

TEIL B ÖKOBILANZ

Die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN ISO 14044 / DIN EN 15804 zur Erstellung einer Typ III UPD beruht auf einer Lebenszyklusanalyse (LCA) von LPM nach Herstellerdaten 2023 für das Werk in Hitzacker.

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 LPM. 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 LPM, Planer und Entscheidungsträger, die die Ergebnisse zur ökologischen Bewertung eines Bauteils / 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 [16] wird eine RSL für LPM von 100 Jahren zugrunde gelegt.

B.4 Systembeschreibung

Für die Erstellung einer Ökobilanz nach DIN EN 15804, Abs. 6 werden die Lebensphasen A1 - A3 von der Wiege bis zum Werkstor mit den Optionen C3 und D betrachtet (Tab. B.1).

Tab. B.1 Darstellung der analysierten Module der Ökobilanz

Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase				Gutschriften und Lasten
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	
Rohstoffbereitstellung	Transport ins Werk	Herstellung	Transport zur Baustelle	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau, Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial
X	X	X	MNR	MB	MB	MB	MB	MNR	MNR	MNR	MNR	X	MNR	X	MB	X

X	betrachtete und quantifizierte Module
MNR	Modul nicht relevant nach PKR
MND	Modul nicht deklariert
MB	Modul beschrieben aber nicht quantifiziert

Die fehlende Quantifizierung einzelner Module des Lebenszyklus wird nachfolgend begründet:

A4 (Transport zur Baustelle): Entsprechend der PKR des Programmbetreibers [5] nicht dem Baustoff zuzurechnen, sondern dem Gebäude.

A5 (Bau/Einbau): Hinweise zur Anwendung sind im allgemeinen Teil der Deklaration enthalten.

B1 - B7 (Nutzungsphase)

Modul *B1 (Nutzung)* wird durch die in Abs. 2 und 6 beschriebenen physikalischen Eigenschaften und raumklimatischen Wirkungen dargelegt.

Für die Module *B2 (Instandhaltung)* und *B3 (Reparatur)* sind die beschriebene Wasserlöslichkeit und Replastifizierbarkeit der LPM vorteilhaft. Ausbesserungen sind bei kleinen Schäden mit einem nassen Schwamm oder mit zusätzlichem Material leicht möglich. Es gibt keine quantifizierbaren Stoff- und Energieflüsse.

Die Module *B4 (Ersatz)* und *B5 (Umbau)* sind gleichbedeutend mit dem Produktlebensende. Dabei fallen keine Stoff- und Energieflüsse bei der Entnahme des Produkts an. Es gelten die physikalischen Eigenschaften zur Wiederverwertbarkeit im allgemeinen Teil der Deklaration.

Die Module *B6 (Energieeinsatz)* und *B7 (Wassereinsatz)* sind während der Nutzung der LPM als Bauteil nicht anwendbar.

Modul *C2 (Transport)* liegt außerhalb der Systemgrenze und ist dem Gebäude zuzuordnen.

Modul *C4 (Entsorgung)*: Es gelten die qualitativen Aussagen in der Deklaration. In Szenarien des Moduls D wird eine stoffliche Wiederverwertung unterstellt.

B.5 Abschneidekriterium

Entsprechend DIN 18947, 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.

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

B.6 Annahmen und Abschätzungen

Annahmen und Abschätzungen betreffen Sekundärlehmaushub, die Abfallaufbereitung (*IM C1* u. *C3*) und das Rückgewinnungspotenzial (*IM D1 - D3*).

Sekundärlehmaushub (Abs. 3.2): der Ressourceneinsatz und die Umweltwirkungen entfallen auf die Sandgewinnung oder die Tiefbaumaßnahmen bei sonstigem Erdaushub. Sekundärlehmaushub 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).

Gesteinskörnung (in A1): Der Sand wird ohne Aufbereitung (z. B. Wäsche) aus einer Grube auf dem Werksgelände entnommen. Die Umweltfaktoren für den Aushub und die nachfolgende Siebung sind in den Angaben zum Energieeinsatz (hier: Diesel) enthalten.

Abbruch/Abriss (C1): LPM bilden mit dem Mauerwerk oder einer Trockenbaukonstruktion einen festen Verbund mit dem jeweiligen Untergrund. Durch Abriss des Mauerwerks oder der Trockenbaukonstruktion (z. B. nach Gütezeichen Trockenbau RAL-GZ 531) kann LPM sortenrein durch manuelle Trennung vom Untergrund rückgewonnen werden. Entsprechende Laboruntersuchungen fanden an der FH Potsdam statt [12][14].

Für den Fall eines maschinellen Mauerwerksabbruchs wird für die nachfolgende Modellrechnung auf die Leistungsdaten eines branchentypischen Abrissbaggers für LSM mit einem Dieselverbrauch von 0,16 l / Betriebsstunde bei einer Abrissleistung von 30 m³/h zurückgegriffen.

Abfallaufbereitung (C3): Die Annahmen in *IM C3* basieren auf experimentellen Untersuchungen der FH Potsdam [12] zur Aufbereitung auf Putzgeweben haftender, manuell abgerissener LPM sowie trocken rückgebauten LSM mit anhaftenden Mörtelresten durch Auflösung in Wasser (*Nassverfahren*) oder Zermahlen in entsprechenden Anlagen (*Trockenverfahren*). Für die nachfolgende Modellrechnung werden die Verbrauchs- und Leistungsdaten einer branchentypischen Prallbrecheranlage, mobil / stationär einsetzbar für mineralische Baustoffe unterstellt. Die Anlage benötigt 0,23 l Diesel / t Abbruchmaterial, einschließlich des Betriebs eines integrierten Stromgenerators.

Rückgewinnungspotenzial (D): Abgeleitet aus der Muster-UPD für LPM [4] werden in den nachfolgenden Modellrechnungen drei unterschiedliche Szenarien D1 bis D3 angenommen. Dabei wird „Abbruchmaterial“ je nach Rückbauverfahren definiert als „abgerissener“ LPM bzw. LSM-Abbruch mit Lehmputzmörtelresten.

IM D1 unterstellt eine Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials für *neue ungetrocknete LPM* durch *Einsumpfen / Mauken*. Die Substitution von primären Ausgangsstoffen bildet das Rückgewinnungspotenzial dieses Szenarios (*Nassverfahren*).

IM D2 unterstellt eine Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials für *neue trockene LPM* im *Nachtrocknungsverfahren*. Im Szenario D2 ersetzen die trocken rückgewonnenen Sekundärstoffe nicht nur die primären Ausgangsstoffe (wie in D1), sondern insbesondere die Energie für die Nachtrocknung erdfeuchter LPM.

IM D3 unterstellt eine Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials als Sekundärstoff für Lehmabbaustoffe, die *im Trockendosierverfahren* hergestellt werden. Das können auch neue LPM sein. Bei diesem Verwertungsszenario ersetzen die Bestandteile des LPM (überwiegend Trockenlehm und Trockensand) ansonsten technisch getrockneten Baulehm und Sand.

B.7 Datenqualität

Die Datenerfassung für die untersuchten Produkte und Verfahren erfolgte durch Angaben des Herstellers zu den Energieeinsätze und weiteren Daten mittels eines strukturierten Erfassungsbogens für das Jahr 2023. Eine Besichtigung des Werkes durch den Bilanzersteller fand am 05.03.2024 statt.

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

Tab. B.1 Übersicht Datengrundlagen

Nr.	Daten	Hintergrunddatensätze/Vergleichsdaten
1	Trockenlehm (in Modul D)	EMAS Herstellerdaten [17]; Verifiziert nach: UBA proBAS Gesteinsmehl 2004 [18] und ÖKOBAUDAT 1.1.04 (2023-I) [19]
2	Sand	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 1.2.01 (2023-I) [19]
3	Diesel	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 9.2.03 (2023-I) [19]; Verifiziert nach: GEMIS 5.0
4	Flüssiggas	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 9.2.02 (2023-I) [19]
5	Transport zum Werk (35-40 t, EURO 5, 27 t Nutzlast, 85 % Auslastung)	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 9.3.01 (2023-I) [19]
6	Abbruch/Abriss	Herstellerdaten; Abrissbagger
7	Abfallaufbereitung	FH Potsdam [12][14]; Herstellerdaten Prallbrecher
8	Rückgewinnungspotenzial	FH Potsdam [12][14]

B.8 Allokation

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

Lehmaushub als *Sekundärlehmaushub* wird als Bodenaushub bereitgestellt und in anderen Prozessen stofflich ohne Veränderung der Produkteigenschaften wiederverwendet. Der Hauptanteil der Belastungen wird entsprechend DIN EN ISO 14044, Abs. 4.3.2 nach *physikalischer Allokation* der Sandgewinnung oder dem Tiefbau als Hauptprodukt zugewiesen.

B.9 Ergebnisse der Ökobilanzierung (LCA)

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 entspricht der Muster-UPD LPM des DVL [4] und wird für die nachfolgende Bilanzierung zugrunde gelegt. Entsprechend der PKR LPM [5] bleiben Transporte zu und von den Baustellen unberücksichtigt. IM A5 und B1 – B 6 zur Nutzungsphase haben keine quantifizierbaren umweltrelevanten Auswirkungen und werden deshalb als „Modul beschrieben (MB)“ bezeichnet. Der Bezug zu den IM A5 und B1 – B5 findet sich in den Abs. 5. u. 6. Zu folgenden erweiterten Umweltindikatoren in Tab B.2 liegen keine Daten vor:

Tab. B.2 Nicht deklarierte 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)

Als Tabellenformat für die Darstellung der Ergebnisse wird die Informationstransfermatrix ITM nach DIN EN 15942 genutzt.

Die detaillierten Bilanzdaten zu den Inputfaktoren, Umweltwirkungsfaktoren und Outputfaktoren des LPM befinden sich im Tabellenanhang Abs. D.

TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ

Im *Teil C* werden ausgewählte Ergebnisse der Ökobilanz in Form von Balkendiagrammen für die Parameter PEI (Abb. C.1) und GWP (Abb. C.2) von der Bereitstellung der Ausgangsstoffe bis zum Werkstor zusammenfassend dargestellt. IM C1 „Abbruch“ (Abb. C.3), IM C3 „Aufbereitung Abbruch“ (Abb. C.4) sowie die Rückgewinnungsszenarien D1 – D3 (Tab. C.5.1 – C.5.3) werden ebenfalls dargestellt und interpretiert.

C.1 Primärenergieeinsatz (PEI)

Die Durchschnittswerte zum PEI in der *Sachbilanz* (Tab. A.1) basieren auf den Herstellerangaben zum jährlichen Energieverbrauch im Werk des Jahres 2023. Das sind die Verbräuche für das beschriebene Herstellungsverfahren und den Betrieb der Fahrzeuge im Werk. Der gesamte Jahresenergieverbrauch wird auf den gesamten Produktionsoutput (MJ/kg) bezogen (*massebezogene Allokation*).

Der zusammenfassend dargestellte Primärenergieeinsatz (Abb. C.1) umfasst die Module A1 (Bereitstellung der Ausgangsstoffe), A2 (Transporte ins Werk) und A3 (Herstellung mit Verpackung).

Der im *Erdfeuchtverfahren* hergestellte LPM dieser Deklaration benötigt einschließlich der Vorketten zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe, der Bereitstellung und Nutzung der Energieträger, aller Transporte ins Werk und der Verpackung $7,33\text{E-}02$ MJ/kg LPM Universal (*Abb. C.1*).

Wie in der Sachbilanz dargestellt, benötigt der gesamte Herstellungsprozess keinen elektrischen Strom. Eine eigene 40 kW PV-Anlage sorgt für die Beleuchtung auf dem Gelände und in Gebäuden.

Von dem im Erdfeuchtverfahren hergestellten LPM Universal werden 10 M.-% in offenen Großgebinden (PP-Big Bags) abgesackt, transportiert und gelagert. Der mit 90 M.-% größte Teil wird ohne Verpackung offen gelagert und von Kunden ohne Verpackung abgeholt.

Die Primärenergieeinträge durch Transporte der Ausgangsstoffe (hier einschl. Sekundärgrubenlehm vom Bodenaushub) und Verpackungen ins Werk sind enthalten. *Abb. C.1* zeigt die Gesamtübersicht der Energieeinträge nach IM A1 bis A3 vom Ausgangsstoff zum Werktor (*Erdfeuchtverfahren*).

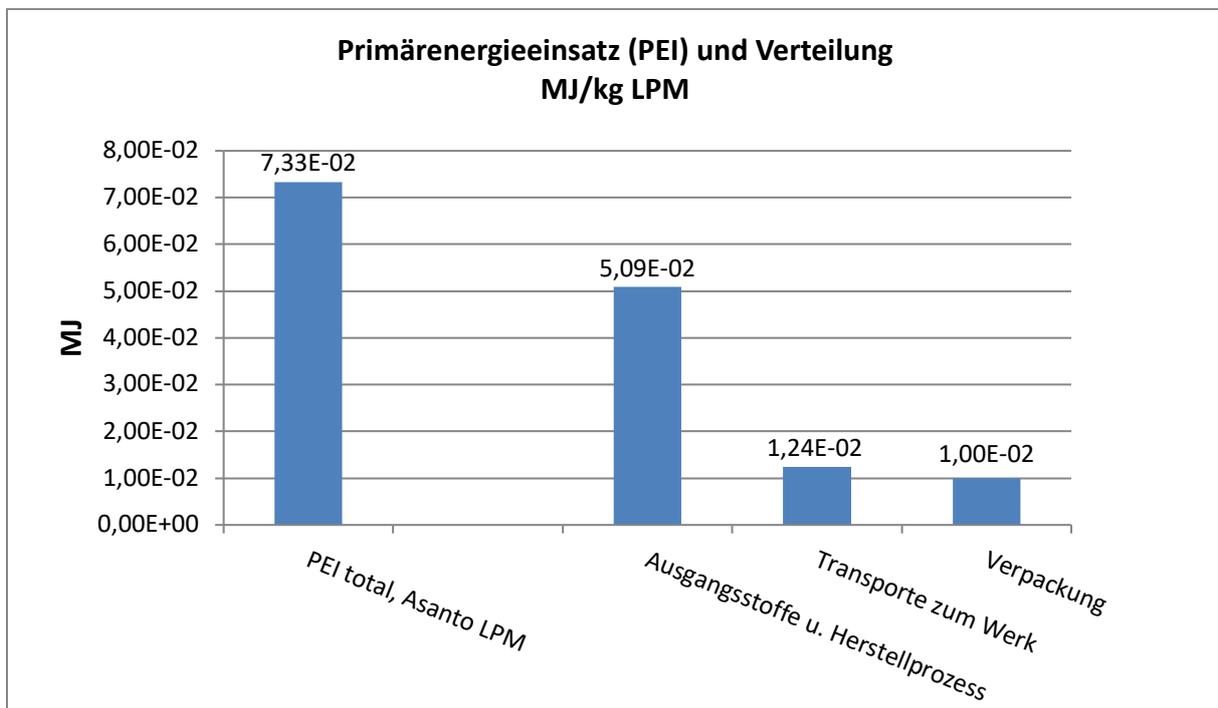


Abb. C.1 Primärenergieeinsatz (PEI) für asanto LPM Universal, Erdfeuchtverfahren

Der Herstellungsprozess auf derselben Anlage benötigt einschließlich Diesel für Baufahrzeuge im Werk einen Energieinput von $5,09\text{E-}02$ MJ/kg LPM Universal. Das entspricht 70 % des gesamten PEI.

Die Energieeinträge zur Gewinnung von Sekundärlehmaushub fallen beim Erdaushub außerhalb der Systemgrenze an. Die Sandgewinnung auf dem Werksgelände ist Teil des Herstellungsprozesses mit Energieeinträgen aus Diesel und Flüssiggas.

Die Energieeinträge durch LKW-Transporte, für den Sekundärlehmaushub, der außerhalb des Systems als Abfall entsteht, und Verpackungen tragen mit ca. 17 % bzw. $1,24\text{E-}02$ MJ/kg LPM Universal zum Energieverbrauch bei.

Großgebinde (PP-Big Bags) mit 1,2 t Fassungsvermögen für 10 M.-% des Gesamtoutputs des LPM Universal bringen einen indirekten Energieeintrag von $1,00\text{E-}02$ MJ/kg LPM Universal (ca. 14 %) in die Energiebilanz ein. Für solche Großgebinde aus PP fehlen originäre Ökobilanzen. Für ein worst case-Szenario wurde auf rudimentäre Umweltdaten des Lieferanten und GaBi-Daten der ÖKOBAU-DAT für vergleichbar hergestellte PP-Unterspanngewebe zurückgegriffen [19].

C.2 Treibhausgaspotenzial (GWP)

Die Treibhausgaspotenziale als $\text{CO}_2_{\text{equiv.}}$ werden als GWP 100 in ihrer Klimawirkung über 100 Jahre betrachtet.

Das gesamte Treibhausgaspotenzial (GWP 100) summiert sich einschließlich aller Transporte ins Werk und des Verpackungsanteils auf $1,72\text{E-}03 \text{ kg CO}_2_{\text{equiv.}}/\text{kg LPM Universal}$ (Abb. C 2).

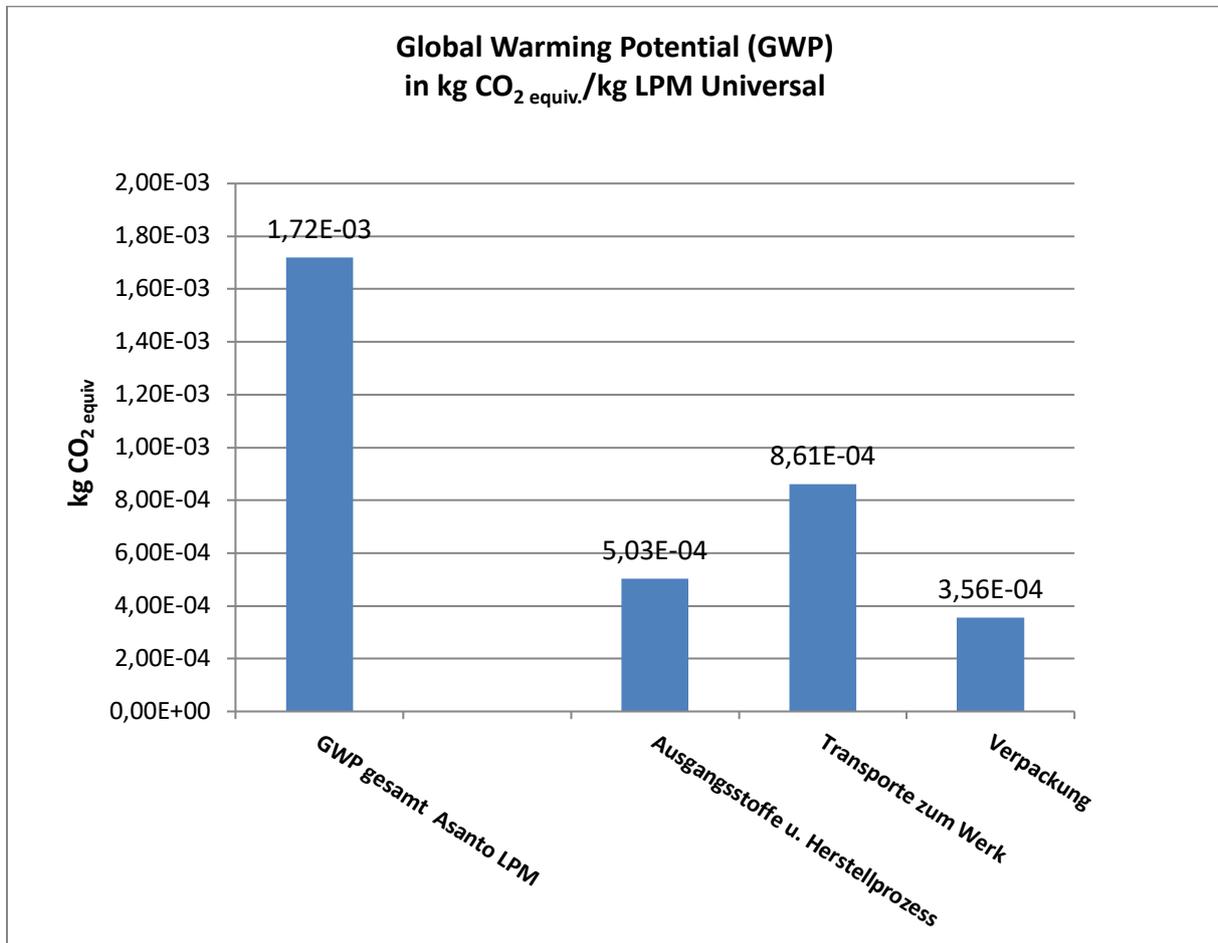


Abb. C.2 Treibhausgaspotenziale (GWP 100) LPM Universal nach Erdfeuchtverfahren

Sekundärlehmaushub als Bodenabfall aus einer nahegelegenen Kiesgewinnung ist mit 80 M.-% der Hauptbestandteil des LPM Universal. Nach Aufhaltung wird dieser mechanisch mit Hilfe eines Radladers mit 20 M.-% Sand gemischt (Bild 4.1). Die Treibhausgaspotenziale des Sekundärlehmaushubs fallen außerhalb des Systems beim Erdaushub an. Die Treibhausgaspotenziale zur Bereitstellung des gesiebten Sandes aus der werkseigenen Grube sind Teil des Herstellungsprozesses.

Der beschriebene Herstellungsprozess einschließlich werkseigener Sandgewinnung verbraucht Diesel und Flüssiggas. Die durch diese Energieträger verursachten Treibhausgaspotenziale belaufen sich auf $5,03\text{E-}04 \text{ kg CO}_2_{\text{equiv.}}/\text{kg LPM Universal}$. Das sind 29 % des gesamten GWP.

Transporte des Sekundärlehmaushubs und der Verpackungen zum Werk verursachen $8,61\text{E-}04 \text{ kg CO}_2_{\text{equiv.}}/\text{kg LPM Universal}$ oder ca. 50 % des gesamten GWP.

Die restlichen Treibhausgaspotenziale ergeben sich aus der Bereitstellung von PP-Großgebilde für 10M.-% der Jahresproduktion. Diese tragen nach einem worst case Szenario mit $3,74\text{E-}04 \text{ kg CO}_2_{\text{equiv.}}/\text{kg LPM Universal}$ zum Treibhausgaspotenzial bei.

C.3 Sonstige Wirkungsfaktoren

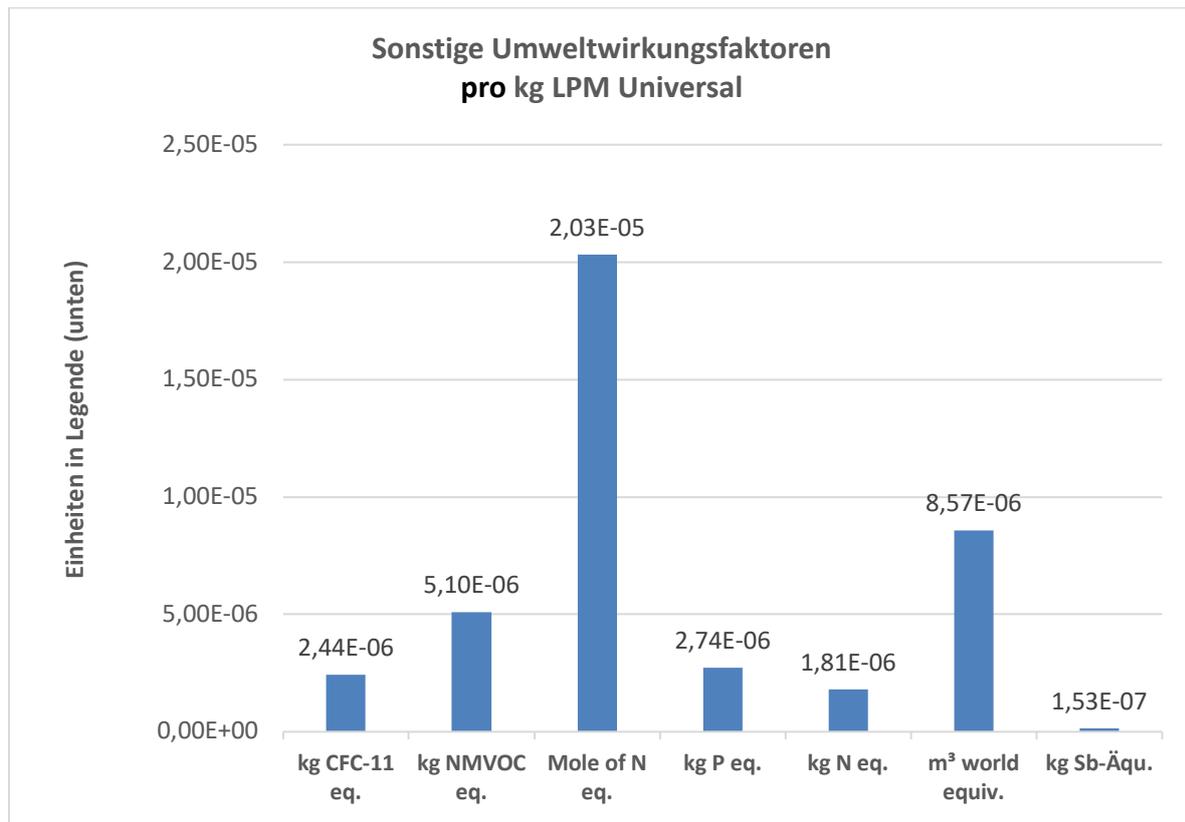


Abb. C.3 Auswahl sonstige Umweltwirkungsfaktoren für LPM Universal, Erdfeuchtverfahren

kg CFC-11 eq.	Abbaupotenzial der stratosphär. Ozonschicht (ODP)
kg NMVOC eq.	Bildungspotenzial für troposphär. Ozon (POCP)
Mole of N eq.	Eutrophierungspotenzial - Land (EP-terrestrial)
kg P eq.	Eutrophierungspotenzial - Süßwasser (EP-freshwater)
kg N eq.	Eutrophierungspotenzial - Salzwasser (EP-marine)
m³ world eq.	Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer) (WDP)
kg Sb-eq.	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)

Die in Abb. C.3 dargestellten sonstigen Wirkungsfaktoren bewegen sich in Größenordnungen zwischen E-05 bis E -06.

Die Eutrophierungspotenziale EP (terrestrisch) ragen mit 2,03E-05 Mole of N equiv./kg LPM heraus, wenn auch auf niedrigem Niveau. Diese resultieren aus den indirekten Emissionen von Stickstoffen in Form von Ammoniak und Stickoxiden durch LKW-Transporte ins Werk und Dieserverbrauch im Herstellungsprozess.

Das hypothetische Wasserentzugspotenzial WDP in Höhe von insgesamt 8,57E-06 m³ world equiv. / kg LPM entfällt zu 98 % auf indirekte Umweltwirkungen fossiler Energieträger für den Herstellungsprozess und auf Transporte ins Werk. Das WDP kann vom deklarierten Frischwasserverbrauch abweichen.

Das Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen ADPE signalisiert mit 1,01E-07 kg Sb-equiv. / kg LPM Universal eine ressourcensparende Gesamtbilanz der IM A1 – A3. Der Abbau nicht fossiler Ressourcen entsteht zu ca. 20 % als indirekter Nebeneffekt von der Quelle bis zur Bereitstellung von Diesel für die Herstellung und für LKW-Transporte ins Werk. Von den mineralischen

Ausgangsstoffen verursacht der werksinterne Abbau von Sand 80 % der zurechenbaren Abbaupotenziale (ADPE). Die Nutzung des Bodenabfalls aus Erdaushub als Sekundärlehmaushub vermeidet nicht fossilen Ressourcenabbau.

C.4 Abbruch und Aufbereitung

Auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen an der FH Potsdam [12][14] wurde der Begriff „Abbruchmaterial“ je nach Rückbauverfahren definiert als „abgerissener“ LPM bzw. LSM-Abbruch mit Lehmputzmörtelresten (*Abs. B.5, IM C3 u. D*). Der manuelle „Abriss“ auf Putzgeweben haftender LPM lässt sich in einer Ökobilanz nicht sinnvoll quantifizieren. Deshalb wurde der mechanische Aufwand für einen Gebäudeabbruch zur Rückgewinnung von LPM in *IM C1* abgebildet und auf „Abbruchmaterial“ bezogen.

Für die Quantifizierung des *IM C1* wurden die Leistungsdaten eines branchentypischen Abrissbaggers angenommen und auf Mauerwerk (aus Lehm oder anderen Mauerwerksprodukten) mit Anhaftungen von LPM bezogen: 7,65 kg Diesel/h bei einer geschätzten Abrissleistung von 50 m³ Mauerwerk/h. Dieser Dieselverbrauch und diese Abbruchleistung wurden in der Umweltbilanz des *IM C1* „Abbruch LSM“ unterstellt. *Abb. C.4* veranschaulicht die Kerngrößen PEI sowie die Umweltwirkungen GWP in *IM C1*.

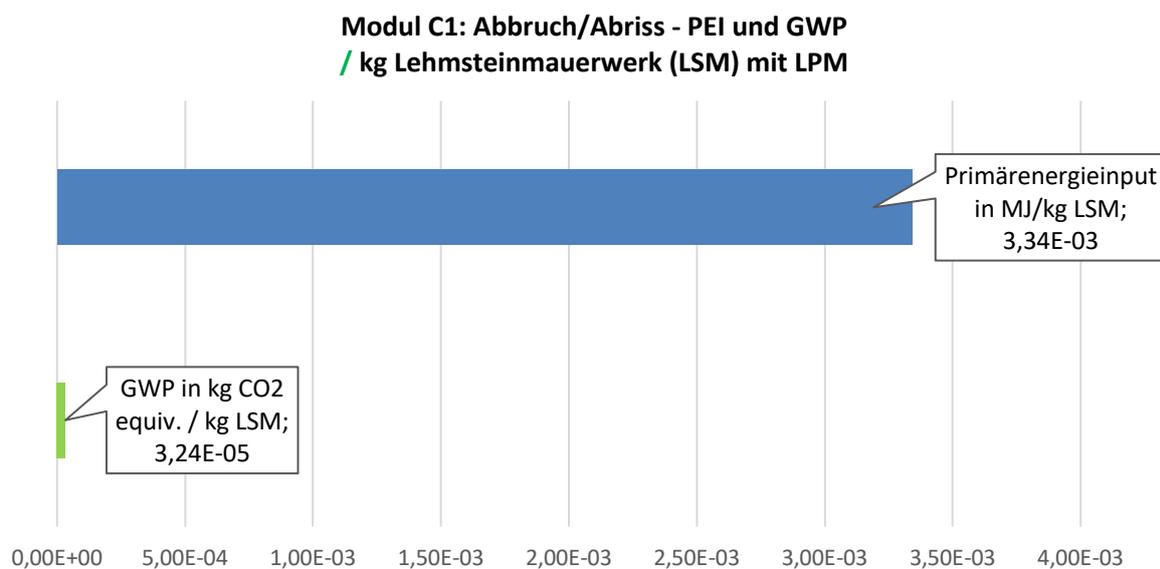


Abb. C.4 PEI u. GWP für Gebäudeabbriss / kg Abbruchmaterial, *IM C1*

Die Aufbereitung des rückgewonnenen Abbruchmaterials wird nach zwei Verfahren analysiert:

- Wässern / „Einsumpfen“ des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials (*Nassverfahren*),
- mechanische, maschinelle Zerkleinerung des Abbruchmaterials (*Trockenverfahren*) zu Lehm-Rezyklat. Für die umweltbilanzielle Quantifizierung der Verfahren eignen sich die Leistungsdaten für das Baustoffrecycling typischer Brecheranlagen.

Ausgewählt wurde ein für das Baustoffrecycling typischer Prallbrecher mit geschätzten 0,23 l/t Dieselverbrauch einschl. Stromgenerator. *Abb. C.5* zeigt die Umweltkennzahlen PEI und GWP der beschriebenen Aufbereitungstechnik in *IM C3*. Der betrachtete Prallbrecher mit integriertem Stromgenerator erfordert ca. 1,92E-01 MJ/kg Abbruchmaterial aus LPM. Die Treibhausgasemissionen ergeben sich daraus mit 1,85E-05 kg CO₂equiv. / kg Abbruchmaterial aus LPM.

Die Aufbereitung des Abbruchmaterials erfolgte für beide Verfahren unter Laborbedingungen in der FH Potsdam [12][14]. Damit wurde die prinzipielle Realisierbarkeit der Aufbereitung nach beiden Verfahren erstmals nachgewiesen.

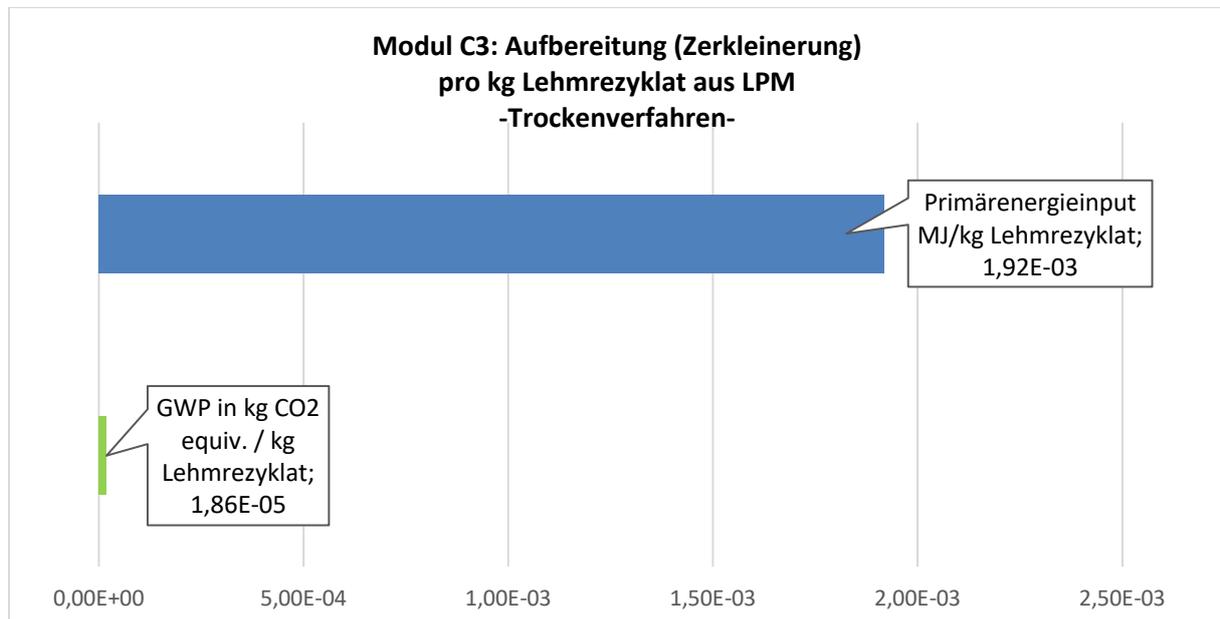


Abb. C.5 PEI u. GWP für trockene Aufbereitung von LPM-Abbruchmaterial, IM C3

C.5 Rückgewinnungsszenarien

Der rückgewonnene LPM ermöglicht drei Szenarien der Wiederverwertung in IM D1 – D3:

1. Wiederverwertung des rückgewonnenen Abbruchmaterials für *neue ungetrocknete LPM* durch Einsumpfen und Mauken. Die Substitution von primären Ausgangsstoffen bildet das Rückgewinnungspotenzial dieses Szenarios (IM D1).
2. Wiederverwertung des rückgewonnenen Abbruchmaterials für *neue trockene LPM*. In diesem Szenario ersetzen die trocken rückgewonnenen Sekundärstoffe nicht nur die primären Ausgangsstoffe (wie in IM D1), sondern insbesondere die Energie für die sonst erforderliche Nachtrocknung erdfeuchter LPM mit Flüssiggas (IM D2).
3. Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials als Sekundärstoff für *andere Lehmbauprodukte*, die im Trockendosierverfahren hergestellt werden. Das können auch neue LPM sein. Bei diesem Verwertungsszenario ersetzen die Bestandteile des Abbruchmaterials (überwiegend Trockenlehm und Trockensand) ansonsten technisch getrockneten Baulehm und Sand (IM D3).

Für die Berechnung der Szenarien D1 – D3 werden Durchschnittswerte für die Massenanteile von Baulehm (80 M.-%) und Gesteinskörnungen (20 M.-%) in rückgewonnenen LPM angenommen. Die Szenarien unterstellen einen Masseverlust bei Abbruch von 5 M.-%.

C.5.1 Szenario D1 (Erdfeuchtverfahren)

Für diesen Verwertungsweg kann die Aufbereitung abgerissener LPM im Nassverfahren durch „Einsumpfen“ im Werk erfolgen. Eine technische Trocknung oder eine mechanische Zerkleinerung des Abbruchmaterials ist für die Wiederverwertung im Erdfeuchtverfahren nicht erforderlich.

Bei der Wiederverwertung von Abbruchmaterial für neue LPM nach dem Erdfeuchtverfahren (Tab. C.5.1) substituiert der im rückgewonnenen LPM enthaltene Baulehm und Sand die originären Ausgangsstoffe für neuen LPM. Nach Analyse des Rezyklats müssen die Masseverhältnisse ggf. im neuen Herstellungsprozess der gewünschten Rezeptur angepasst werden.

Tab. C.5.1 IM D1 Wiederverwertung von Abbruchmaterial für LPM im Erdfeuchtverfahren

asanto Lehmputz Universal nach DIN 18947 – Modul D1 Wiederverwertung für LPM im Nassverfahren						
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.
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	3,32E-03	3,34E-03	3,24E-05
	Abfallaufbereitung, Nassverfahren	C3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung, LPM Erdfeuchtverfahren	D1	-3,05E-03	-1,32E-01	-1,35E-01	-2,57E-03
Netto-Rückgewinnungspotenzial	Wiederverwertung, LPM Erdfeuchtverfahren	D1 + C1 + C3	-3,02E-03	-1,29E-01	-1,32E-01	-2,53E-03

PERT Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen

PENRT Gesamtnutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen

PEI Primärenergieinput

GWP Globales Erwärmungspotenzial

Die Substitution primärer Ausgangsstoffe durch rückgewonnenes Abbruchmaterial erspart bei Wiederverwertung für „neue“ LPM nach Erdfeuchtverfahren 1,35E-01 MJ/kg LPM Primärenergie und vermeidet 2,57E-03 kg CO₂equiv. / kg LPM. In diesem Szenario wurden die Umweltparameter für den primären Abbau von Grubenlehm und die Bereitstellung ungetrockneter Gesteinskörnung unterstellt. Daraus entstehen Abweichungen im Vergleich zum bilanzierten werkseitigen LPM Universal mit Sekundärlehmaushub.

Der Nettoeffekt ergibt sich nach Abzug des Energieinput und der Treibhausgasemissionen durch Rückbau bzw. Abriss des Abbruchmaterials. Die Aufbereitung im Nassverfahren wurde nicht quantifiziert. Transporte des aufbereiteten Abbruchmaterials zum Werk gehen zu Lasten der aus dem eingesumpften Lehmabbruch hergestellten neuen LPM.

C.5.2 Szenario D2 (Nachtrocknungsverfahren)

Im Szenario D2 zur Wiederverwertung von LPM aus Abriss oder Mauerwerksabbruch für neue, ansonsten nachgetrocknete LPM ergibt sich ein anderer Substitutionseffekt (Tab. C.5.2): Das trockene LPM-Rezyklat wird ohne Einsumpfen trocken verarbeitet und ersetzt somit nicht nur Primärstoffe wie in Szenario D1, sondern auch das Nachtrocknungsverfahren für neue LPM und die damit verbundenen Energieeinträge durch Flüssiggas.

Tab. C.5.2 IM D2 Wiederverwertung von LPM-Abbruchmaterial im Nachtrocknungsverfahren

asanto Lehmputz Universal - Modul D2 Rückgewinnungspotenziale für LPM 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
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	1,25E-05	1,91E-03	1,92E-03	1,86E-05
Rückgewinnungs-potenziale	LPM Wiederverwertung (Nachtrocknungs-verfahren)	D2	-8,27E-03	-8,26E-01	-8,34E-01	-1,31E-02
Netto-Rückgewinnungs-Potenziale	LPM Wiederverwertung (Nachtrocknungs-verfahren)	D1 +C1+C3	-8,24E-03	-8,21E-01	-8,29E-01	-1,30E-02

PERT Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen (Primärenergie und Primärenergieressourcen)

PENRT Gesamtnutzung nicht erneuerbare Primärenergieressourcen (Primärenergie u. Primärenergieressourcen)

PEI Primärenergieinput

GWP Globales Erwärmungspotenzial

In Szenario D2 entfällt die zusätzliche Trocknung mit Flüssiggas durch Verwendung des ohnehin trockenen LPM-Rezyklats aus Abbruchmaterial. Die Substitution von Ausgangsstoffen und der Verzicht auf deren Nachtrocknung ergibt ein höheres Rückgewinnungspotenzial als bei der Wiederverwertung für neue LPM nach dem Erdfeuchtverfahren in *Abs. C 5.1*.

Der Gesamtenergieeinsatz PEI (Tab. C.5.2) vermindert sich durch die trockenen Sekundärstoffe und den möglichen Verzicht auf Nachtrocknung um 8,34E-01 MJ / kg LPM Rezyklat. Die vermiedenen Treibhausgasemissionen betragen 1,31E-02 kg CO₂equiv. / kg LPM Rezyklat. Ursächlich dafür ist der mögliche Verzicht auf eine Nachtrocknung ansonsten erdfeuchter Vorprodukte mit Flüssiggas.

Wird der Aufwand für den Abbruch (Abb. C.4) und die Aufbereitung durch Zerkleinerungsmühlen (Abb. C.5) gegengerechnet, verbleiben Nettoeffekte der Substitution in Szenario D2 von > 99 % sowohl für die Energieeinsparung als auch für Treibhausgaspotenziale, wenn die rückgewonnenen LPM Rezyklate neue, mit fossilen Energieträgern nachgetrocknete LPM ersetzen [4].

C.5.3 Szenario D3 (Trockendosierverfahren)

In Szenario D3 werden die Energieeinsparung und die Vermeidung von Treibhausgaspotenzial bei einer Wiederverwertung von rückgewonnenem Material aus dem Abriss von LPM als Alternative zur Trocknung erdfeuchter Ausgangsstoffe für neue LPM oder andere Lehmprodukte berechnet, die im Trockendosierverfahren hergestellt werden (Tab. C.4.3). Die Trocknung und Aufbereitung von erdfeuchtem Baulehm zu Trockenlehm erfordert im vorgelagerten Herstellungsprozess einen Energieinput in Höhe von 1,13E+00 MJ/kg Trockenlehm [17]. Das der Berechnung zugrunde liegende Treibhausgaspotenzial beträgt 6,63E-02 kg CO₂equiv. / kg Trockenlehm. Hinzu kommt der „ökologische Rucksack“ für die Trocknung von Sand mit 5,58E-01 MJ/kg (PEI) und 2,62E-03 kg CO₂equiv. / kg (GWP).

Tab. C.4.3 IM D3 Wiederverwertung von LPM-Rezyklat im Trockendosierverfahren

asanto Lehmputz Universal - Modul D3 Rückgewinnungspotenziale für LPM 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 equiv.
Entsorgungs-stadium	Rückbau, Abriss	C1	2,18E-05	3,32E-03	3,34E-03	3,24E-05
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	1,25E-05	1,91E-03	1,92E-03	1,86E-05
Rückgewinnungs-Potenziale	Wiederverwertung LPM (Trockendosierverfahren)	D3	-2,01E-02	-9,46E-01	-9,66E-01	-5,66E-02
Netto-Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung LPM (Trockendosierverfahren)	D1 +C1+C3	-2,00E-02	-9,41E-01	-9,61E-01	-5,66E-02

PERT Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen (Primärenergie und Primärenergieressourcen)

PENRT Gesamtnutzung nicht erneuerbare Primärenergieressourcen (Primärenergie u. Primärenergieressourcen)

PEI Primärenergieinput

GWP Globales Erwärmungspotenzial

Bei der unterstellten Zusammensetzung rückgewonnener Ausgangsstoffe aus alten LPM Universal reduziert sich der PEI um 9,66E-01 MJ/kg LPM Rezyklat. Die Treibhausgasemissionen sinken um 5,66E-02 kg CO₂equiv. / kg LPM Rezyklat (Tab. C.4.3). Wird der Aufwand für den Abbruch von LSM mit LPM-Anhaftungen (Abb. C.4) und die Aufbereitung durch Zerkleinerungsmühlen (Abb. C.5) gegengerechnet, reduziert sich der Nettoeffekt der Substitution in Szenario D3 für den Energieinput und für das Treibhausgaspotenzial um < 0,5 %.

Für das GWP lässt sich ein Vergleich mit der Muster-UPD LPM [4] wie in Szenario D2 nicht heranziehen, da der deklarierte LPM Universal mit 80 M.-% einen höheren Anteil an Baulehm enthält als in der Muster-UPD für Trockendosierverfahren (5,26E-02 CO₂ equiv./kg Muster-LPM). Dementsprechend würden die vermiedenen Treibhausgaspotenziale mit 5,66E-02 CO₂ equiv./kg LPM Universal rein rechnerisch 107 % des GWP der Muster-UPD für LPM im Trockendosierverfahren ergeben. Der mit 80 M.-% höhere Anteil Baulehm im deklarierten LPM Universal verursacht diesen Effekt. Je höher der Anteil rückgewonnenen Baulehms, desto höher das Vermeidungspotenzial für Treibhausgase.

D TABELLENANHANG

Der Tabellenanhang umfasst die Gesamtheit der Input-, Umweltwirkungs- und Outputfaktoren der Module A1 – A 3 für den asanto LPM Universal nach Erdfeuchtverfahren. Zusätzlich sind die Optionen nach Ende des Lebenszyklus in den Modulen C1, C3 und D enthalten. Nicht enthaltene Werte wurden in Abs. B.4 ausführlich begründet.

D.1 Inputfaktoren

Tab. D.1 asanto Lehmputz Universal, Erdfeuchtverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
asanto Lehmputz Universal nach DIN 18947 - Erdfeuchtverfahren												
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H _u	kg	MJ H _u	MJ H _u						
Produkt-stadium	Ausgangsstoffe	A1	6,59E-04	0,00E+00	6,59E-04	5,64E-03	3,70E-03	9,34E-03	8,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,13E-06
	Transport	A2	7,75E-04	0,00E+00	7,75E-04	1,16E-02	0,00E+00	1,16E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,90E-07
	Herstellung	A3	3,34E-04	0,00E+00	3,34E-04	5,06E-02	0,00E+00	5,06E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,40E-07
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,77E-03	0,00E+00	1,77E-03	6,78E-02	3,70E-03	7,15E-02	8,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,06E-06
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--						
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB						
Nutzungs-stadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB						
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB						
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB						
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB						
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB						
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--						
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--						
Entsorgungs-stadium	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--						
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	1,25E-05	0,00E+00	1,25E-05	1,91E-03	0,00E+00	1,91E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,97E-09
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-3,05E-03	0,00E+00	-3,05E-03	-1,32E-01	0,00E+00	-1,32E-01	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,89E-05
	Wiederverwertung LPM, Nachtrocknungsverfahren	D2	-7,07E-03	0,00E+00	-7,07E-03	-6,66E-01	0,00E+00	-6,66E-01	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,20E-05
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-2,01E-02	0,00E+00	-2,01E-02	-9,46E-01	0,00E+00	-9,46E-01	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,61E-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 Wirkungsfaktoren

Tab. D.2 asanto Lehmputz Universal, Erdfeuchtverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
asanto Lehmputz Universal nach DIN 18947 - 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 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.	m ³ world eq.	kg Sb eq.	MJ H ₂ eq.
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	3,56E-04	-3,93E-06	2,28E-07	3,60E-04	1,00E-12	8,23E-07	7,87E-07	2,46E-06	2,17E-09	2,02E-07	1,61E-07	5,27E-08	4,77E-04
	Transport	A2	8,61E-04	-2,83E-06	5,09E-06	8,59E-04	1,07E-13	3,56E-07	2,89E-06	1,51E-05	2,00E-06	1,35E-06	4,47E-06	6,13E-08	1,16E-02
	Herstellung	A3	5,03E-04	5,87E-06	7,96E-08	4,97E-04	6,17E-13	1,26E-06	1,43E-06	2,75E-06	7,35E-07	2,62E-07	3,95E-06	3,88E-08	5,05E-02
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,72E-03	-8,90E-07	5,40E-06	1,72E-03	1,72E-12	2,44E-06	5,10E-06	2,03E-05	2,74E-06	1,81E-06	8,57E-06	1,53E-07	6,26E-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
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--
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	1,86E-05	2,21E-07	3,00E-09	1,84E-05	2,31E-14	4,70E-08	5,31E-08	1,07E-07	2,87E-08	9,80E-09	1,46E-07	1,52E-09	1,91E-03
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-2,57E-03	5,34E-07	-1,91E-06	-2,56E-03	-1,15E-06	-2,93E-06	-5,92E-03	-1,26E-05	-1,87E-06	-8,34E-07	-1,30E-05	-5,03E-08	-3,89E-02
	Wiederverwertung LPM, Nachtrocknung	D2	-1,31E-02	-8,11E-05	-3,02E-06	-1,30E-02	-1,15E-06	-2,36E-05	-5,95E-03	-1,46E-05	-1,90E-06	-5,37E-06	-9,14E-05	-5,09E-08	-7,33E-01
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-5,66E-02	-1,24E-04	-4,27E-06	-5,65E-02	-1,07E-11	-4,54E-05	-3,59E-05	-1,80E-04	-7,33E-06	-1,62E-05	-2,71E-04	-6,69E-07	-9,47E-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)

ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen

ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

MNR Modul nicht relevant

MB Modul beschrieben

D.3 Outputfaktoren

Tab. D.3: asanto Lehmputz Universal, Erdfeuchtverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
asanto Lehmputz Universal nach DIN 18947 - Erdfeuchtverfahren										
Funktionale Einheit kg		Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET
		IM/Einheit	kg	MJ						
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	8,42E-10	5,03E-06	7,00E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	1,95E-11	1,73E-06	1,53E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	9,19E-11	5,51E-06	4,66E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	9,53E-10	1,23E-05	1,32E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Baustadium	Transport	A4	MNR--							
	Montageprozess	A5	MB							
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB							
	Instandhaltung	B2	MB							
	Reparatur	B3	MB							
	Ersatz	B4	MB							
	Erneuerung	B5	MB							
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--							
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--							
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	5,54E-12	3,62E-07	3,05E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	C2	MNR--							
	Abfallaufbereitung, trocken	C3	3,18E-12	2,08E-07	1,75E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-2,03E-05	-4,80E-03	-4,99E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Nachrocknungsverfahren	D2	-2,03E-05	-4,80E-03	-5,01E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-3,28E-08	-5,08E-03	-1,01E-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

ZITIERTER STANDARDS / LITERATURQUELLEN

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 und Bauteile und Sonderbauteile*

DIN 18300:2012-09: *VOB/C (ATV) – Erdarbeiten*

DIN 18550-2:2018-01: *Planung, Zubereitung u. Ausführung von Innen- u. Außenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2 für Innenputze in Verbindung mit DIN EN 13914-2:2016-09 für Lehmputzmörtel*

- DIN 18942-1:2024-03: *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe*
- DIN 18942-100:2024-03: *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*
- DIN 18947:2024-03: *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*
- DIN EN 12620:2008-07: *Gesteinskörnungen für Beton*
- DIN EN 12878:2014-07: *Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren*
- DIN EN 13139 (E):2015-07: *Gesteinskörnungen für Mörtel (zurückgezogen)*
- DIN EN 13501-1:2019-05: *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten*
- DIN EN 13501-2:2023-12: *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen mit Ausnahme von Lüftungsanlagen*
- DIN EN 13914-2:2016-09: *Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 2: Innenputz*
- 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 16516:2020-10: *Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft*
- 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*

LITERATURQUELLEN

- 1 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaustoffe – Allgemeine Regeln für die Erstellung von Typ III Umweltproduktdeklarationen (Teil 2)*. Weimar: 2022-06
- 2 Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): *Lehmbau 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), zuletzt geändert 30.06.2020 (BGBl. I, S.1533)
- 4 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaustoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (UPD LPM) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2023-01
- 5 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaustoffe – Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (PKR LPM) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2022_04
- 6 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Anforderungen an Lehmputz als Bauteil*. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 01. Weimar:2014-06, 2. Aufl.
- 7 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaustoffe – Richtlinie*. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 05. Weimar:2011-06
- 8 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)

- 9 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
- 10 Liblik, J.; Küppers, J.; et.al.: *Fire safety of historic timber buildings with traditional plasters in Europe*. In: World Conference on Timber Engineering, Seoul 2018
- 11 Natureplus e. V. (Hrsg.). *Vergaberichtlinie 5003 zur Vergabe des Qualitätszeichens. Naturschutz beim Abbau mineralischer Rohstoffe*. Neckargemünd 2015-04
- 12 FH Potsdam: Symposium Baustoffrecycling & Lehmabstoffe – Perspektiven für eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, Potsdam August 2022
- 13 Natureplus e. V. (Hrsg.): *Vergaberichtlinie 0803 zur Vergabe des Qualitätszeichens. Lehmputzmörtel*. Ausgabe April 2015, Neckargemünd: 2015
- 14 Sommerfeld, M.: Umweltproduktdeklaration von Lehmabstoffen – Ermittlung des Rückgewinnungspotenzials. Unveröff. Diplomarbeit, FB Bauingenieurwesen, FH Potsdam 2019
- 15 Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002) (BGBl. I, Nr. 102/2002, Fassung v. 20.03.2017)
- 16 Bau-EPD (Hrsg.): *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von UPDs*. Bau-EPD GmbH, Wien 2014
- 17 EMAS D-146-00004: 2. *Aktualisierte Umwelterklärung der Stephan Schmidt KG, 2008*
- 18 Umweltbundesamt: ProBas – Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme, 2015_02
- 19 Bundesinstitut f. Bau-, Stadt- u. Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): *ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung*. SR Zukunft Bauen | Forschung für die Praxis | Bonn 2019