



# Umweltproduktdeklaration

nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804+A2

Egginger Naturbaustoffe

## Lehmputzmörtel nach DIN 18947

Deklarationsinhaber	Egginger Naturbaustoffe GmbH, Steinhiebl 2, 94094 Malching
Herausgeber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Programmbetreiber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Deklarationsnummer	UPD_LPM_EGG2024002_PKRÜ5-DE
Ausstellungsdatum	27.04.2024
Gültig bis	26.04.2029



# Umwelt-Produktdeklaration – Allgemeine Angaben

---

## Programmbetreiber

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

---

## Deklarationsnummer

UPD\_LPM\_EGG 2024002\_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

27.04.2024

---

## Gültigkeitsdauer

26.04.2029

---

## 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



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



Dr.-Ing. Horst Schroeder  
Verifizierer

---

## Deklarationsinhaber

Egginger Naturbaustoffe GmbH  
Steinhiebl 2  
94094 Malching  
www.egginger-naturbaustoffe.de  
www.lehm.com

---

## Deklariertes Bauprodukt / Deklarierte Einheit

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

- Levita Lehmunterputz UP 2
- Levita Lehmoberputz OP 1
- Levita Lehmuniversalputz Uni 1

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 Ering. Bezugsjahr der Herstellerangaben ist das Jahr 2023. Eine Haftung des Dachverbandes Lehm e.V. in Bezug auf dieser UPD zugrunde liegende Herstellerinformationen ist ausgeschlossen.



Prof. Dr. Klaus Pistol  
Prüfgremium

# 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 .....	4
2.6	Lieferzustand .....	4
2.7	Bautechnische Eigenschaften.....	4
2.8	Brandschutz.....	4
2.9	Sonstige Eigenschaften.....	4
3	AUSGANGSSTOFFE .....	5
3.1	Auswahl / Eignung.....	5
3.2	Stoffeläuterungen .....	5
3.3	Bereitstellung des Baulehms .....	6
3.4	Verfügbarkeit.....	6
4	PRODUKTHERSTELLUNG.....	6
4.1	Solartrocknungsverfahren.....	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.....	8
4.3.4	Luft.....	8
5	PRODUKTVERARBEITUNG .....	8
5.1	Verarbeitungsempfehlungen .....	8
5.2	Arbeitsschutz / Umweltschutz .....	8
5.3	Restmaterial .....	9
5.4	Verpackung .....	9
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.....		12
A.1	Funktionale Einheit.....	12
A.2	Betrachtungszeitraum .....	12
A.3	Ergebnisse der Sachbilanz .....	12
TEIL B ÖKOBILANZ.....		14
B.1	Ziele der Analyse .....	14
B.2	Zielgruppen der Analyse.....	14
B.3	Referenznutzungsdauer .....	14
B.4	Systembeschreibung .....	14
B.4	Abschneidekriterium .....	16
B.5	Annahmen und Abschätzungen .....	16
B.6	Datenqualität.....	17
B.7	Allokation.....	18
B.8	Ergebnisse der Ökobilanzierung (LCA) .....	18
TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ.....		18
C.1	Primärenergieeinsatz (PEI) .....	19
C.2	Treibhausgaspotenzial (GWP) .....	20
C.3	Andere Umwelt-Wirkungsfaktoren.....	22
C.4	Abbruch und Aufbereitung.....	23
C.5	Rückgewinnungsszenarien .....	24
C.5.1	Szenario D1 (Solartrocknungsverfahren) .....	24
C.5.2	Szenario D2 (Trockenverfahren).....	25
C.5.3	Szenario D3 (Trockendosierverfahren).....	26
TEIL D TABELLENANHANG .....		27
D.1	Inputfaktoren .....	27
D.2	Umweltwirkungsfaktoren.....	30
D.3	Outputfaktoren .....	34
ZITIERTE STANDARDS / LITERATURQUELLEN .....		37

# 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	Feb 2024
Ü02	Entwurf II nach Bilanzberechnung	Mrz 2024
Ü03	Bilanzierte und mit Hersteller abgestimmte Version	Apr 2024
Ü04	Verifizierte Umweltbilanz	Mai 2024

Version Ü04

Norden / Ering, Mai 2024

Kontakt Deklarationsinhaber:

Egginger Naturbaustoffe GmbH (Levita Lehm)

Steinhiebl 2

94094 Malching

[www.egginger-naturbaustoffe.de](http://www.egginger-naturbaustoffe.de)

Programmbetreiber:

Dachverband Lehm e. V.; Postfach 1172; 99409 Weimar, Deutschland

[dvl@dachverband-lehm.de](mailto:dvl@dachverband-lehm.de); [www.dachverband-lehm.de/wissen/PKR-UPD](http://www.dachverband-lehm.de/wissen/PKR-UPD)

Bilanziert von:

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 steigenden 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 (LSM) rückgewonnenes, in Brecheranlagen aufbereitetes Gemisch aus LS-Bruch mit anhaftenden Lehmmörtelresten

*Trockenlehm* ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm.

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

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

IM Informationsmodul

LCA Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)

LPM Lehmputzmörtel

LSM Lehmsteinmauerwerk

LR Lehmbau 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. (DVL) für Lehmputzmörtel nach DIN 18947 (UPD\_LPM\_DVL2023003\_PKRÜ5-DE) [4] und den Produktkategorieregeln (PKR) für LPM des DVL [5].

Die vorliegende UPD bezieht sich auf erhobene Daten beim Deklarationsinhaber im Werk Ering. Sie umfasst die in *Tab. 2.1* deklarierten Produkte und Verfahrensart.

Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung

Nr.	Hersteller	Werksanschrift	Verfahrensart	Produktbezeichnung
01	Egginger Naturbaustoffe GmbH	Am Steinhügel 5 94140 Ering am Inn	Solartrocknung	Levita Lehmunterputz UP2
02	Egginger Naturbaustoffe GmbH	Am Steinhügel 5 94140 Ering am Inn	Solartrocknung	Levita Lehmoberputz OP1
03	Egginger Naturbaustoffe GmbH	Am Steinhügel 5 94140 Ering am Inn	Solartrocknung	Levita Universallehmputz UNI 1.8

## 2.2 Produktbeschreibung

Die Ausgangsmischung für die deklarierten LPM besteht in unterschiedlichen Dosierungen aus Baulehm, mineralischen, pflanzlichen und organischen Zusatzstoffen nach DIN 18947. Die Erhärtung des LPM erfolgt durch Verdunstung des Anmachwassers. Erhärteter LPM nach DIN 18947 kann durch Wasserzugabe jederzeit replastifiziert werden.

Zur Herstellung von LPM sind mehrere Verfahrensarten anwendbar [4]:

- *ungetrocknete* LPM, die im erdfeuchten Zustand hergestellt, gelagert, transportiert und verarbeitet werden (*Erdfeuchtverfahren*),
- *nachgetrocknete* LPM, die erdfeucht vorgefertigt wurden und anschließend eine Trocknungsanlage durchlaufen (*Nachtrocknungsverfahren*);
- *getrocknete* LPM, die mit vorgetrockneten Ausgangsstoffen dosiert und gemischt werden (*Trockendosierverfahren*);
- *solar getrocknete* LPM, deren Ausgangsstoffe erdfeucht bereitgestellt werden und in geeigneten lichtdurchlässigen Gebäuden (Gewächshausprinzip) separat durch passiven Solareintrag getrocknet werden (*Solartrocknungsverfahren*).

Die in dieser Deklaration benannten LPM (Tab. 2.1) werden im Werk Ering nach dem *Solartrocknungsverfahren* hergestellt.

## 2.3 Einsatzzweck

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

Die Auftragsdicken der deklarierten LPM variieren zwischen >3 – 30 mm. Dabei bilden *Lehmunterputze* die untere(n) Lage(n) eines mehrschichtigen Putzaufbaus mit bis zu 30 mm pro Lage, *Lehmoberputze* mit mindestens 3 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 die „Allgemeinen Regeln für die Erstellung von Typ III UPD (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] und 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

Die *passiv solar getrockneten* LPM dieser Deklaration werden teilweise in nicht luftdicht verschlossene, wasserfeste Gewebesäcken und teilweise in Kraftpapiersäcken verpackt, transportiert, gelagert und zu den Baustellen geliefert. Die in Tab. 2.1 benannten LPM 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 der deklarierten LPM

Eigenschaft / Prüfung n. DIN 18947	LPM 01 Levita UP2	LPM 02 Levita OP1	LPM 03 Levita Uni 1.8	Einheit
Rohdichteklassen	2,0 (1.900)	2,0 (1.900)	2,0 (1.900)	kg/m <sup>3</sup>
Festigkeitsklasse S	SII	SII	SII	
Biegezugfestigkeit	0,9	0,8	0,7	N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit	1,7	2,0	1,8	N/mm <sup>2</sup>
Haftzugfestigkeit	0,1	0,20	0,15	N/mm <sup>2</sup>
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$	1,1	1,1	1,1	W/mK
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu$	5/10	5/10	5/10	-
lineares Trocknungsschwindmaß	$\leq 2,0$	$< 3,0$	$\leq 3,0$	%
mechanischer Abrieb	n. r.	0,3	n. r.	g
Aktivitätskonzentrationsindex natürlicher Radionuklide (Soll $< 1$ )	0,2	0,5	-	-
Wasserdampfsorptionsklasse WS	WSIII	WSIII	-	

n. r. nicht relevant

## 2.8 Brandschutz

Die Baustoffklasse von Lehmwerkmörteln wird nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1 bestimmt.

Die deklarierten LPM 01, 02, 03 (Tab 2.1) sind der Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1 zugeordnet. Eine bessere Einordnung ist vorbehaltlich brandschutztechnischer Belegprüfungen möglich. Unabhängig von der Baustoffklassifizierung erwiesen sich LPM aus mineralischen Inhaltsstoffen als Bauteilbeschichtung (Holz, Strohdämmung) unter Brandtemperatureinwirkung als günstig auf das Brandverhalten des Bauteils (Entzündungszeitpunkt, Flammausbreitung, REI nach DIN EN 13501-2) [10].

## 2.9 Sonstige Eigenschaften

LPM nach DIN 18947 können nach Erhärtung 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 der deklarierten LPM nach Tab. 2.1.

Tab. 3.1 Ausgangsstoffe von LPM

Ausgangsstoffe (nach DIN 18947)	In den Mischungen enthaltene Ausgangsstoffe LPM nach Tab. 2.1		
	LPM 01	LPM 02	LPM 03
Primärlehmaushub	X	X	X
Sekundärlehmaushub	-	-	-
Trockenlehm		-	X
Sand 0/2, ungetrocknet	X		X
Quarzsand 0/1; getrocknet		X	
Pflanzenteile/-fasern	X		X
Organische Zusatzstoffe, künstlich		X	

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 [2].

Lehmaushub wird erdfeucht dem geologisch „gewachsenen“ Boden entnommen und ist natürlicher Primärrohstoff mit unterschiedlicher granulometrischer sowie schwankender mineralogischer Zusammensetzung ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ). 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:

- Primärlehmaushub wird zielgerichtet für die Herstellung von Lehmbauprodukten abgebaut und verwendet.

- Sekundärlehmaushub fällt beim Ton-, Sand-, Kies- und Kalkabbau oder anderen Erdarbeiten für Baumaßnahmen als Bodenaushub [1] an und kann als Sekundärrohstoff weiterverwertet 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 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).

Mineralische Zusatzstoffe / natürlich: natürliche Sandkörnungen (DIN EN 12620 / DIN EN 13139) mit dem Hauptmineral Quarz sowie natürlichen Neben- und Spurenmineralien, Bims und Lavabruchstein. 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.

Organische Zusatzstoffe / natürlich: Pflanzenteile und -fasern (z. B. Strohhäcksel, Typhafasern (Rohrkolben), ohne relevante Rückstände aus Herbiziden, und zerkleinertes, chemisch unbehandeltes Holz / -späne (keine Holzwerkstoffe). Durch diese organischen Zusatzstoffe können die bauphysikalischen Eigenschaften (Trockenrohdichte, Trocknungsschwindmaß) des Endprodukts beeinflusst werden. Faserartige Zusatzstoffe wirken einer Rissbildung des LPM bei Austrocknung / Erhärtung entgegen.

Organische Zusatzstoffe / künstlich: Zellulose wird aus Pflanzen/Holz durch chemische Reaktion industriell extrahiert. Sie verleihen der Arbeitsmasse zur Herstellung von Putzoberflächen bessere Verarbeitungsfähigkeit und höhere Abriebfestigkeit. Nach DIN 18947 ist ein künstlicher organischer und wasserlöslicher Zusatz mit  $\leq 1$  M.-% für LPM zulässig.

### 3.3 Bereitstellung des Baulehms

Die in dieser UPD deklarierten LPM basieren auf Primärlehmaushub aus der werkeigenen Lehmgrube.

### 3.4 Verfügbarkeit

Alle mineralischen Rohstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit als „geologisch gewachsene“ Naturstoffe generell begrenzt.

Ein bisher für die Herstellung von Lehmstoffen kaum erschlossenes Rohstoffpotenzial ist die sortenreine Rückgewinnung von LPM oder mineralischen Komponenten in LPM aus Abbruchbauteilen / Baumischabfall als Primär- bzw. Sekundärrecyclinglehm [1, Bild 3.3]. Aufgrund der besonderen hydraulischen Eigenschaften der Tonmineralien im Lehm ist eine Replastifizierung und Wiederverwertung von auf Putzgeweben haftenden, abgerissenen LPM oder trocken rückgebautem LSM mit anhaftenden Mörtelresten jederzeit möglich. Eine mineralische Rohstoffknappheit besteht nicht.

Alle Pflanzenteile und -fasern und in den deklarierten LPM verwendeten organischen Zusatzstoffe (Zellulosefasern) sind nachwachsende Rohstoffe.

## 4 PRODUKTHERSTELLUNG

Alle drei deklarierten LPM (Tab. 2.1) sind *Werk trockenmörtel* und werden nach dem Solartrocknungsverfahren hergestellt. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Energiebilanzen und Umweltauswirkungen.

### 4.1 Solartrocknungsverfahren

Das *Solartrocknungsverfahren* umfasst folgende Prozessschritte mit ggf. dazwischen liegenden Transporten:

1. Bereitstellung von Primärlehmaushub aus eigener Lehmgrube am Werk und Anlieferung weiterer Ausgangsstoffe ins Werk,
2. passive solare Trocknung des Primärlehmaushubs und ungetrockneter Sande in einer geschlossenen, lichtdurchlässigen, belüfteten Glashalle mit Hilfe eines Wenderoboters,

3. Feinermahlung der solar getrockneten Komponenten,
4. Zuführung von Pflanzenteilen (LPM 01, LPM 03) bzw. Zellulose für LPM 02,
5. Gravimetrische Dosierung der Komponenten
6. Mischvorgang (ohne Wasserzugabe),
7. Absackung in Großgebilde (Mehrweg) oder Kraftpapiersäcke.

Bild 4.1 zeigt ein Produktionsschema für LPM nach dem Solartrocknungsverfahren.

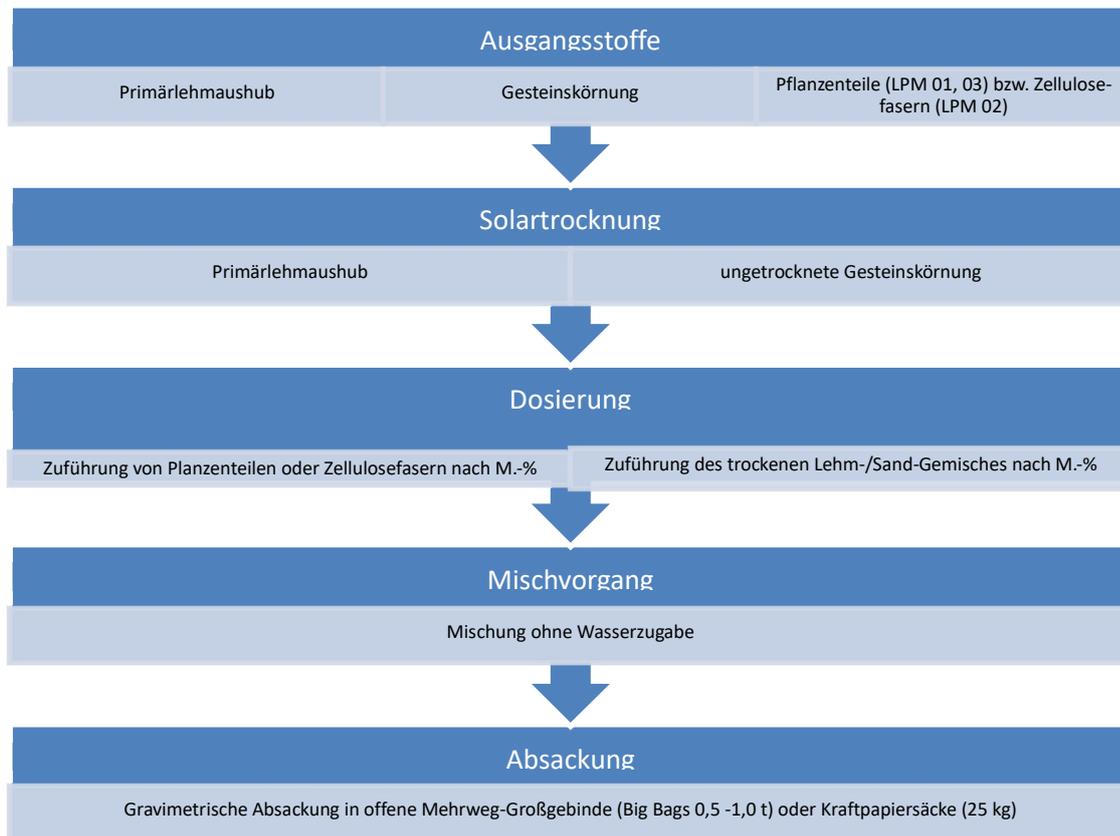


Bild 4.1 Produktionsschema Solartrocknungsverfahren für LPM 01 – 03

## 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 Produktwechseln auf derselben Anlage.

### 4.3.2 Wasser / Boden

Belastungen von Wasser / Boden entstehen nicht. Die erfassten und beschriebenen Herstellungsverfahren arbeiten abwasserfrei. Die Restfeuchte in den Tonmineralien des Baulehms 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

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 werden im Rahmen der Ökobilanz als Output des spezifischen Einsatzes von Diesel erfasst und bewertet.

## 5 PRODUKTVERARBEITUNG

### 5.1 Verarbeitungsempfehlungen

Die deklarierten LPM sind Lehtrockenwerkmörtel für die Herstellung von Putzen. Sie sind verarbeitungsfertig und werden auf der Baustelle mit Wasser angemacht.

Die deklarierten LPM werden 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 erneut dem Herstellungsprozess 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

Die verwendeten Großgebilde aus Kunststoffgewebe (PP) sind mehrwegfähig und werden über ein eigenes Pfandsystem zurückgenommen. Nach mehrfachen Umläufen werden die Großgebilde (Big Bags) durch Abfallwirtschaftsbetriebe entsorgt bzw. verwertet.

## 6 NUTZUNGSZUSTAND

### 6.1 Ausgangsstoffe

Für die Herstellung der deklarierten LPM werden ausschließlich die nach DIN 18947 zulässigen Ausgangsstoffe nach Abs. 3 verwendet. Diese Ausgangsstoffe sind im Nutzungszustand durch die Tonminerale 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

Die deklarierten LPM enthalten keine schädlichen Stoffe in gesundheitsschädigenden Konzentrationen wie z. B. flüchtige organische Komponenten (VOC), Formaldehyd, Isocyanate usw. Die Kriterien nach natureplus RL 0803 [12] werden erfüllt. Der Nachweis erfolgte nach DIN EN ISO 16000-9. Entsprechende schädigende Emissionen sind deshalb auch nicht zu erwarten. LPM sind im verarbeiteten Zustand geruchsneutral.

Die Mikrostruktur der Tonminerale 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 (*Modul B1*). Die deklarierten LPM erfüllen die Prüfkriterien nach der in *Tab. 2.2* ausgewiesenen Wasserdampfadsorptionsklasse WS III gemäß DIN 18947.

Bei Taupunktunterschreitung der Innenraumluft wird ggf. an trockenen Bauteiloberflächen ausfallendes Tauwasser durch die kapillare Porenstruktur des LPM sofort verteilt und 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 der 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) als besonders reparaturfreundlich aus (*IM B2* u. *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 in Verarbeitungshinweisen der Egginger Naturbaustoffe GmbH 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. Bei LPM mit organischen Zusatzstoffen entstehen geringe Mengen CO.

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 berichtet und nicht weiter quantifiziert.

## **9 Nachnutzungsphase**

### **9.1 Recycling von LPM**

Lehmputz als Bauteil kann während und nach Ablauf der Nutzungsphase i. d. R. als Putzgrund eines neuen Putzes genutzt 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 maschinell / manuell zurückgebaut werden. Bewehrungsgewebe sind manuell leicht abziehbar und erleichtern die Rückgewinnung des LPM [13]. 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 [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 mineralischen Komponenten (z. B. Sand) als Ausgangsstoff 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  $\leq 1$  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

Bei der Herstellung von LPM entstehen keine Produktionsabfälle.

Das Pfandsystem für die Großgebäude ermöglicht bis zu vier Wiederbefüllungen, bevor die Gebinde als Abfall im Werk anfallen. Kraftpapiersäcke werden sortenrein als Transportverpackungen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [15] durch zertifizierte Entsorgungssysteme einem stofflichen Recyclingprozess zugeführt. Holzpaletten werden vom Hersteller oder durch den Baustoffhandel zurückgenommen (EURO-Pfandsystem) und mehrfach verwendet.

## 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.

## 10 NACHWEISE

Wasserdampfadsorptionsklassen nach DIN 18947, Tab. A.1 liegen dem Programmbetreiber vor.

Die Ergebnisse der Regelprüfungen für die LPM in Tab. 2.1 / liegen dem Programmbetreiber vor.

Der Radionuklidgehalt [Bq/kg] für Ra-226, Th-232, K-40 entspricht einem Aktivitätskonzentrationsindex  $I < 1$  nach DIN 18947, A.3.

## **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 im Werk Ering am Inn 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 In- 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 Produktsystems in Luft, Wasser und Boden sowie Abfälle.

*Tab. A.1* bildet die In- und Outputfaktoren für die deklarierten LPM ab. Hauptinputfaktoren sind die Ausgangsstoffe, Dieserverbräuche im Werk, Transporte ins Werk und die elektrische Energie zum Betrieb der Produktionsanlagen. Die werkseigene PV-Anlage erzeugt 40 % der in der Produktion benötigten elektrischen Energie, 60 % liefert der örtliche Energieversorger. Die Herstellung aller LPM 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 untersuchten Lehmputzmörtel (LPM)

Lehmputzmörtel LPM (Solar Trocknung)	Produkte				Bemerkungen
	LPM 01: Levita UP2	LPM 02: Levita OP1	LPM 03: Levita Uni 1.8	Einheiten	
<b>INPUTFAKTOREN</b>					
Baulehm	0,3	0,37	0,3	kg/kg LPM	
- Primärlehmaushub	0,3	0,37	0,3	kg/kg LPM	
- Trockenlehm	-	-	0,015	kg/kg LPM	
Gesteinskörnung 0/2	0,69	-	0,686	kg/kg LPM	
Quarzsand 0/1	-	0,629		kg/kg LPM	
Pflanzliche Zusätze	< 1,0		< 1,0	kg/kg LPM	Strohfasern, Typharohrkolben
Organische Zusätze; künstlich		< 1,0		kg/kg LPM	Strohfasern, Typharohrkolben
<b>Energieinput</b>					
<b>Herstellung</b>					
elektrische Energie (Summe)	0,0048	0,0048	0,0048	MJ/kg LPM	Nettoverbrauch
+ regionales Stromnetz	0,014	0,014	0,014	MJ/kg LPM	Wasserkraft
+ PV Anlage Eigenverbrauch	0,0098	0,0098	0,0098	MJ/kg LPM	Eigenerzeugung
- PV Anlage Einspeisung	0,019	0,019	0,019	MJ/kg LPM	PV Überschuss
Diesel im Werk	0,0006	0,0006	0,0006	l/kg LPM	Verbrauch im Werk/ Gesamtproduktionsmasse
Frischwasser	0,0001	0,0001	0,00013	m³/kg LPM	von Vorprodukten und Ausgangsstoffen
<b>Verpackungen</b>					
Holzpaletten	0,02	0,02	0,02	kg/kg LPM	Mehrweg; Palette für 1000kg LPM
PP Großgebinde	0,0016	0,0016	0,0016	kg/kg LPM	1,6 kg Big Bag für 1000kg LPM; Pfandsystem
Kraftpapiersack	0,0036	0,0036	0,0036	kg/kg LPM	90 g pro 25 kg LPM
<b>OUTPUTFAKTOREN</b>					
LPM	1	1	1	kg	Funktionale Einheit
Abfälle (direkt)	0,0005	0,0005	0,0005	kg/kg LPM	zur Verwertung
Abwasser	-	-	-	m³/kg LPM	Abwasserfreie Produktion
Staub	-	-	-	kg/kg LPM	Entstaubungsanlage

Die in Tab. A.1 aufgelisteten mineralischen, pflanzlichen und sonstigen Zusätze entsprechen der DIN 18947. Der Anteil der Gesteinskörnungen, Sand und feinkörniger Quarzsand für den Oberputz OP1 (LPM 02) magert den Baulehm ab und verbessert die Verarbeitungsfähigkeit der LPM. Alle deklarierten LPM enthalten zur Verbesserung der erzielbaren Oberflächenstruktur < 1 M.-% organische Zusätze aus Pflanzenfasern (LPM 01 u. LPM 03) bzw. Zellulosefasern (LPM 02). Mineralische Ausgangsstoffe werden im Werk solar getrocknet und teilweise (LPM OP1; LPM Uni1.8) trocken angeliefert.

Die Herkunfts- und Verbrauchsangaben zum Energieinput im Werk Ering am Inn basieren auf Herstellerangaben für das Jahr 2023. Der durchschnittliche Energieeinsatz (MJ/kg LPM) wird auf die gesamte produzierte Masse bezogen (massenbezogene Allokation). Die elektrische Energie aus der werkseigenen PV-Anlage übersteigt den Eigenverbrauch, so dass durchschnittlich 0,019 MJ/ kg LPM ins Netz eingespeist werden können. Die Baumaschinen zum Betrieb im Werk arbeiten mit Dieselantrieben.

Die Wasserverbräuche entstehen indirekt aus Vorprodukten (z. B. Sandgewinnung). Großgebinde für 500 oder 1000 kg LPM (Big Bags) und Kraftpapiersäcke ohne Kunststoffeinlage für 25 kg LPM sind die beiden üblichen Verpackungsarten. Im herstellereigenen Pfandsystem erreichen die Big Bags zwei bis vier Umläufe. Mehrwegpaletten bleiben unterhalb des Abschneidekriteriums.

Die Abfälle entstehen nicht im Herstellungsprozess der untersuchten LPM selbst, sondern durch die Bereitstellung von Energieträgern und Vorprodukten sowie Rücklauf defekter Großgebäude aus dem herstellereigenen Pfandsystem.

## **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) nach Herstellerdaten 2023 für das Werk in Ering.

### **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 Herstellungsphase IM A1 – A3 von der Wiege bis zum Werkstor mit den Optionen IM C3 (Gebäudeabbruch) und D (Recyclingpotenzial) 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 nicht dem Baustoff zuzurechnen, sondern dem Gebäude

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

*B1 - B7 (Nutzungsphase)*

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

Für *IM B2 (Instandhaltung)* u. *B3 (Reparatur)* ist die beschriebene Replastifizierbarkeit der LPM vorteilhaft. Ausbesserungen sind bei kleinen Schäden mit einem nassen Schwamm, bei größeren Schäden mit zusätzlichem Material möglich. Es gibt keine quantifizierbaren Stoff- und Energieflüsse.

*IM B4 (Ersatz)* u. *B5 (Umbau)* verlängern durch entsprechende bauliche Maßnahmen die Lebensdauer des Gesamtbauteils(-gebäudes). Bei der Entnahme verschlissener Produktteile fallen keine Stoff- und Energieflüsse an. Es gelten die physikalischen Eigenschaften zur Wiederverwertbarkeit der Lehmbaumstoffe im allgemeinen Teil der Deklaration.

*IM B6 (Energieeinsatz)* u. *B7 (Wassereinsatz)* sind während der Nutzung der LPM als Bauteil nicht anwendbar.

*IM C2 (Transport)* liegt außerhalb der Systemgrenze nach PKR und ist dem Gebäude zuzuordnen.

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

## B.4 Abschneidekriterium

Entsprechend DIN 18947, A.3 werden alle Stoffflüsse berücksichtigt, die in das Produktionssystem fließen und > 1 % der Gesamtmasse der Stoffflüsse bzw. > 1 % des Primärenergieverbrauchs betragen. Das trifft auf Holzpaletten und Schutzfolien für Paletten mit LPM-Sackware zu.

Abweichend davon werden auch alle Stoffflüsse erfasst, deren Umweltauswirkungen > 1 % der gesamten Auswirkungen einer in der Bilanz berücksichtigten Wirkungskategorie darstellen. Das trifft insbesondere zu auf natürliche Pflanzenfasern (z. B. Stroh, Typharohrkolben), funktionale Zellulosezusätze und Verpackungen.

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

## B.5 Annahmen und Abschätzungen

Annahmen und Abschätzungen betreffen Trockenlehm, Pflanzenanteile, Zellulosefasern, Verpackungen, die Abfallaufbereitung (IM C1 u. C3) und das Rückgewinnungspotenzial (IM D1 – D3).

*Trockenlehm:* die Bilanzierung des für den LPM 02 verwendeten Trockenlehms basiert auf Umweltdaten eines typischen Herstellbetriebes, einschließlich des Energiebedarfs für die Trocknung [17].

*Pflanzenanteile:* LPM 01 und 03 enthalten 0,1 – 0,4 M.-% Pflanzenfasern aus Stroh / Typharohrkolben. Im Rahmen der Muster-UPD LPM fand die UPD Baustroh Anwendung [18]. Die darin enthaltenen Rückgewinnungspotenziale blieben unberücksichtigt, nicht jedoch das im Stroh gebundene CO<sub>2</sub>, das in IM A1 für Baustroh einberechnet wurde. Die Umrechnung der in Pflanzen enthaltenen Kohlenstoffmenge erfolgte im Verhältnis 44/12 der Molmassen von CO<sub>2</sub> zu C. Die Werte der UPD Baustroh bilden die Bilanzierungsgrundlage für die Strohanteile in LPM 01 und die Typhaanteile in LPM 03. Das aufgenommene und gespeicherte CO<sub>2</sub> (aus IM A1) wird in IM C3 ausgefüllt (CO<sub>2</sub> Neutralität innerhalb des Produktsystems gemäß EN 16485).

*Verpackungen:* Holzpaletten lassen sich nicht vollständig den LPM zuordnen, da diese 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 LPM werden in offene Großgebinde (Big Bags) mit einer Kapazität von 0,5 – 1,0 t abgesackt. Die Big Bags durchlaufen im herstellereigenen Pfandsystem mehrere Wiederverwendungen. Nicht wiederverwendbare Big Bags fallen ausschließlich im Werk als nicht gefährlicher Abfall (NHWD) zur stofflichen oder energetischen Verwertung außerhalb des Systems an. Auf Gutschriften durch die stoffliche / thermische Verwertung der Big Bags wurde verzichtet.

*Ungebleichte Kraftpapiersäcke* ohne Kunststoffeinlage dienen der Verpackung und dem Feuchteschutz für getrocknete LPM. Ein Kraftpapiersack für 25 kg LPM wiegt 170 g. Der in den Holzfasern des Kraftpapiers gebundene Kohlenstoff ist im Verhältnis 44/12 der Molmassen von CO<sub>2</sub> zu C einbezogen [19]. Das aufgenommene und gespeicherte CO<sub>2</sub> (aus IM A1) wird in IM C3 ausgefüllt (CO<sub>2</sub> Neutralität innerhalb des Produktsystems gemäß EN 16485).

*PE-Folie* schützt die palettierten, in Kraftpapiersäcke abgefüllten, getrockneten LPM. Die ca. 150 cm breite Folie umschließt eine Palette mit 42 Sack LPM / Standardpalette und einem Gesamtgewicht von bis zu 1,0 t. Für PE-Folie findet das Abschneidekriterium nach Abs. B.4 Anwendung.

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 maschinelle oder manuelle Trennung vom Untergrund rückgewonnen werden. Entsprechende Experimente und Laboruntersuchungen fanden an der FH Potsdam statt [13][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 m<sup>3</sup>/h zurückgegriffen.

Abfallaufbereitung (C3): Die Annahmen in IM C3 basieren auf experimentellen Untersuchungen der FH Potsdam [14] 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 in IM D 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 – 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 IM D1), sondern insbesondere die Energie für die Nachtrocknung erdfeuchter LPM.

IM D3 unterstellt eine Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials als Sekundärstoff für Lehm- und Trockensand, 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.6 Datenqualität

Die Datenerfassung für die untersuchten Produkte und Verfahren erfolgte durch Nachweis der Energieeinsätze und Ermittlung weiterer Daten mittels eines strukturierten Erfassungsbogens bezogen auf das Werk Ering für das Jahr 2023. Eine Werksbesichtigung durch den Bilanzersteller fand im April 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
	Primärlehmaushub	UBA ProBAS: Lehm [20]; verifiziert nach: ÖKOBAUDAT 1.2.01 Kies (2023-I) [19]
1	Trockenlehm	EMAS Herstellerdaten [17]; Verifiziert nach: UBA ProBAS Gesteinsmehl [20] und ÖKOBAUDAT 1.2.01 (2023-I) [19]
2	Gesteinskörnungen	GaBi 2021 in ÖKOBAUDAT 1.2.01 (2023-I) [19]
5	Pflanzenteile	FASBA EPD Strohballen [18]
6	Cellulose	Arbocell Herstellerzertifikat; verifiziert nach [21]
7	Kraftpapiersäcke	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 6.6.05 (2023-I) [19]; [20]
9	Elt. Energie Wasserkraft	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 9.2.05 (2023-I) [19];

9a	Elt. Energie PV Anlage	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 9.2.05 (2023-I) [19];
10	Diesel	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 9.2.02 (2023-I) [19]
11	Transport zum Werk (35-40 t, EURO 5, 27 t Nutzlast, 85 % Auslastung)	GaBi 2021 in: ÖKOBAUDAT 9.3.01 (2023-I) [19]
12	Abbruch/Abriss	Herstellerdaten; Abrissbagger
13	Abfallaufbereitung	FH Potsdam [13][14]; Herstellerdaten Prallbrecher
14	Rückgewinnungspotenzial	FH Potsdam [13][14]

## 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).

Der gemessene Energieinput wird nach der im Werk hergestellten Masse aller Lehmbaustoffe proportional auf die Masseanteile der deklarierten Produkte aufgeteilt (massebezogene Allokation).

## B.8 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 folgt der Muster-UPD LPM des DVL [4] und wird für die nachfolgende Bilanzierung zugrunde gelegt. Entsprechend der PKR LPM [5] bleiben Transporte zu (A4) und von (C2) Baustellen als „Modul nicht relevant (MNR)“ unberücksichtigt. IM A5 und B1 – B6 zur Nutzungsphase haben keine quantifizierbaren umweltrelevanten Auswirkungen und werden daher 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 <sup>2</sup>	IRP	kBq U235-Äq.	Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP: Ionizing Radiation Potential)
3	Ökotoxizität (Süßwasser) <sup>1</sup>	ETP-fw	CTUe	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (CTUe: Comparative Toxic Unit for ecosystems; ETP: Ecological Toxic Potential)
4	Humantoxizität kanzerogene Wirkungen <sup>1</sup>	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 <sup>1</sup>	HTP-nc	CTUh	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-nc: Human Toxic Potential-non carcinogenic)
6	Mit der Landnutzung verbundene Wirkungen / Bodenqualität <sup>1</sup>	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 Input-, Umweltwirkungs- und Outputfaktoren der drei LPM befinden sich im Tabellenanhang *Abs. D*.

## TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ

Im *Teil C* werden ausgewählte Ergebnisse der Ökobilanz (*Anhang B.3.1 – B.3.3*) in Form von Balkendiagrammen für die Parameter PEI (*Abb. C.1*) u. GWP (*Abb. C.2*) jeweils für die drei Verfahrensarten „Herstellung LPM“, für IM C1 „Abbruch“ (*Abb. C.3.1*), IM C3 „Aufbereitung Abbruch“ (*Abb. C.3.2*) sowie die Rückgewinnungspotenziale D1 – D3 (*Abb. C.4.1 – C.4.3*) dargestellt und interpretiert. *Abb. C.4.4* zeigt die Klimaentlastungseffekte für die Rückgewinnungspotenziale D1 – D3 im Vergleich.

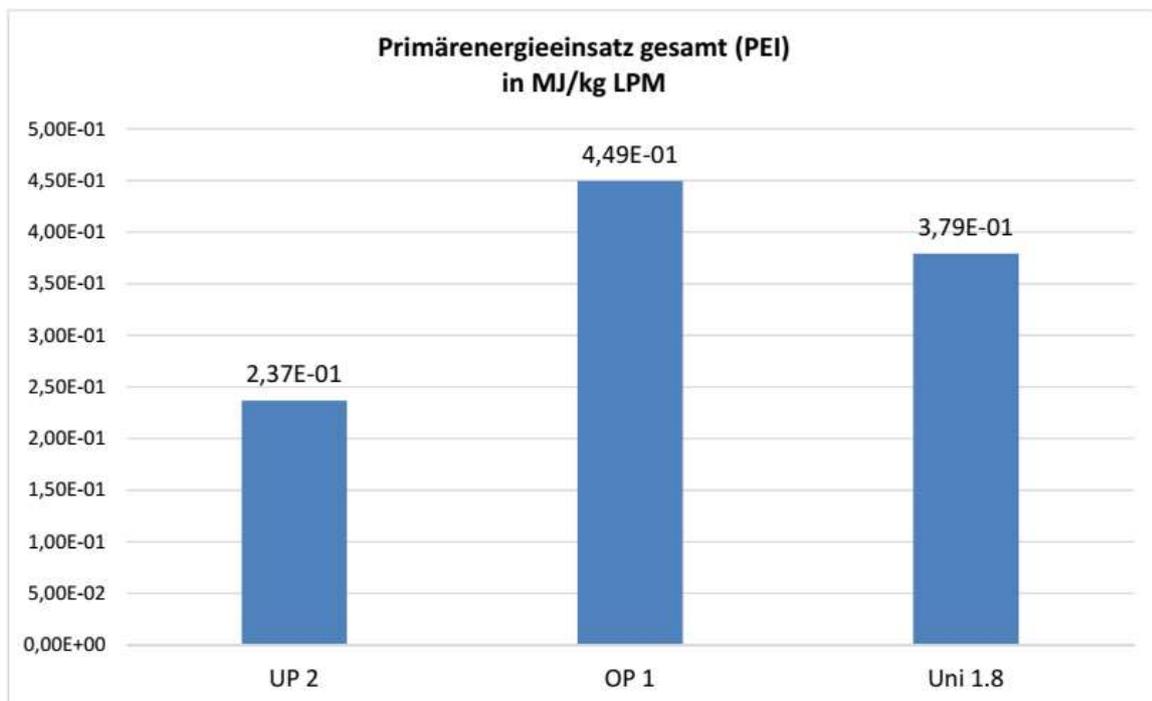
## C.1 Primärenergieeinsatz (PEI)

Die Durchschnittswerte zum PEI in der Sachbilanz (*Tab. A.1*) basieren auf Herstellerangaben bezogen auf das gesamte Jahr 2023. Der gesamte Jahresenergieverbrauch (MJ/kg) wird auf den gesamten Produktionsoutput im Werk bezogen (massebezogene Allokation).

Die Trocknung der deklarierten LPM erfolgt durch Ausnutzung passiver Solareinträge in eine Glas-halle mit Ventilation.

Der zusammenfassend dargestellte Primärenergieeinsatz PEI (*Abb. C.1 – C.2*) umfasst die IM A1 (Bereitstellung der Ausgangsstoffe), A2 (Transporte ins Werk) und A3 (Herstellung).

Solar getrocknete LPM dieser Deklaration benötigen einschließlich der Vorketten zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe, der Bereitstellung und Nutzung der Energieträger, aller Transporte ins Werk Ering am Inn und Verpackungen (*IM B 6*) zwischen 2,37E-01 MJ/kg LPM 01 (UP 2) und 4,49E-01 MJ/kg LPM 02 (OP 1) (*Abb. C.1*). Der Anteil regenerativer Primärenergie über die gesamte Prozesskette von der Bereitstellung der Ausgangsstoffe (IM A1) über Transporte ins Werk (IM A2) und die Herstellung (IM A3) liegt zwischen 57 % für LPM OP 1 bzw. 52 % für LPM UP 2 und 43 % für LPM Uni 1.8.



*Abb. C.1 Gesamter Primärenergieeinsatz (PEI) für LPM 01 – 03, Solartrocknungsverfahren*

Die Unterschiede beim Gesamt-PEI ergeben sich aus den verschiedenen Rezepturen und den jeweiligen Transportwegen für die Ausgangsstoffe. Deutlich wird dies für LPM 02 (OP 1). Die Rezeptur enthält feinen Quarzsand, der vom Lieferanten fossil getrocknet und über eine Distanz von ca. 40 km angeliefert wird. Im Vergleich zu UP 2 (LPM 01) und Uni 1.8 (LPM 03) erhöhen diese Unterschiede in der Zusammensetzung und den Transportwegen den Energieeintrag ins Produkt LPM 02 (OP 1).

*Abb. C.2* zeigt die Verteilung der Energieeinträge für die drei deklarierten LPM 01 – LPM 03 (*Tab. 2.1*) nach IM A1 – A3 mit gesondert ausgewiesenem Anteil der Verpackung in IM A1.

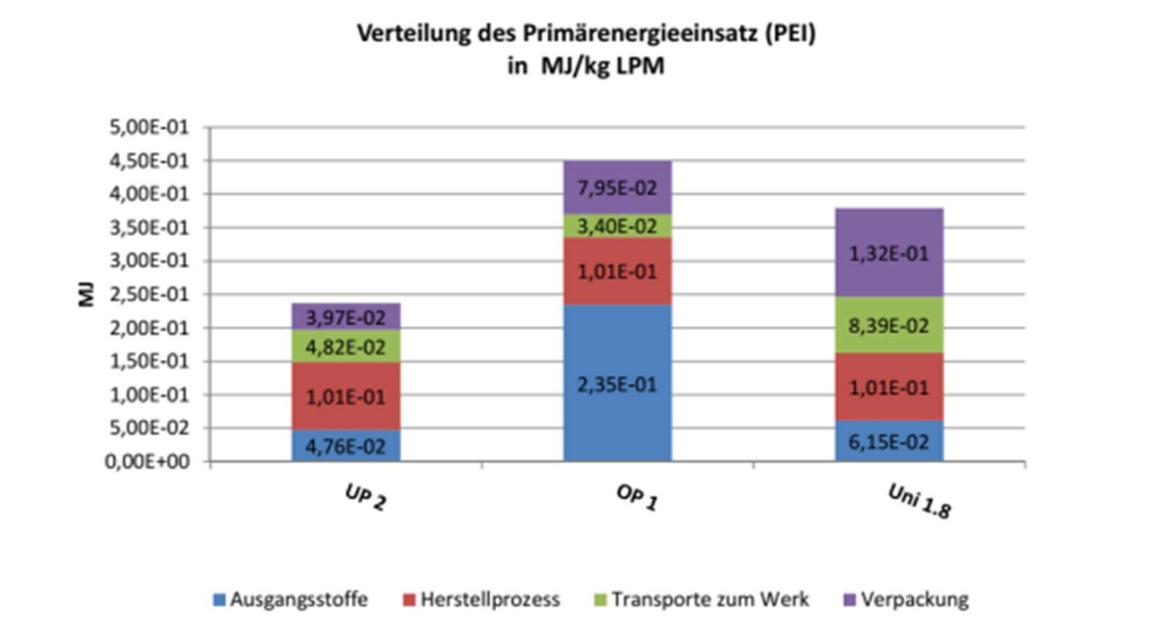


Abb. C.2 Verteilung des PEI nach Modulen A1 – A3, Solartrocknungsverfahren

Die Ausgangsstoffe tragen mit 4,76E-02 MJ/kg LPM UP 2 bis 2,35E-01 MJ/kg LPM OP 1 zum Gesamtenergieinput bei. Damit entfallen 16 % (Uni 1.8) bis 52 % (OP 1) des PEI auf mineralische und pflanzliche Ausgangsstoffe. Je nach Mischungsverhältnis geht der Hauptenergieeintrag auf den Anteil der Gesteinskörnungen zurück, danach folgt der Lehmgrubenbetrieb und weitere Zusätze.

Der Herstellungsprozess (Mischen, Mahlen, Absacken) auf derselben Anlage mit vorgelagerter solarer Trocknung für Primärlehmaushub und Sand benötigt einschließlich Diesel für Baufahrzeuge im Werk einen Energieinput von 1,01E-01 MJ/kg für alle LPM. Die elektrische Energie stammt zu 100 % von regenerativen Energieträgern. Das sind die Wasserkraft des regionalen Energieversorgers und die eigene PV-Anlage im Werk.

Die Energieeinträge durch LKW-Transporte ins Werk erreichen je nach Zusammensetzung der Mischungen und Lieferantenstandort zwischen 3,40E-02 LPM OP 1 und 8,39E-02 MJ/kg LPM Uni 1.8. Die Mischung für LPM Uni 1.8 enthält mineralische und pflanzliche Zusätze mit längeren Transportwegen als bei UP 2 und OP 1, die ca. 22 % des Energieeintrages für LPM Uni 1.8 einbringen.

Die in dieser Bilanz betrachteten Einweg-Verpackungen mit Kraftpapiersäcken tragen je nach Anteil an der Gesamtproduktion der LPM zwischen 3,97E-02 MJ/kg LPM UP 2 und 1,32E-01 MJ/kg LPM Uni 1.8 zum Energieeinsatz bei. Die Unterschiede ergeben sich aus dem Anteil dieser Verpackungsart am Gesamtoutput der jeweiligen LPM: hohe Anteile des Pfandsystems für Großgebäude bis zu 85 % (UP 2) senken den Anteil der Einwegverpackungen mit Kraftpapiersäcken. LPM Uni 1.8 wird zu 50 % der Produktionsmasse in Einweg-Kraftpapiersäcke abgesackt. Dementsprechend steigt der relative PEI-Anteil der Verpackung auf 35 % des gesamten Energieeintrages (1,32E-01 MJ/kg LPM Uni 1.8).

## C.2 Treibhausgaspotenzial (GWP)

Die Treibhausgaspotenziale als CO<sub>2</sub>-Äq. werden als GWP 100 in ihrer Klimawirkung über 100 Jahre betrachtet. Die Berechnung des GWP der deklarierten LPM von der Bereitstellung der Ausgangsstoffe bis zum Werkstor ergibt 1,63E-04 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM UP 2 bis 1,43E-02 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM OP1 (Abb. C.3).

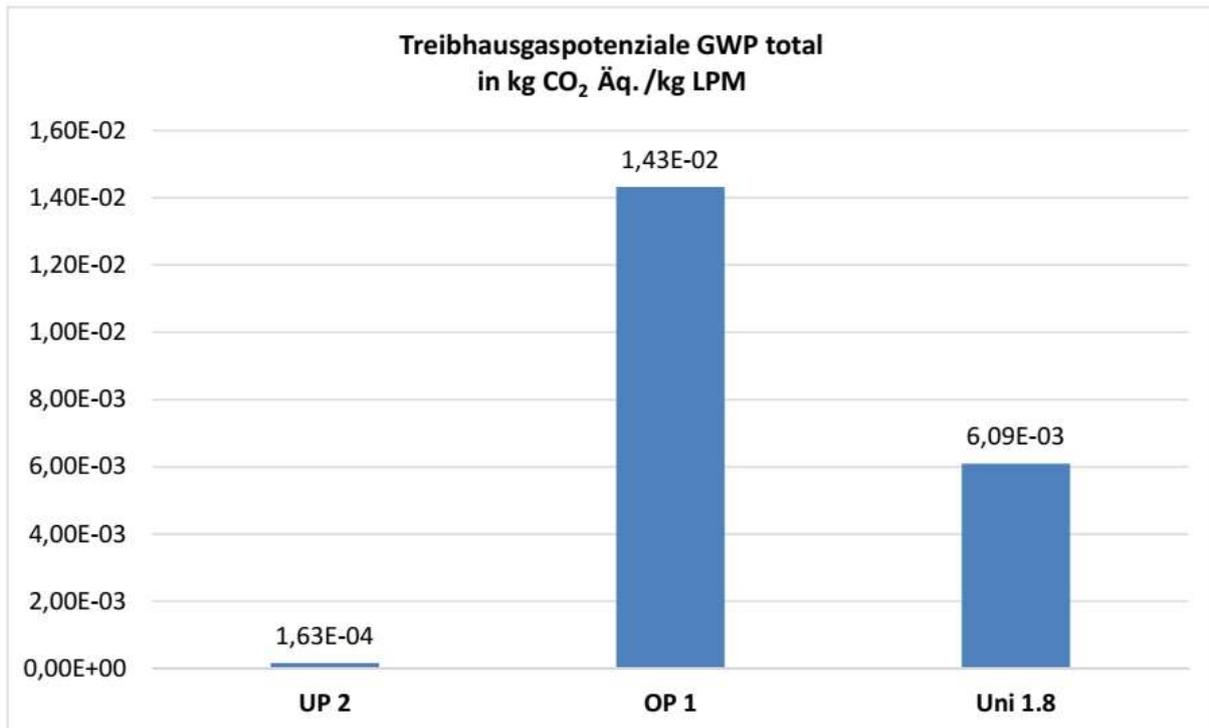


Abb. C.3 Treibhausgaspotenziale (GWP) der deklarierten LPM 01 – 03, Solartrocknungsverfahren

Die in den Rezepturen LPM UP 2 und LPM Uni 1.8 enthaltenen Pflanzenfasern binden CO<sub>2</sub> dauerhaft, weil von einer Kreislaufführung nach den Szenarien in IM D1 – D3 zur Wiederverwertung ausgegangen wird. Diese Szenarien wurden labortechnisch und experimentell untersucht [13][14]. Die Berechnung des gespeicherten CO<sub>2</sub> in Stroh- und Typhafasern erfolgt unter Hinzuziehung der Daten aus der Umweltbilanz für Baustroh [18] und nach DIN EN 15804. Das in den Strohfäsern gebundene CO<sub>2</sub> beträgt 1,27E+00 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg Baustroh [19].

Das gebundene biogene CO<sub>2</sub> der Einweg-Kraftpapiersäcke reduziert die Treibhausgaspotenziale aller LPM in Höhe von -1,04E-03 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM UP 2 bis -3,45E-03 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM Uni 1.8 (Abb. C.4). Bilanziell werden die gebundenen biogenen CO<sub>2</sub> equiv. in IM C3 (Abfallaufbereitung) entsprechend DIN EN 15804 wieder aufgelöst bzw. bilanziell neutralisiert.

Für die LPM UP 2 und LPM Uni 1.8 entfallen auf die Transporte ins Werk relativ hohe Anteile, die ohne die negativen Werte für Verpackungen bis zu 60 % ausmachen (Abb. C.4 LPM Uni 1.8).

Der Herstellungsprozess mit 100 % Strom aus regenerativen Energieträgern und Diesel für Baufahrzeuge im Werk verursacht 3,63E-04 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg für alle LPM. Der weitgehende Verzicht auf fossile Energieträger für den Herstellungsprozess, insbesondere mit passiver solarer Trocknung der Ausgangsstoffe, bewirkt für LPM UP 2 mit insgesamt 1,63E-04 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg ein fast neutrales GWP nahe der Nulllinie.

Das GWP für die Ausgangsstoffe in den verschiedenen Mischungen enthält Gutschriften für gebundenes CO<sub>2</sub> in den Pflanzenfasern. Für LPM UP 2 beträgt die Gutschrift -5,37E-03 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM. Für LPM Uni 1.8 enthält diese Gutschrift -1,34E-04 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM Uni 1.8. Die mineralischen Ausgangsstoffe tragen zwischen 2,64 E-03 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM UP 2 bis 1,33E-02 kg CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM OP 1 zum GWP der Ausgangsstoffe bei. Die CO<sub>2</sub>-Gutschriften für gebundenes CO<sub>2</sub> in Papiersäcken ergeben sich aus deren Umweltbilanzdaten. Je nach Anteil der Papiersäcke zwischen 15 % und 50 % der jeweiligen Gesamtproduktion resultieren entsprechende Gutschriften zwischen -1,50E-03 CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM UP 2 und -5,02E-03 CO<sub>2</sub>-Äq. / kg LPM Uni 1.8.

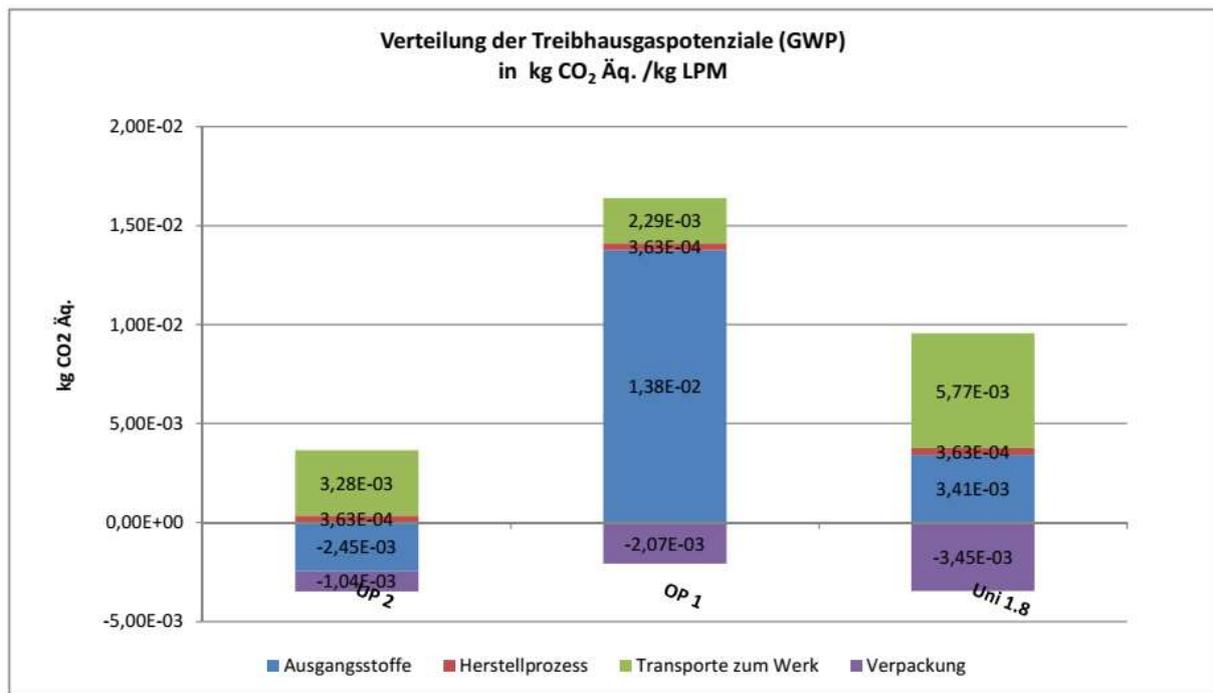


Abb. C.4 Verteilung der Treibhausgaspotenziale (GWP 100) LPM 01 – 03 nach Solartrocknungsverfahren

### C.3 Andere Umwelt-Wirkungsfaktoren

Am Beispiel von drei der neun anderen Umweltwirkungsfaktoren (außer CO<sub>2</sub>-Äq.) in den Tab. D.2.1 – D.2.3 lassen sich Besonderheiten / Abweichungen in den UPD der deklarierten LPM näher erläutern:

*Versauerungspotenzial AP:* entsteht durch Einträge in Böden und Gewässer über die Düngung beim Getreideanbau. Das relativ höhere Versauerungspotenzial (AP) für den LPM 01 (UP 2) entsteht über den Strohanteil der Mischung in Höhe von 0,4 M.-% LPM 01 und verursacht mit 2,37E-03 mol H<sup>+</sup>-Äq. / kg LPM 01 (UP 2) ein signifikant höheres Versauerungspotenzial als die anderen LPM mit Werten zwischen 1,01E-05 mol H<sup>+</sup>-Äq. / kg LPM 03 (Uni 1.8) und 1,04E-04 mol H<sup>+</sup>-Äq. / kg LPM 02 (OP 1).

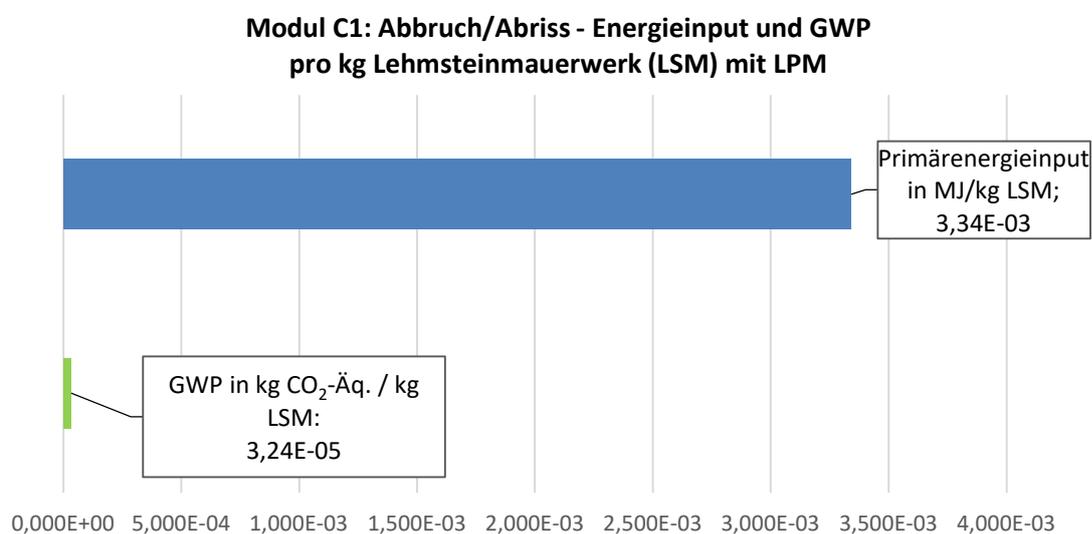
*Wasserentzugspotenziale WDP:* die Wasserentzugspotenziale WDP als m<sup>3</sup> world Äq. zeigen mit 1,84E-04 im Vergleich zu anderen Wirkungsfaktoren größere Unterschiede zwischen den drei deklarierten LPM. Der Wasserverbrauch für die verwendeten Papiersäcke verursacht diese Unterschiede je nach Anteil zwischen 15 % (UP 2) und 50 % (Uni 1.8) im Verpackungsmix (Papiersäcke / PP Großgebinde) der jeweiligen Produktionsmenge.

*Abbau nicht fossiler Ressourcen ADPE:* umfasst auch indirekte Nebeneffekte von der Quelle bis zur Bereitstellung von Diesel für die Herstellung und für LKW-Transporte ins Werk. Papiersäcke tragen mit 1,05E-06 kg Sb-Äq. / kg LPM zum ADPE bei, was je nach Anteil an den Verpackungen zwischen den LPM unterschiedlich durchschlägt. Von den mineralischen Ausgangsstoffen verursacht der Abbau von Primärlehmaushub und Sand mit zusammen 2,35 E-07 kg Sb-Äq. / kg ein deutlich geringeres ADPE als Papiersäcke. Die ermittelten Abbaupotenziale bewegen sich insgesamt (einschließlich Diesel und Verpackungen) mit 1,17E-06 kg Sb-Äq. / kg LPM 02 UP 2 bis 1,72E-06 kg Sb-Äq. / kg LPM 03 Uni 1.8 innerhalb einer engen Bandbreite ohne signifikante Abweichungen zwischen den deklarierten LPM.

## C.4 Abbruch und Aufbereitung

Auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen an der FH Potsdam [13][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 in der Ökobilanz 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 m<sup>3</sup> Mauerwerk/h. Dieser Dieserverbrauch und diese Abbruchleistung wurden in der Umweltbilanz des *IM C1* „Abbruch LSM“ unterstellt. *Abb. C.5* veranschaulicht die Kerngrößen PEI sowie die Umweltwirkungen GWP in *IM C1*.



*Abb. C.5* PEI u. GWP für Gebäudeabbruch / kg Abbruchmaterial, *IM C1*

Die Aufbereitung des Abbruchmaterials erfolgte für beide Verfahren unter Laborbedingungen in der FH Potsdam [13][14]. Damit wurde die prinzipielle Realisierbarkeit der Aufbereitung nach beiden Verfahren erstmals nachgewiesen.

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.

Für das Baustoffrecycling wurde ein Prallbrecher mit geschätzten 0,23 l/t Dieserverbrauch einschl. Stromgenerator ausgewählt. *Abb. C.6* zeigt die Umweltkennzahlen PEI und GWP der beschriebenen Aufbereitungstechnik in *IM C3*. Der Prallbrecher mit integriertem Stromgenerator erfordert ca. 1,92E-03 MJ/kg Abbruchmaterial. Die Treibhausgasemissionen ergeben sich daraus mit 1,86E-05 kg CO<sub>2</sub>equiv. / kg Abbruchmaterial (hier: LPM Rezyklat).

Im *Anhang D* wird das in Pflanzenteilen gebundene biogene CO<sub>2</sub> aus *IM A1* in *IM C3* bilanziell wieder neutralisiert. *Abb. C.3* und nachfolgend in den Szenarien *D1 – D3* zeigen die tatsächlichen Ener-

gie- und Wirkungsfaktoren für die Abfallaufbereitung ohne diesen nach EN 15804 +A2 vorgeschriebenen bilanziellen Ausgleich des gebundenen biogenen CO<sub>2</sub>. Der tatsächliche, technisch bedingte Nettoeffekt der Rückgewinnung wird berechnet und dargestellt.

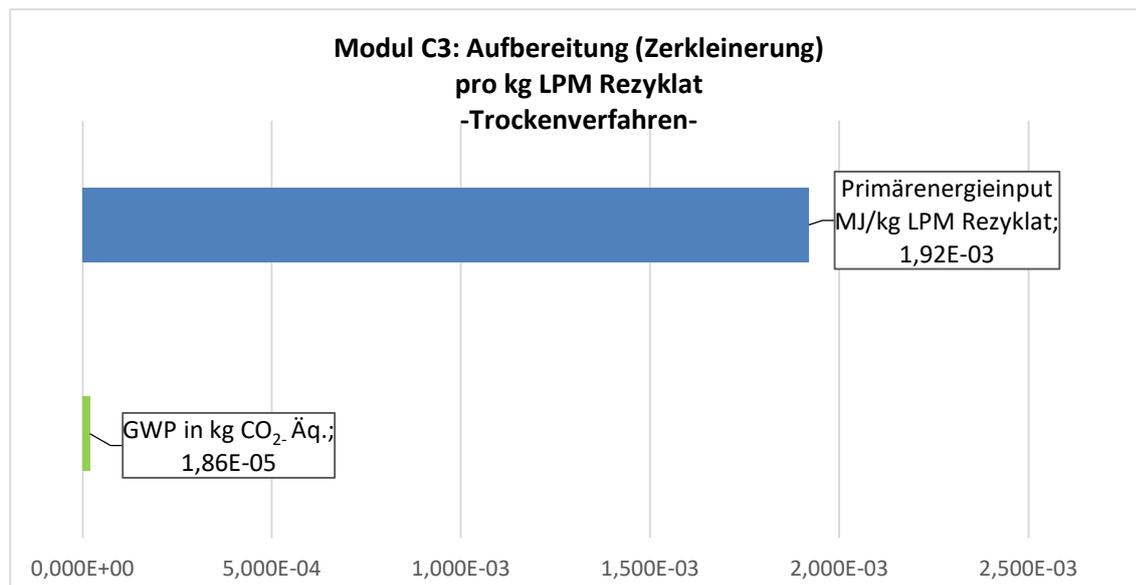


Abb. C.6 PEI u. GWP für trockene Aufbereitung von LPM-Abbruchmaterial, IM C3 ohne bilanzielle Gegenrechnung des biogenen CO<sub>2</sub> aus IM A1

## C.5 Rückgewinnungsszenarien

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

**D1:** Wiederverwertung des rückgewonnenen Abbruchmaterials für *neue ungetrocknete LPM 01 –03* durch Einsumpfen und Mauken (*Nassverfahren*). Die Substitution von primären Ausgangsstoffen bildet das Rückgewinnungspotenzial des Szenarios D1, das auch für die Wiederverwertung der LPM im Solartrocknungsverfahren Anwendung finden kann.

**D2:** 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 die Energie für die sonst erforderliche Nachtrocknung erdfeuchter LPM.

**D3:** Wiederverwertung des trocken rückgewonnenen Abbruchmaterials als Sekundärstoff für *andere Lehmbauprodukte*, aber auch für neue LPM, die im Trockendosierverfahren hergestellt werden. Bei diesem Verwertungsszenario ersetzen die Bestandteile des Abbruchmaterials (überwiegend Trockenlehm und Trockensand) ansonsten technisch getrockneten Baulehm und Sand.

Für die Berechnung der Szenarien D1 – D3 werden Durchschnittswerte für die Massenanteile des Baulehms (33 M.-%) und der Gesteinskörnungen (67 M.-%) in rückgewonnenen LPM dieser Deklaration angenommen. Wie in Tab. A.1 angegeben, unterstellen die Szenarien einen Masseverlust nach Aufbereitung von 5 %.

### C.5.1 Szenario D1 (Solartrocknungsverfahren)

Für diesen Verwertungsweg kann die Aufbereitung abgerissener LPM im Nassverfahren durch „Einsumpfen“ im Werk erfolgen. Eine trockene, mechanische Zerkleinerung des Abbruchmaterials ist für die Wiederverwertung im Erdfeuchtverfahren nicht erforderlich. Die Bewertung der Rückgewinnungspotenziale für nach dem Solartrocknungsverfahren hergestellte LPM unterstellt, wie beim Erdfeuchtverfahren, ungetrocknete Ausgangsstoffe aus dem Abbruchmaterial.

Bei der Wiederverwertung von Abbruchmaterial für neue LPM nach Erdfeuchtverfahren (Tab. C.5.1) substituiert der im rückgewonnenen LPM enthaltene Baulehm und Sand die originären Ausgangsstoffe für neuen LPM. Nach Analyse des Lehm-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 Solartrocknungsverfahren

LPM 01-03 nach Tab. 2.1 – 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 <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>	kg CO <sub>2</sub> Äq
Entsorgungs-stadium	Rückbau, Abriss	<b>C1</b>	2,18E-05	3,32E-03	<b>3,34E-03</b>	<b>3,24E-05</b>
	Abfallaufbereitung, Nassverfahren	<b>C3</b>	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung als LPM erdfeucht	<b>D1</b>	-7,78E-03	-3,49E-02	<b>-4,27E-02</b>	<b>-2,52E-03</b>
Netto-Rückgewinnungspotenzial	Wiederverwertung als LPM erdfeucht	<b>D1 + C1 + C3</b>	-7,76E-03	-3,16E-02	<b>-3,94E-02</b>	<b>-2,49E-03</b>

**PERT** Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen

**PENRT** Gesamtnutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen

**PEI** Primärenergieinput

**GWP** Globales Erwärmungspotenzial

Die Substitution primärer mineralischer Ausgangsstoffe aus dem rückgewonnenen, eingesumpften LPM-Abbruchmaterial erspart bei Wiederverwertung für „neue“ LPM nach Solartrocknungsverfahren 4,27E-02 MJ/kg LPM Primärenergie und vermeidet 2,52E-03 kg CO<sub>2</sub> Äq. / kg LPM.

Der Nettoeffekt ergibt sich nach Abzug des Energieinput und der Treibhausgasemissionen durch Rückbau bzw. Abriss des Abbruchmaterials.

### C.5.2 Szenario D2 (Trockenverfahren)

Im Szenario D2 zur Wiederverwertung von LPM 01 – 03 aus maschinellm Abriss oder Mauerwerksabbruch für nachgetrocknete neue LPM (Tab. C.5.2) wird das LPM-Rezyklat ohne Einsumpfen trocken verarbeitet. Es ersetzt somit nicht nur Primärstoffe wie in Szenario D1, sondern auch das in diesem Szenario D2 unterstellte Nachtrochnungsverfahren in Trommeltrocknern mit Wärmeenergie aus Flüssiggas.

Der Gesamtenergieeinsatz PEI (Tab. C.5.2) vermindert sich durch die trockenen Sekundärstoffe und den möglichen Verzicht auf fossile Nachtrochnung um 7,42E-01 MJ / kg LPM. Die vermiedenen Treibhausgasemissionen betragen 1,31E-02 kg CO<sub>2</sub>equiv. / kg LPM.

Das Szenario D2 mit unterstellter fossiler Trocknungstechnik ergibt ein höheres Rückgewinnungspotenzial als bei der Wiederverwertung für neue LPM nach dem Erdfeucht- und Solartrocknungsverfahren in Abs. C 5.1.

Wird der Aufwand für den Abbruch und die Aufbereitung durch Zerkleinerungsmühlen gegengerechnet, reduzieren sich die in Tab. C.5.2 betrachteten Nettoeffekte der Substitution nur marginal.

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

LPM 01-03 nach Tab. 2.1 – Modul D2 Wiederverwertung 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 <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>	kg CO <sub>2</sub> Äq.
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	<b>C1</b>	2,18E-05	3,32E-03	<b>3,34E-03</b>	<b>3,24E-05</b>
	Abfallaufbereitung, Trockenverfahren	<b>C3</b>	1,25E-05	1,91E-03	<b>1,92E-03</b>	<b>1,86E-05</b>
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung als LPM, Nachtrocknungsverfahren	<b>D2</b>	-1,30E-02	-7,29E-01	<b>-7,42E-01</b>	<b>-1,31E-02</b>
Netto-Rückgewinnungspotenzial	Wiederverwertung als LPM, Nachtrocknungsverfahren	<b>D2 + C1 + C3</b>	-1,30E-02	-7,24E-01	<b>-7,37E-01</b>	<b>-1,30E-02</b>

**PERT** Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen

**PENRT** Gesamtnutzung nicht erneuerbare Primärenergieressourcen

**PEI** Primärenergieinput

**GWP** Globales Erwärmungspotenzial

### 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 Lehmbauprodukte berechnet, die im *Trockendosierverfahren* hergestellt werden (Tab. C.5.3). 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 Treibhausgaspotenzial beträgt 6,63E-02 kg CO<sub>2</sub> Äq. / kg Trockenlehm. Hinzu kommt der „ökologische Rucksack“ für die Trocknung von Sand mit 5,58E-01 MJ/kg und 2,62E-03 kg CO<sub>2</sub> Äq. / kg.

Bei der unterstellten durchschnittlichen Zusammensetzung rückgewonnener Ausgangsstoffe aus alten LPM 01-03 (Tab. 2.1) reduziert sich der PEI für Trockenlehm und getrockneten Sand um 7,10E-01 MJ/kg LPM-Rezyklat. Die Treibhausgaspotenziale (GWP) sinken um 4,17E-02 kg CO<sub>2</sub> Äq. / kg LPM-Rezyklat (Tab. C.5.3). Wird der Energieeintrag und die Treibhausgaspotenziale für den Abbruch von LSM mit LPM-Anhaftungen (C1) und die Aufbereitung durch Zerkleinerungsmühlen (C3; *nur technischer Aufwand ohne die bilanzielle Gegenbuchung des biogenen CO<sub>2</sub> aus IM A1*) gegengerechnet, reduziert sich der Nettoeffekt der Substitution in Szenario D3 für den Energieinput und auch für das Treibhausgaspotenzial < 1 %.

Tab. C.5.3 IM D3 Wiederverwertung von LPM-Rezyklat im Trockendosierverfahren

LPM 01-03 nach Tab. 2.1 – Modul D2 Wiederverwertung 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 <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>	kg CO <sub>2</sub> Äq.
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	<b>C1</b>	2,18E-05	3,32E-03	<b>3,34E-03</b>	<b>3,24E-05</b>
	Abfallaufbereitung, Trockenverfahren	<b>C3</b>	1,25E-05	1,91E-03	<b>1,92E-03</b>	<b>1,86E-05</b>
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung als LPM, Trockendosier- verfahren	<b>D3</b>	-1,71E-02	-6,93E-01	<b>-7,10E-01</b>	<b>-4,17E-02</b>
Netto-Rückgewinnungspotenzial	Wiederverwertung als LPM, Trockendosier- verfahren	<b>D3 +C1+C3</b>	-1,71E-02	-6,87E-01	<b>-7,04E-01</b>	<b>-4,16E-02</b>

**PERT** Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen (

**PENRT** Gesamtnutzung nicht erneuerb. Primärenergieressourcen

**PEI** Primärenergieinput

**GWP** Globales Erwärmungspotenzial

## TEIL D TABELLENANHANG

Im *Abs. D* werden die Input-, Wirkungs- und Outputfaktoren für die nach dem Solartrocknungsverfahren hergestellten LPM 01 – 03 (*Tab. 2.1*) tabellarisch dargestellt.

### D.1 Inputfaktoren

Im *Abs. D.1* werden in den *Tab. D.1.1 – D.1. 3* die Inputfaktoren für die LPM 01 – 03 tabellarisch dargestellt.

Tab. D.1.1 LPM 01: UP 2, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
LPM 01: Levita UP 2 - Solartrocknungsverfahren												
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H <sub>u</sub>	kg	MJ H <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>						
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	2,44E-02	1,73E-02	4,16E-02	4,56E-02	1,51E-04	4,57E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,12E-05
	Transport	A2	3,02E-03	0,00E+00	3,02E-03	4,52E-02	0,00E+00	4,52E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,69E-06
	Herstellung	A3	7,51E-02	0,00E+00	7,51E-02	2,62E-02	0,00E+00	2,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,82E-05
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,03E-01	1,73E-02	1,20E-01	1,17E-01	1,51E-04	1,17E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,20E-05
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--						
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB						
Nutzungsstadium	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--						
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--						
	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
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-7,78E-03	0,00E+00	-7,78E-03	-3,49E-02	0,00E+00	-3,49E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-6,04E-06
	Wiederverwertung LPM, Nachtrocknungsverfahren	D2	-8,27E-03	0,00E+00	-8,27E-03	-8,26E-01	0,00E+00	-8,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,30E-05
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-1,71E-02	0,00E+00	-1,71E-02	-6,93E-01	0,00E+00	-6,93E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,00E-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 2 LPM 02: OP 1, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
LPM 02: Levita OP 1 - Solartrocknungsverfahren												
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H <sub>u</sub>	kg	MJ H <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>						
Produkt-stadium	Ausgangsstoffe	A1	3,21E-02	3,46E-02	6,67E-02	2,47E-01	0,00E+00	2,47E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,19E-04
	Transport	A2	2,13E-03	0,00E+00	2,13E-03	3,19E-02	0,00E+00	3,19E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,90E-06
	Herstellung	A3	7,51E-02	0,00E+00	7,51E-02	2,62E-02	0,00E+00	2,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,82E-05
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,09E-01	3,46E-02	1,44E-01	3,06E-01	0,00E+00	3,06E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,39E-04
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	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,89E-05
	Wiederverwertung LPM, Nachrocknungsverfahren	D2	-8,27E-03	0,00E+00	-8,27E-03	-8,26E-01	0,00E+00	-8,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,30E-05
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-1,71E-02	0,00E+00	-1,71E-02	-6,93E-01	0,00E+00	-6,93E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,00E-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.1.3 LPM 03: Uni 1.8, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
LPM 03: Levita Uni 1.8 - Solartrocknungsverfahren												
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H <sub>u</sub>	kg	MJ H <sub>u</sub>	MJ H <sub>u</sub>						
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	6,10E-02	5,76E-02	1,19E-01	7,53E-02	3,78E-06	7,53E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,22E-05
	Transport	A2	5,27E-03	0,00E+00	5,26E-03	7,87E-02	0,00E+00	7,87E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,68E-06
	Herstellung	A3	7,51E-02	0,00E+00	7,51E-02	2,62E-02	0,00E+00	2,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,82E-05
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,41E-01	5,76E-02	1,99E-01	1,80E-01	3,78E-06	1,80E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,50E-05
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--						
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB						
Nutzungsstadium	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--						
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--						
	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
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-3,05E-03	0,00E+00	-3,05E-03	-1,32E-01	0,00E+00	-1,32E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,89E-05
	Wiederverwertung LPM, Nachtrocknungsverfahren	D2	-8,27E-03	0,00E+00	-8,27E-03	-8,26E-01	0,00E+00	-8,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,30E-05
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-1,71E-02	0,00E+00	-1,71E-02	-6,93E-01	0,00E+00	-6,93E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,00E-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 Umweltwirkungsfaktoren

Im Abs. D.2 werden in den Tab. D. 2.1 – D. 2.3 die Wirkungsfaktoren für die LPM 01 – 03 tabellarisch dargestellt. In IM C3 wird das in IM A1 gebundene biogene CO<sub>2</sub> bilanziell neutralisiert, die tatsächlichen quantitativen Wirkungsfaktoren des Aufbereitungsverfahrens weichen davon ab (Abs. C4 u. C.5).

Tab. D.2.1 LPM 01: UP 2, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
LPM 01: Levita UP 2 - Solartrocknungsverfahren															
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 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CFC-11 Äq.	kg NMVOC Äq.	Mole of H+ Äq.	Mole of N Äq.	kg P Äq.	kg N Äq.	m³ world Äq.	kg Sb Äq.	MJ Hu Äq.
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	-3,48E-03	-6,88E-03	1,82E-03	1,58E-03	1,09E-04	1,01E-05	2,36E-03	4,62E-05	6,20E-06	4,23E-06	1,49E-04	3,39E-07	3,17E-02
	Transport	A2	3,28E-03	-1,08E-05	1,94E-05	3,27E-03	4,06E-13	1,36E-06	1,10E-05	5,76E-05	7,64E-06	5,14E-06	1,70E-05	2,34E-07	4,41E-02
	Herstellung	A3	3,63E-04	2,31E-06	9,85E-08	3,61E-04	4,14E-10	9,15E-07	1,20E-06	2,47E-06	5,84E-07	2,29E-07	4,78E-05	5,98E-07	2,62E-02
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,63E-04	-6,89E-03	1,84E-03	5,21E-03	1,09E-04	1,24E-05	2,37E-03	1,06E-04	1,44E-05	9,59E-06	2,13E-04	1,17E-06	1,02E-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--
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	6,90E-03	6,88E-03	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	-2,52E-03	-1,79E-06	-1,66E-03	-8,59E-04	-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	-4,17E-02	-8,24E-05	-8,53E-06	-4,16E-02	-1,95E-11	-3,75E-05	-3,11E-05	-1,54E-04	-1,10E-05	-1,39E-05	-2,14E-04	-6,16E-07	-6,93E-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

Tab. D.2.2 LPM 02: OP 1, Solar Trocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
LPM 02: Levita OP 1 - Solar Trocknungsverfahren															
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 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CFC-11 Äq.	kg NMVOC Äq.	Mole of H+ Äq.	Mole of N Äq.	kg P Äq.	kg N Äq.	m³ world Äq.	kg Sb Äq.	MJ H <sub>u</sub> Äq.
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	1,17E-02	2,31E-06	9,85E-08	3,61E-04	4,14E-10	9,15E-07	1,20E-06	2,47E-06	5,84E-07	2,29E-07	4,78E-05	5,98E-07	2,62E-02
	Transport	A2	2,29E-03	-7,50E-06	1,35E-05	2,28E-03	2,83E-13	9,45E-07	7,66E-06	4,01E-05	5,32E-06	3,58E-06	1,18E-05	1,63E-07	3,07E-02
	Herstellung	A3	3,63E-04	2,31E-06	9,85E-08	3,61E-04	4,14E-10	9,15E-07	1,20E-06	2,47E-06	5,84E-07	2,29E-07	4,78E-05	5,98E-07	2,62E-02
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,43E-02	-2,89E-06	1,37E-05	3,00E-03	8,28E-10	2,77E-06	1,01E-05	4,51E-05	6,49E-06	4,04E-06	1,07E-04	1,36E-06	8,30E-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	1,63E-05	-2,08E-06	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	-2,52E-03	-1,79E-06	-1,66E-03	-8,59E-04	-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	-4,17E-02	-8,24E-05	-8,53E-06	-4,16E-02	-1,95E-11	-3,75E-05	-3,11E-05	-1,54E-04	-1,10E-05	-1,39E-05	-2,14E-04	-6,16E-07	-6,93E-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

Tab. D.2.3 LPM 03: Uni 1.8, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
LPM 03: Levita Uni 1.8 - Solartrocknungsverfahren															
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 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CO2 Äq.	kg CFC-11 Äq.	kg NMVOC Äq.	Mole of H+ Äq.	Mole of N Äq.	kg P Äq.	kg N Äq.	m³ world Äq.	kg Sb Äq.	MJ H <sub>2</sub> Äq.
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	-4,00E-05	-5,15E-03	1,80E-03	3,31E-03	1,05E-04	1,81E-05	8,37E-05	7,46E-05	6,25E-06	7,17E-06	3,88E-04	7,14E-07	6,26E-02
	Transport	A2	5,77E-03	-1,89E-05	3,41E-05	5,76E-03	7,15E-13	2,39E-06	1,94E-05	1,01E-04	1,34E-05	9,04E-06	2,99E-05	4,11E-07	7,75E-02
	Herstellung	A3	3,63E-04	2,31E-06	9,85E-08	3,61E-04	4,14E-10	9,15E-07	1,20E-06	2,47E-06	5,84E-07	2,29E-07	4,78E-05	5,98E-07	2,62E-02
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	6,09E-03	-5,17E-03	1,83E-03	9,43E-03	1,05E-04	2,14E-05	1,04E-04	1,78E-04	2,03E-05	1,64E-05	4,65E-04	1,72E-06	1,66E-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	5,17E-03	5,15E-03	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
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-2,52E-03	-1,79E-06	-1,66E-03	-8,59E-04	-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	-4,17E-02	-8,24E-05	-8,53E-06	-4,16E-02	-1,95E-11	-3,75E-05	-3,11E-05	-1,54E-04	-1,10E-05	-1,39E-05	-2,14E-04	-6,16E-07	-6,93E-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

Im Abs. D.3 werden in den Tab. D. 3.1 – D. 3.3 die Outputfaktoren für die LPM 01 – 03 tabellarisch dargestellt. Die Stromeinspeisung aus der werkseigenen PV-Anlage wird in IM A3 als EEE / kg LPM ausgewiesen.

In IM C3 wird das in IM C1 rückgebaute Abbruchmaterial mit einem Masseverlust von 5 % aufbereitet und für die Szenarien D1 – D3 zur Wiederverwertung (CRU) bereitgestellt (Abs. 9.1 u. B.5).

Tab. D.3.1 LPM 01: UP 2, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
LPM 01: Levita UP 2 - Solartrocknungsverfahren										
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	8,28E-06	1,60E-02	1,23E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	7,44E-11	6,61E-06	5,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	5,95E-11	2,64E-05	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-02	0,00E+00
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	8,28E-06	1,61E-02	3,70E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-02	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	3,18E-12	2,08E-07	1,75E-09	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-8,38E-06	-1,46E-02	-8,12E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Nachtrocknungsverfahren	D2	-2,03E-05	-4,87E-03	-1,20E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-7,78E-08	-1,61E-02	-1,21E-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.3.2 LPM 02: OP 1, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
LPM 02: Levita OP 1 - Solartrocknungsverfahren										
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	1,07E-05	1,56E-02	8,11E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	1,76E-10	1,57E-05	1,38E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	5,95E-11	2,64E-05	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-02	0,00E+00
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	1,07E-05	1,57E-02	3,37E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-02	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	3,18E-12	2,08E-07	1,75E-09	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-8,38E-06	-1,46E-02	-8,12E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Nachtrocknungsverfahren	D2	-2,03E-05	-4,87E-03	-1,20E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-7,78E-08	-1,61E-02	-1,21E-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.3.3 LPM 03: Uni 1.8, Solartrocknungsverfahren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
LPM 03: Levita Uni 1.8 - Solartrocknungsverfahren										
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	8,88E-06	1,59E-02	2,04E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	1,31E-10	1,16E-05	1,02E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	5,95E-11	2,64E-05	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-02	0,00E+00
	Summe (cradle to gate)	A1-A3	8,88E-06	1,59E-02	4,56E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-02	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	3,18E-12	2,08E-07	1,75E-09	9,50E-01	9,50E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LPM, Erdfeuchtverfahren	D1	-8,38E-06	-1,46E-02	-8,12E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Nachtrocknungsverfahren	D2	-2,03E-05	-4,87E-03	-1,20E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung LPM, Trockendosierverfahren	D3	-7,78E-08	-1,61E-02	-1,21E-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 / LITERATURQUELLEN

- DIN 4102-1:1998-05: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*
- 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: *Lehmabstoffe und Lehmabbauprodukte – Teil 1: Begriffe*
- DIN 18942-100:2024-03: *Lehmabstoffe und Lehmabbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*
- DIN 18947:2023-12: *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*
- DIN EN 12620(E):2015-07: *Gesteinskörnungen für Beton (zurückgezogen)*
- DIN EN 13139 (E):2015-07: *Gesteinskörnungen für Mörtel (zurückgezogen)*
- DIN EN 13501-1:2010-01: *Klassifizierung von Bauprodukten und 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 16516:2018-01: *Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft*
- DIN EN 16485:2014-07: *Rund- u. Schnittholz – UPD – PKR für Holz- u. Holzwerkstoffe im Bauwesen*
- 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*
- 1 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmabstoffe – Allgemeine Regeln für die Erstellung von Typ III Umweltproduktdeklarationen (Teil 2)*. Weimar: 2022-06
  - 2 Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): *Lehmabbauregeln - 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 Lehmabstoffe – 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 Lehmabstoffe – 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 Lehmabbauregeln, TM 01. Weimar:2014-06, 2. Aufl.
  - 7 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmabstoffe – Richtlinie*. Technische Merkblätter Lehmabbauregeln, 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 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 Natureplus e. V. (Hrsg.): *Vergaberichtlinie 0803 zur Vergabe des Qualitätszeichens. Lehmputzmörtel*. Neckargemünd 2015-04
- 13 Sommerfeld, M.: *Umweltproduktdeklaration von Lehmbaustoffen – Ermittlung des Rückgewinnungspotenzials*. Unveröff. Diplomarbeit, FH Potsdam, FB Bauingenieurwesen, Potsdam 2019
- 14 FH Potsdam: *Symposium Baustoffrecycling & Lehmbaustoffe – Perspektiven für eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen*. Potsdam August 2022
- 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 Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) (Hrsg.): *Umweltproduktdeklaration UPD für Baustroh nach DIN EN ISO 14025 u. DIN EN 15804*. Wien 2014
- 19 Bundesinstitut f. Bau-, Stadt- u. Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): *ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung*. SR Zukunft Bauen | Forschung für die Praxis | Band 09, Bonn 2017
- 20 Umweltbundesamt: *ProBas – Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme*, 2015-02
- 21 Firoozeh Foroughi, Erfan Rezvani Ghomi et. al: *A Review on the Life Cycle Assessment of Cellulose: From Properties to the Potential of Making It a Low Carbon Material*. In: *Materials* 2021, 14, 714. <https://doi.org/10.3390/ma14040714>