gefördert durch DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Dachverband Lehm e.V.

# Umwelt-Produktdeklaration

**nach ISO 14025 und EN 15804**

**Egginger Naturbaustoffe GmbH**

# Lehmputzmörtel Levita UP2

| | |
|---|---|
| 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_EGG2018001_PKR04-DE |
| Ausstellungsdatum | 23.10.2018 |
| Gültig bis | 22.10.2023 |

upd.dachverband-lehm.de

## Umwelt-Produktdeklaration – Allgemeine Angaben

**Programmbetreiber**

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

**Deklarationsnummer**

UPD_LPM_EGG2018001_PKR04-DE

**Deklarationsbasis**

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (PKR LPM)
Version Ü4_2018_03_10
(durch das unabhängige Prüfgremium nach DIN EN 14025 geprüft und zugelassen)

**Ersteller der Ökobilanz**

Dipl-Ök. Manfred Lemke
Westerstrasse 40
26506 Norden
Deutschland

**Ausstellungsdatum**

23.10.2018

**Gültigkeitsdauer**

22.10.2023

**Deklarationsinhaber**

Egginger Naturbaustoffe GmbH
Steinhiebl 2, 94094 Malching
Deutschland

**Deklariertes Bauprodukt / Deklarierte Einheit**

Die Umweltproduktdeklaration (UPD) für den Lehmputzmörtel nach DIN 18947 mit der Bezeichnung *Levita UP2* wurde nach der Muster UPD des Dachverbandes Lehm e.V. (DVL) UPD_LPM_DVL2018001_PKR04 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 der Herstellung des Lehmputzmörtel *Levita UP2* nach dem in der Muster UPD analysierten *passivem Solartrocknungsverfahren* ab. Bezugsjahr ist das Jahr 2017. Diese Ökobilanz beruht auf Daten zu Energie- und Stoffströmen des Lehmputzmörtelwerkes in Ering am Inn.
Eine Haftung des Dachverbandes Lehm e.V. in Bezug auf dieser UPD zugrunde liegende Herstellerinformationen ist ausgeschlossen.

**Verifizierung**

Die Europäische Norm EN 15804 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)

Prof. Dr. Klaus Pistol
Prüfgremium

Prof. Jens-Uwe Schulz, Detmold
Verifizierer 1

Dr.-Ing. Horst Schroeder, Weimar
Verifizierer 2

# Inhalt


1 Allgemeines....6
2 Produktdefinition....7
2.1 Geltungsbereich....7
2.2 Produktdefinition....7
2.3 Anwendung....7
2.4 Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln....7
2.5 Gütesicherung....8
2.6 Lieferzustand....8
2.7 Bautechnische Eigenschaften....8
2.8 Brandschutz....8
2.9 Sonstige Eigenschaften....8
3 Grundstoffe....9
3.1 Grundstoffe / Vorprodukte....9
3.2 Stofferläuterung....9
3.3 Rohstoffgewinnung und Stoffherkunft....10
3.4 Verfügbarkeit der Rohstoffe....10
4 Produktherstellung....10
4. 1 Passive Solartrocknung (Treibhaustrocknung)....10
4.2 Gesundheits- und Arbeitsschutz Herstellung....11
4.3 Umweltschutz Herstellung....11
5 Produktverarbeitung....12
5.1 Verarbeitungsempfehlungen....12
5.2 Arbeitsschutz / Umweltschutz....12
5.3 Restmaterial....12
5.4 Verpackung....12
6 Nutzungszustand....13
6.1 Inhaltsstoffe....13
6.2 Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit....13
6.3 Beständigkeit / Nutzungsdauer....13
7 Außergewöhnliche Einwirkungen....14
7.1 Brand....14
7.2 Hochwasser....14
8 Nachnutzungsphase....14
8.1 Wieder- und Weiterverwendung / Wieder- und Weiterverwertung....14

8.2 Entsorgung ..... 14
9 ÖKOBILANZ ..... 15
9.1 Ziele der Analyse ..... 15
9.2 Zielgruppen der Analyse ..... 15
9.3 Systembeschreibung ..... 15
9.3.1 Funktionelle Einheit ..... 16
9.3.2 Betrachtungszeitraum ..... 16
9.3.3 Referenznutzungsdauer ..... 16
9.4 Systemgrenzen ..... 16
9.5 Abschneidekriterium, Annahmen und Abschätzungen ..... 18
9.6 Transporte ..... 19
9.7 Hintergrunddaten ..... 19
9.8 Datenqualität ..... 19
9.9 Allokation ..... 19
9.10 Verwertung von Abfällen und Verpackungen ..... 19
10 Hinweise zur Nutzungsphase ..... 19
11 Nachweise ..... 20
11.1 Produkt-Erstprüfung nach DIN 18942-100 ..... 20
11.2 Radioaktivität ..... 20
Teil A SACHBILANZ ..... 21
A.1 Darstellung der Bilanzen und Auswertung ..... 21
A.1.1 Ressourceneinsatz ..... 21
A.2 Umweltwirkungen ..... 21
A.2.1 Gebundenes $CO_2$ in Pflanzenanteilen ..... 22
A.2.2 $CO_2$-Gutschriften für Verpackungen ..... 22
A.3 Andere Umweltinformationen (Abfälle, Output-Stoffflüsse) ..... 22
A.4 Transporte ..... 23
A.5 Aufbereitung und Wiederverwertungspotenzial ..... 23
Teil B Interpretation der Primärenergiebilanz und Wirkungsanalyse ..... 25
B.1 Ressourceneinsatz ..... 25
B.2 Beitrag zur globalen Klimaerwärmung GWP ..... 26
B.3 Abbaupotenzial des troposphärischen Ozons POCP ..... 27
B.4 Abiotisches Abbaupotenzial ADPE und ADPF ..... 28
B.5 Versauerungspotenzial AP ..... 29
B.6 Zusammenfassung: Passives Solartrocknungsverfahren ..... 30

Zitierte Standards / Literaturhinweise .....31

# 1 Allgemeines

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

Produktkategorieregel (PKR) Lehmputzmörtel (LPM) : 2018 des Programmbetreibers DVL e. V.

DIN EN 15804: 2018, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*

DIN EN ISO 14025: 2011, *Umweltkennzeichnungen und –deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen, Grundsätze und Verfahren*

DIN EN ISO 14040: 2009 , *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen*

DIN EN ISO 14044:2018, *Umweltmanagement – Ökobilanz –Anforderungen und Anleitungen.*

CEN ISO /TS 14071:2016, *Umweltmanagement - Ökobilanz - Prozesse der Kritischen Prüfung und Kompetenzen der Prüfer: Zusätzliche Anforderungen und Anleitungen zu ISO 14044:2006*

Version Ü6

Weimar, d. 23. Oktober 2018

Nachverfolgung der Versionen:

| **Version** | **Kommentar** | **Stand** |
|---|---|---|
| Ü1 | Erster Entwurf mit Datenerhebung | 08.07.2018 |
| Ü2 | Überarbeiteter Entwurf mit Datenerhebung und –auswertung | 19.07.2018 |
| Ü3 | Überarbeitung | 24.07. 2018 |
| Ü4 | Überarbeitung | 26.07.2018 |
| Ü5 | Endfassung | 21.09.2018 |
| Ü6 | Verifizierung | 12.10.2018 |

# 2 Produktdefinition

## 2.1 Geltungsbereich

Diese Umweltproduktdeklaration (UPD) basiert auf der Musterdeklaration des Dachverbandes Lehm e. V. (DVL) für Lehmputzmörtel (LPM) mit der Deklarationsnummer UPD_LPM_DVL2018001_PKR04-DE. Diese Muster-UPD gilt für normierte Lehmputzmörtel, die nach einem der deklarierten Verfahren hergestellt werden.

Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung

| Nr. | Hersteller | Werksanschrift | Verfahrensart | Produktbezeichnung |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Egginger Naturbaustoffe GmbH | 94094 Malching | Passive Solartrocknung | Levita UP2 |

Das deklarierte Produkt *(Tab. 2.1)* ist ein nicht stabilisierter, mineralischer Lehmputzmörtel mit Tonmineralien als alleinigem Bindemittel und Pflanzenteilen nach DIN 18947:2018, hergestellt nach dem in der Muster-UPD untersuchten passiven Solartrocknungsverfahren.

## 2.2 Produktdefinition

Die Ausgangsmischung für Lehmputzmörtel (LPM) nach DIN 18947 besteht aus Baulehm, mineralischen und pflanzlichen Zusatzstoffen sowie Wasser. Die Erhärtung des LPM erfolgt durch Verdunstung des Anmachwassers. Erhärteter LPM nach DIN 18947 kann durch Wasserzugabe replastifiziert werden.

Die Musterdeklaration unterscheidet zwei produktspezifische, branchentypische Verfahren zur werksmäßigen Herstellung von LPM:

- ungetrocknete LPM, die im erdfeuchten Zustand hergestellt werden (*Erdfeuchtverfahren*),

- getrocknete LPM, die technisch getrocknet oder ausschließlich mit vorgetrockneten Ausgangsstoffen hergestellt werden (*Trockenverfahren*).

Diese Deklaration bezieht sich ein Trockenverfahren.

## 2.3 Anwendung

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

Die Auftragsdicken von LPM entsprechend dieser UPD sind 5 – 30 mm je nach Anwendungsfall. Dabei bilden *Lehmunterputze* die untere(n) Lage(n) eines mehrschichtigen Putzaufbaus mit bis zu 30 mm pro Lage, *Lehmoberputze* mit mindestens 5 mm die obere Lage eines Putzaufbaus.

## 2.4 Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln

• DIN 18942-1:2018-12, *Lehmbaustoffe – Teil 1: Begriffe*

• DIN 18942-100:2018-12, *Lehmbaustoffe –Teil 100: Konformitätsnachweis*

• DIN 18947:2018-12, *Lehmputzmörtel – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren*

• DIN 18550-2:2015-06, *Planung, Zubereitung und 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*

• Lehmbau Regeln des Dachverbandes Lehm e. V. (LR DVL),

• TM 01 DVL Anforderungen an Lehmputz als Bauteil

• Arbeitsblätter des Herstellers.

## 2.5 Gütesicherung

Die Eigen- und Fremdüberwachung des Herstellungsprozesses erfolgt nach DIN 18942-100.

## 2.6 Lieferzustand

Die deklarierten LPM sind fertige Gemische der Ausgangsstoffe, denen bei der Aufbereitung auf der Baustelle nur noch Wasser zugesetzt wird, um eine verarbeitungsfähige Konsistenz zu erreichen. Alle LPM sollen in trockener Umgebung und frostfrei gelagert werden.

*Getrocknete* LPM (Trockenverfahren) werden in geschlossenen Papiersäcken, Eimern oder Großbehältern verpackt, transportiert, gelagert und zu den Baustellen geliefert. Getrocknete LPM sind unbegrenzt lagerfähig.

## 2.7 Bautechnische Eigenschaften

*Tab. 2.2* zeigt Durchschnittswerte / Bandbreiten der bautechnischen Eigenschaften nach den Angaben des deklarierten LPM.

Tab. 2.2 Bautechnische Eigenschaften des deklarierten Produktes *Levita UP 2*

| Nr. | Eigenschaft / Prüfung | Werte | Einheiten |
|---|---|---|---|
| 1 | Rohdichte nach DIN 18947, Tab. 2 | 1.855 | kg/m$^3$ |
| 2 | Festigkeiten n. DIN 18947<br>• Biegezugfestigkeit, Abs. 8.7<br>• Druckfestigkeit, Abs. 8.7<br>• Haftfestigkeit, Abs. 8.8 | <br>0,9<br>1,8<br>0,1 | <br>N/mm$^2$<br>N/mm$^2$<br>N/mm$^2$ |
| 3 | Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ / Rechenwerte LR Tab. 5-3 | 0,91 -1,1 | W/mK |
| 4 | Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ / LR Tab. 5-5 | 5/10 | - |
| 5 | lineares Trocknungsschwindmaß (≤ 2 %, faserbewehrte LPM ≤ 3 %) / DIN 18947, Abs. 8.6 | 1,1 | % |
| 7 | Aktivitätskonzentrationsindex natürlicher Radionuklide / DIN 18947, A3 | I = 0,2 | - |
| 8 | Wasserdampfadsorptionsklasse / DIN 18947, Tab. A1 | III | g/m² |

## 2.8 Brandschutz

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

LPM ohne bzw. mit einem Gehalt ≤ 1 M.-% an homogen verteilten organischen Zusatzstoffen erfüllen die Anforderungen der Baustoffklasse A1 (nicht brennbar) gemäß DIN 4102-4. LPM mit einem Gehalt von >1 M.-% an organischen Zusatzstoffen werden nach Prüfung der Baustoffklasse B gemäß DIN 4102-4 zugeordnet. Das deklarierte Produkt *Levita UP2* ist der Klasse A1 zugeordnet.

Unabhängig von der Bauproduktklassifizierung erwiesen sich LPM aus mineralischen Inhaltsstoffen als Beschichtung bzw. Abkapselung, z. B. auf Holz oder Strohdämmung, unter Brandtemperatureinwirkung als günstig auf das Brandverhalten des Bauteils [Liblik et.al. 2018; Küppers et.al. 2015].

## 2.9 Sonstige Eigenschaften

LPM nach DIN 18947 können nach Erhärtung durch Wässerung jederzeit replastifiziert und ggf. einer Wiederverwertung zugeführt werden.

Der Gesamtgehalt an bauschädlichen Salzen ist < 0,12 M.-%.

# 3 Grundstoffe

## 3.1 Grundstoffe / Vorprodukte

*Tab. 3.1* zeigt die Anteile der Grund- und Zusatzstoffe des deklarierten LPM.

Tab. 3.1 Anteile der Grund- und Zusatzstoffe

| **Nr.** | **Grund- und Zusatzstoffe** [M.-%] | ***LPM Levita UP2*** |
|---|---|---|
| | | Passive Solartrocknung (Treibhaustrocknung) |
| 1 | Grubenlehm | 30 |
| 2 | Grubenlehm (als Sekundärrohstoff) | - |
| 3 | Trockenlehm | - |
| 4 | Sand 0-2, ungetrocknet | 69,5 |
| 5 | Sand 0-4; getrocknet | - |
| 6 | Sand 0-4; ungetrocknet | - |
| 7 | Pflanzenteile/-fasern | 0,5 |

Abweichungen ergeben sich durch unterschiedliche Masseverhältnisse zwischen Lehm und mineralischen Zusatzstoffen (Sandkörnungen). In den untersuchten Trockenverfahren verwenden die Hersteller unterschiedliche Sandkörnungen, z. B. 0/2 oder 0/4. Die Abweichungen in den Masseverhältnissen und unterschiedliche Körnungen haben keine signifikante Auswirkung auf die Ökobilanz.

Die Pflanzenanteile in dem bilanzierten Produkt sind Strohfasern.

## 3.2 Stofferläuterung

*Baulehm* gemäß LR DVL ist zur Herstellung von Lehmbaustoffen geeigneter Lehm, bestehend aus einem Gemisch aus schluffigen, sandigen bis kiesigen Bestandteilen und bindekräftigen Tonmineralien. Baulehm wird unterschieden nach Grubenlehm, Trockenlehm / Tonmehl und Recyclinglehm.

*Grubenlehm* ist ein natürlicher, geologisch „gewachsener" Primärrohstoff mit unterschiedlicher, schwankender mineralogischer Zusammensetzung ($SiO_2$, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$, $CaCO_3$), wodurch je nach Lehmvorkommen unterschiedliche plastische Eigenschaften während der Aufbereitung und Verarbeitung (mager / fett) sowie Farben des Endprodukts entstehen können.

*Trockenlehm* ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm.

*Tonmehl* ist natürlicher, getrockneter, ggf. gemahlener Ton, der zur Erhöhung der Bindekraft von mageren Baulehmen verwendet werden kann.

*Recyclinglehm* ist trocken zerkleinerter Lehmbaustoff, der sortenrein aus Abbruchbauteilen gewonnen wurde. Er kann durch Zugabe von Wasser replastifiziert und als Baulehm im Produktionsprozess weiterverwertet werden.

Durch *mineralische Zusatzstoffe* können die bauphysikalischen (Trockenrohdichte, Wärmeleitung, Trocknungsschwindmaß) und die baumechanischen (Festigkeit) Eigenschaften des Endprodukts, vor allem aber die plastischen Eigenschaften des Baulehms beeinflusst werden. Bei den deklarierten LPM werden unterschiedliche Sande als mineralische Leichtzuschläge verwendet.

*Sande* sind natürliche Gesteinskörnungen (DIN EN 12620 / DIN EN 13139) mit dem Hauptmineral Quarz sowie natürlichen Neben- und Spurenmineralien. Natürliche Sandkörnungen sind Bestandteile geologisch „gewachsener" Strukturen und können problemlos in geogene Kreisläufe zurückgeführt werden.

*Pflanzenteile und -fasern* sind z. B. Hanf, Flachs, Strohhäcksel, Sisal ohne relevante Rückstände aus Herbiziden, sowie zerkleinertes, chemisch unbehandeltes Holz (keine Holzwerkstoffe). Die Pflanzenteile und –fasern werden mechanisch zerkleinert. Durch organische Zusatzstoffe können die bauphysikalischen Eigenschaften (Trockenrohdichte, Schwindmaß) des Endprodukts beeinflusst werden. Fa-

serartige Zusatzstoffe wirken einer Rissbildung des LPM bei Austrocknung / Erhärtung entgegen. Natürliche organische Zusatzstoffe sind biologisch abbaubar / kompostierbar und können problemlos in biogene Kreisläufe zurückgeführt werden. Sie werden dabei durch Bakterien und Pilze unter Energiefreisetzung wieder vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser umgebaut.

***Wasser*** ist „Anmachwasser" und zum Erreichen der geeigneten Verarbeitungskonsistenz des LPM grundsätzlich notwendig. Durch Verdunstung des Anmachwassers erhärtet der LPM und erreicht seine vorgesehenen Produkteigenschaften. Erhärteter LPM kann durch Wasserzugabe replastifiziert werden.

## 3.3 Rohstoffgewinnung und Stoffherkunft

Der Grubenlehm stammt aus einer Tongrube. 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).

Die verwendeten pflanzlichen Zusatzstoffe sind landwirtschaftliche Nebenprodukte (hier: Stroh).

Für die Eignungsprüfung von Baulehm gelten die LR DVL sowie auf freiwilliger Basis das TM 05 DVL. Bei erheblichen Schwankungen der Qualität der Lehmbauprodukte kann durch die Zertifizierungsstelle für Lehmbauprodukte die Anwendung des TM 05 DVL angeordnet werden. Eine Untersuchung auf natürliche Radionuklide erfolgt entsprechend DIN 18947, Anhang A.3.

## 3.4 Verfügbarkeit der Rohstoffe

Alle mineralischen Rohstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit als „geologisch gewachsene" Naturstoffe generell begrenzt (Parameter „ADPE" gem. DIN EN 15804 bei der Wirkungsabschätzung). Bei lokalen Erdarbeiten (z. B. Kies-, Sandgewinnung; Kalkabbau, Tiefbau) anfallender, geeigneter lehmhaltiger Bodenaushub wird als Sekundärrohstoff für einen überwiegenden Teil der in dieser Deklaration erfassten LPM verarbeitet.

Aufgrund der besonderen Eigenschaften des Bindemittels Lehm ist eine Replastifizierung und Wiederverwertung der LPM jederzeit möglich. Eine Rohstoffknappheit besteht nicht.

Bodenaushub bildet mit 128 Mio t/a den größten Teil (64 %) der gesamten mineralischen Bauabfälle in Deutschland (UBA 2013). Die Weiterverwertung von lehmhaltigem Bodenaushub als Sekundärrohstoff für LPM und andere Lehmbaustoffe spart Deponieraum und verlängert die Verfügbarkeit von Primärrohstoffen.

Die Pflanzenteile bzw. -fasern sind nachwachsende Rohstoffe.

# 4 Produktherstellung

Die verwendeten Rezepturen werden den jeweiligen Rohstoffeigenschaften angepasst und variieren innerhalb der in *Tab. 3.1* angegebenen Bereiche. Weitere Stoffe sind nicht enthalten.

Der Herstellungsprozess des deklarierten LPM *Levita UP2* nach DIN 18947 entspricht dem analysierten *passivem Solartrocknungsverfahren* der Muster-UPD des Dachverbandes Lehm e.V. vom Oktober 2018 (UPD_LPM_DVL2018001_PKR04-DE).

## 4. 1 Passive Solartrocknung (Treibhaustrocknung)

Grubenlehm, der aus einer Grube nahe dem Herstellerwerk entnommen wird, ungetrocknete Sande und Pflanzenfasern werden angeliefert und in einer „gläsernen Halle" ähnlich einem Gewächshaus durch Ausnutzung des passiven Solarenergieeintrages mit automatisierter Luftventilation getrocknet. Um eine gleichmäßige Trocknung der Massen zu erzielen, erfolgt eine regelmäßige Umwälzung der Sand/Lehmgemische mit einem automatisch gesteuerten Wenderoboter (Schaufelroboter).

*Bild 1* zeigt ein Schema für die Herstellung von LPM unter Verwendung solar getrockneter Rohstoffe (Stand: August 2018)

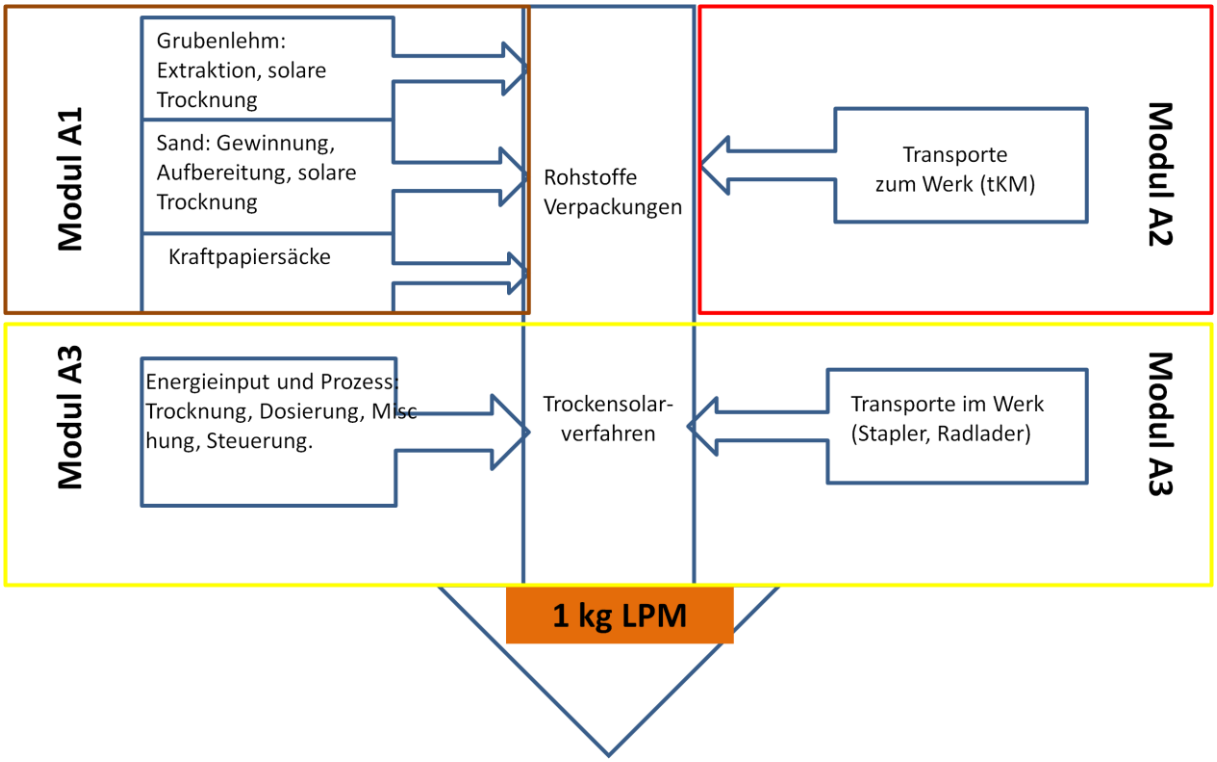



Bild 1 Schema für die Herstellung von LPM unter Verwendung solar getrockneter Rohstoffe

## 4.2 Gesundheits- und Arbeitsschutz Herstellung

Staubemissionen von pflanzlichen oder mineralischen Zusatzstoffen während des Produktionsprozesses werden durch Filter begrenzt. Ausgefilterte Zusatzstoffe werden wieder verwendet. Die Grenzwerte werden eingehalten.

## 4.3 Umweltschutz Herstellung

*Abfall*

Stand der Technik ist die vollständige Wiederverwendung aller mineralischen Abfälle während des Produktionsprozesses. Wiederverwendbare Abfälle sind beispielsweise abgesiebtes Überkorn und Reste bei Produktwechseln auf derselben Anlage. Zusätzlich entstehen Verpackungsabfälle durch defekte Großgebinde aus dem eigenen Rückführungssystem (Pfand).

*Wasser / Boden*

Belastungen von Wasser / Boden entstehen nicht. Die erfassten und beschriebenen Herstellungsverfahren arbeiten abwasserfrei.

*Lärm*

Die geforderten Grenzwerte werden eingehalten.

*Luft*

Ausgefilterte Stäube von trockenen Lehmanteilen und mineralischen Zusatzstoffen werden erneut dem Herstellungsprozess zugeführt. 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

Der deklarierte LPM ist ein trocken gelieferter Lehmwerkmörtel für Putze, die verarbeitungsfertig sind und auf der Baustelle nur mit Wasser angemacht werden.

Der trocken gelieferte LPM wird i. d. R. maschinell mit üblicher Mischtechnik (Freifall- oder Zwangsmischer) aufbereitet. Die Verwendung von Silomischpumpen ist möglich. Kleinere Mengen werden mit einem Rührgerät oder manuell gemischt.

LPM werden nach DIN 18947 bzw. Lehmbauregeln des DVL aufbereitet und verarbeitet. Sie sollen nach der Aufbereitung noch eine gewisse Zeit ruhen, damit die Bindekraft der Tonminerale sich voll entfaltet. Unmittelbar vor der Verarbeitung werden sie nochmals durchgemischt.

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 kann durch Wasserzugabe wieder in die erforderliche Verarbeitungskonsistenz überführt werden.

LPM müssen nach dem Auftrag möglichst rasch 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 [TM 01 DVL] oder Herstellerangaben wird empfohlen.

Der trocken an die Baustelle gelieferter LPM muss witterungsgeschützt gelagert werden. LPM werden abfallfrei verarbeitet, indem frischer oder erhärteter Mörtel der Wiederverwendung zugeführt wird.

## 5.2 Arbeitsschutz / Umweltschutz

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

Während der Verarbeitung von LPM sind keine besonderen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu treffen.

Im Gegensatz zu alkalisch reagierenden Mörteln erzeugen LPM nach DIN 18947 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 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 Lehmfestmörtel kann durch Wasserzugabe ohne zusätzlichen Energieaufwand wieder in die entsprechende Verarbeitungskonsistenz überführt und weiter verarbeitet werden.

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

## 5.4 Verpackung

Mörtelsäcke aus ungebleichtem Kraftpapier und Großgebinde aus Kunststoffgewebe (PP) werden sortenrein als Transportverpackungen durch duale Entsorgungssysteme dem Recyclingprozess zugeführt.

# 6 Nutzungszustand

## 6.1 Inhaltsstoffe

Bei der Produktion von LPM werden ausschließlich die natürlichen Rohstoffe Baulehm, Sand, mineralische (Leicht-) und organische (pflanzliche Faser-) Zusatzstoffe nach Abs. 3 verwendet. Diese Inhaltsstoffe sind im Nutzungszustand durch die Tonmineralien des Baulehms als feste Stoffe im Bauteil gebunden. Dieser Verbund bleibt nach Erhärtung an der Luft wasserlöslich.

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

## 6.2 Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit

Der deklarierte LPM enthält keine schädlichen Stoffe in gesundheitsschädigenden Konzentrationen wie z. B. flüchtige organische Komponenten (VOC), Formaldehyd, Isocyanate usw. Entsprechende schädigende Emissionen sind deshalb auch nicht zu erwarten. LPM sind im verarbeiteten Zustand geruchsneutral.

Die Mikroporenstruktur der Tonmineralien des Baulehms ermöglicht eine rasche, besonders hohe Adsorption / Desorption von überschüssigem Wasserdampf im Innenraum. LPM auf inneren Bauteiloberflächen tragen deshalb zu einem ausgeglichenen Innenraumklima bei. LPM der beteiligten Verbandshersteller sind der Wasserdampfadsorptionsklasse WS III gemäß DIN 18947, Abs. A.1, Tab. A.1 zugeordnet.

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

Die natürliche ionisierende Strahlung des LPM ist gering und gesundheitlich unbedenklich [Ziegert 2014]. Der deklarierte LPM weist einen Aktivitätskonzentrationsindex I = 0,2 gemäß DIN 18947 auf.

## 6.3 Beständigkeit / Nutzungsdauer

Tonminerale sind nicht hydraulische Bindemittel, d. h. sie erhärten nur an der Luft und werden bei Wiederbefeuchtung erneut plastisch. Die Anwendung von 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.

Anforderungen an Lehmputz als Bauteil (Trocknung nach Putzauftrag, Weiterbehandlung / Überarbeitung, Gebrauchstauglichkeit, optische Anforderungen) sind in TM 01 DVL ergänzend zu den LR DVL festgelegt und in den Verarbeitungshinweisen der Hersteller spezifiziert.

LPM können im Nutzungszeitraum bei mechanischer Beanspruchung einen Abrieb aus Sandkörnungen aufweisen. Die Prüfung der Abriebfestigkeit durch Bestimmung der Abriebmenge wird nach DIN 18947, Abs. 8.9 vorgenommen. Die Klassifizierung der Abriebmenge erfolgt nach der Festigkeitsklasse LPM, Tab. 3. Die deklarierten LPM sind der Festigkeitsklasse S II zugeordnet.

LPM nach DIN 18947 sollen ein lineares Trocknungsschwindmaß $\leq 2$ % aufweisen, bei Faserbewehrung entsprechend 3,0 %. Der deklarierte LPM weist ein lineares Trocknungsschwindmaß von 1,1% auf. Der Risswiderstand des deklarierten LPM kann durch eine geeignete Gewebearmierung in der zugbelasteten Zone des Putzes erhöht werden (DIN 18550-2).

# 7 Außergewöhnliche Einwirkungen

## 7.1 Brand

LPM mit einem pflanzlichen Faseranteil < 1 M.-% sind der Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1 zugeordnet. Der deklarierte Lehmunterputz *Levita UP 2* ist der Baustoffklasse A1 zugeordnet.

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

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.

# 8 Nachnutzungsphase

## 8.1 Wieder- und Weiterverwendung / Wieder- und Weiterverwertung

LPM als Bauteil kann während und nach Ablauf der Nutzungsphase üblicherweise als Putzgrund für das Aufbringen eines neuen Putzes (oder einer Wärmedämmung) wiederverwendet werden. Reststoffe (Altanstriche, alte Ausbesserungen mit Gips, Zement- und Kalkmörtel) sind zu entfernen. Durch Anfeuchten und Bearbeiten der Oberfläche lassen sich die Klebkräfte des alten LPM vor Auftrag des neuen LPM aktivieren.

LPM als Bauteil können i. d. R. in einfacher Weise zurückgebaut werden. Bewehrungsgewebe sind manuell leicht abziehbar und erleichtern den Rückbau des LPM.

Bei einer Wiederverwertung dürfen die zurückgebauten LPM keine relevanten Spuren aus chemischen und biologischen Einwirkungen aus der zurückliegenden Nutzung enthalten (bauschädigende Salze, Moose / Algen, Hausschwamm, Schimmelpilze usw.).

Bei Gebäudeabriss sortenrein und frei von Reststoffen (Altanstriche, alte Ausbesserungen mit Gips, Zement- und Kalkmörtel) gewonnene 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 18947 geforderten Eigenschaften. Durch die Wiederaufbereitung des zurückgewonnenen LPM kann sich dessen Plastizität (und dadurch die Gefahr der Rissbildung beim Austrocknen) vergrößern und eine Abmagerung durch Sand erforderlich werden.

Sofern die o. g. Möglichkeiten der Wiederverwertung nicht praktikabel sind, können sortenrein gewonnene LPM aus Gebäudeabriss mit natürlichen mineralischen Zusatzstoffen und einem homogen verteilten Gehalt an natürlichen organischen Zusatzstoffen ≤ 1 M.-% nach Aufbereitung zu rezyklierter Körnung wie Bodenaushub weiterverwertet werden, z. B. im Landschaftsbau, zur Rekultivierung, zur Trassierung von Verkehrswegen oder in der Land- und Forstwirtschaft.

## 8.2 Entsorgung

Bei Gebäudeabriss zurückgebaute, nicht sortenrein gewonnene LPM, sowie LPM aus Landwirtschaftsbauten, die für eine Weiterverwertung ungeeignet sind, können aufgrund ihres chemisch neutralen und inerten Verhaltens auf Deponien der Deponieklasse A eingelagert werden (AVV Abfallschlüssel 17 09 04 Baustellenabfälle). Sie stellen keine außergewöhnlichen Belastungen für die Umwelt dar.

# 9 ÖKOBILANZ

Die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 zur Erstellung einer Typ III Umweltproduktdeklaration nach DIN EN 15804 beruht auf einer Lebenszyklusanalyse (LCA) der Muster-UPD für LPM des DVL (UPD_LPM_DVL2018001_PKR04-DE), bei der für jede deklarierte Zyklusstufe die Ressourcenverbräuche und potenzielle Umweltwirkungen abgeleitet werden.

## 9.1 Ziele der Analyse

Ein Ziel der Analyse ist die Erstellung einer Typ III Umweltproduktdeklaration nach DIN EN ISO 14025 als Umweltinformation für die Planung und Ausführung von Bauteilkonstruktionen mit LPM. Ein weiteres Ziel der Analyse bezieht sich auf die -Optimierung von Produktionsprozessen und Verfahrenstechniken durch das Aufzeigen ökologischer Schwachstellen.

## 9.2 Zielgruppen der Analyse

Zielgruppen der Analyse sind Entscheidungsträger, die die Ergebnisse der Studie zur Optimierung eines Bauteils oder Bauwerks verwenden können.

## 9.3 Systembeschreibung

Das Produktsystem ordnet sich ein in den Lebenszyklus von Bauwerken mit Lehmbaustoffen. In *Bild 2* beginnt das System mit der Gewinnung des Baulehms und dessen Aufbereitung durch mechanische Behandlung oder Trocknung – je nach Verfahren für die Herstellung der LPM. Die Fertigung von Lehmbaustoffen umfasst die Dosierung von Ausgangsstoffen, den Mischvorgang sowie Abpackung und Lagerung. Die Verarbeitung von LPM erfolgt manuell oder mit Hilfe von Mischpumpen. Während der Nutzung im Gebäude können Reparaturen und Instandhaltungen durchgeführt werden. Nach Abriss der Lehmbaustoffe oder des Gebäudes gibt es zwei end-of-life Optionen: die Entsorgung als Bauschutt oder die Wiederverwendung der Lehmbaustoffe. Letzteres wird in der vorliegenden Ökobilanz analysiert.

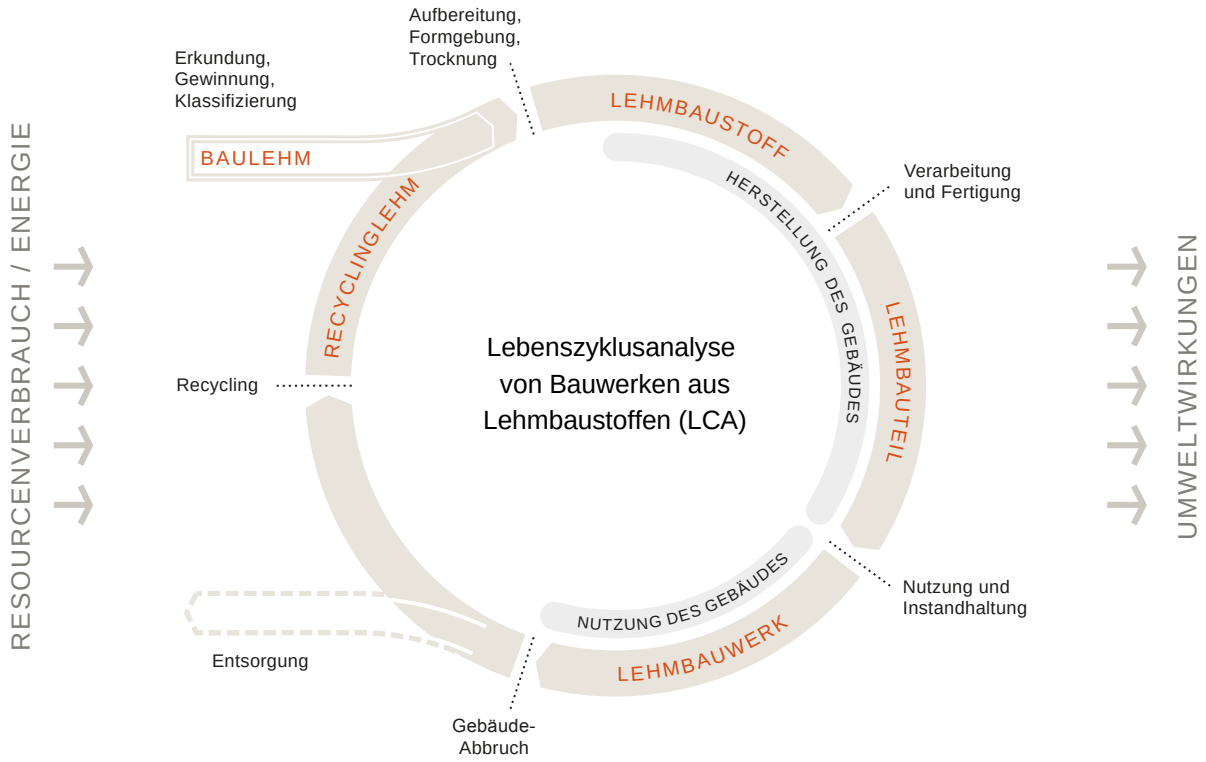



Bild 2: Schematische Darstellung des Lebenszyklus von Bauwerken aus Lehmbaustoffen [DVL Lehmbau Verbraucherinformation]

Innerhalb dieses Systems wird der nach dem passiven Solartrocknungsverfahren hergestellte, deklarierte LPM *Levita UP 2*analysiert.

### 9.3.1 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit für LPM ist in dem entsprechenden Anhang A.2 der DIN 18947 sowie in der entsprechenden PKR LPM geregelt. Die funktionelle Einheit für die Herstellung von LPM ist ein Kilogramm (1 kg).

### 9.3.2 Betrachtungszeitraum

Die eingesetzten Mengen an Rohstoffen, Energien sowie Verpackungen sind als Mittelwert von 12 Monaten berücksichtigt.

### 9.3.3 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 zum Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD GmbH, Version 2014 wird eine RSL für LPM von 100 Jahren zugrunde gelegt.

## 9.4 Systemgrenzen

Für die Erstellung einer Ökobilanz nach DIN EN 15804, Abs. 6 werden die Lebensphasen A1 - A3 von der Wiege bis zum Werkstor mit den Optionen C3 und D betrachtet (*Tab. 9.1*).

Tab. 9.1 Lebenzyklusphasen und Module nach DIN EN 15804

| **Herstellungs-phase** | | | **Errichtungs-phase** | | **Nutzungs-phase** | | | | | | | **Entsorgungs-phase** | | | | **Gutschriften und Lasten** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
| 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 | MNR | 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 Nichtbetrachtung 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)*

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

Für die Module *B2 (Instandhaltung)* und *B3 (Reparatur)* sind die beschriebene Wasserlöslichkeit und Replastifizierbarkeit der LPM vorteilhaft, Ausbesserungen sind bei kleinen Schäden mit einem nassen Schwamm oder bei größeren Schäden mit zusätzlichem Material leicht möglich.

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

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

Die Module *C1(Abbruch)* und *C2 (Transport)* liegen außerhalb der Systemgrenze nach PKR, sie sind dem Gebäude anzulasten. Die Transporte sind zusätzlich abhängig vom Verwertungsverfahren (stationär oder in situ).

Modul *C4 (Entsorgungsphase)*: Es gelten die qualitativen Aussagen im Teil 2 der Deklaration. Die hydraulischen Eigenschaften der Tonminerale ermöglichen eine jederzeitige Replastifizierung und damit Wiederverwertung erhärteter LPM.

## 9.5 Abschneidekriterium, Annahmen und Abschätzungen

Das Abschneidekriterium entspricht DIN 18947 Abs. A.2: Alle Stoffflüsse, die in das Produktionssystem fließen (Inputs) und mehr als 1 % der Gesamtmasse der Stoffflüsse oder mehr als 1 % des Primärenergieverbrauchs betragen, werden berücksichtigt.

Abweichend davon werden auch alle Stoffflüsse erfasst, die das System verlassen (Emissionen) und deren Umweltauswirkungen > 1 % der gesamten Auswirkungen einer in der Bilanz berücksichtigten Wirkungskategorie darstellen. Dies trifft insbesondere auf Pflanzenteile in LPM zu.

Es wurden Daten aus der Betriebsdatenerhebung ausgewertet, d. h. die Gewinnung aller nach Rezeptur eingesetzten Ausgangsstoffe, der Energieeinsatz für die Produktions- bzw. Trocknungsprozesse, die eingesetzte thermische Energie, der interne Kraftstoffverbrauch für Transporte im Werk und alle Transporte zum Werk sowie Verpackungen. Für die Energieherkunft wurden die an den Produktionsstandorten genutzten Energieträger und Energiequellen berücksichtigt. Die zur Herstellung benötigten Maschinen, Anlagen und Infrastruktur wurden vernachlässigt.

Annahmen und Abschätzungen betreffen Verpackungen, Pflanzenanteile, die Abfallaufbereitung und das Wiederverwertungspotenzial.

*Verpackungen*: Großgebinde aus PP Gewebe und Kraftpapiersäcke (ohne PE Inlet) werden in der UPD Werkmörtel (Deklarationsnummer DIBU-IWM-20408-D, S. 13) mit einem PEI von 0,01 MJ / kg Mörtel bewertet. Diese Bewertung wurde in die UPD für LPM übernommen. Die Wirkungskategorien beider Verpackungsarten konnten aus einer LCA-Studie zu LPM im Rahmen des Forschungsprojektes ECO-SEE (ECO-SEE BRE 2017) und aus der dort verwendeten Sima-Pro-Software abgeleitet werden.

*Pflanzenteile*: Anwendung fand die UPD Baustroh (EPD-FASBA-2014-1-ECOINVENT). Die darin enthaltenen Rückgewinnungspotenziale blieben unberücksichtigt, nicht jedoch das gebundene $CO_2$.

*Abfallaufbereitung (C3)*: Zur Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkungen wurden zwei Szenarien unterstellt. Das *Nassverfahren* zur Auswaschung der in LPM enthaltenen mineralischen Bestandteile Sand, Schluff und Ton ist mit der Kiesgewinnung vergleichbar. Der dabei anfallende Rückstand wird bisher deponiert und als „Presslehm“ bezeichnet [Schroeder, 2018]. Als Datengrundlage wurde die Kiesgewinnung nach ÖKOBAUDAT (Juni 2018) unterstellt.

Das Szenario für ein Trockenverfahren zur Rückgewinnung nimmt eine Zerkleinerung der Alt-LPM mittels Prallmühle an. Die Mühlen werden üblicherweise für das Baustoffrecycling eingesetzt, aber auch für die Zerkleinerung von festen Lehmklumpen in der Produktion von LPM. Der notwendige Energieeinsatz (kWh/kg) wurde aus Herstellerangaben ermittelt und nach deutschem Strommix 2015 (ÖKOBAUDAT, Juni 2018) bewertet.

Ein drittes bekanntes Rückgewinnungsverfahren ist vor allem im Bereich des Um- und Ausbaus von Altbauten (in Eigenleistung) übliche Praxis: das Einsumpfen (soaking) sortenrein zurückgewonnener LPM [Schroeder, 2018]. Nach angemessener Ruhezeit, ggf. Sandzugabe als Magerungsmittel, und Einsatz von Rührgerät ist der Alt-LPM erneut gebrauchsfertig. Die durch die hydraulischen Eigenschaften der Tonminerale begründete Replastifizierbarkeit von Alt-LPM ist ein „Alleinstellungsmerkmal“ nicht stabilisierter Lehmbaustoffe. Zu diesem Verfahren gibt es bislang keine Daten, weil dabei keine signifikanten Energie- und Stoffströme entstehen.

*Rückgewinnungspotenzial (D)*: Das spezifische Rückgewinnungspotenzial der LPM ist physikalisch begründet und im allgemeinen Teil beschrieben. Bewertet wird die Gutschrift rechnerisch als Einsparpotenzial der mineralischen Bestandteile Grubenlehm und ungetrockneter Sand (Verknappung abiotischer Rohstoffe ADPE, *Tab. A.2*) entsprechend der Daten aus der in A1 erfassten Rohstoffbereitstellung. Die Bewertung erfolgt mit einem kalkulatorischen Materialverlust von 5 M.-% für beide Szenarien.

## 9.6 Transporte

Sämtliche Transporte der eingesetzten Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe zu den Werken wurden in der Bilanz unter Berücksichtigung ihrer Entfernungen, des Fahrzeuges und des Auslastungsgrades berücksichtigt. Die Transportentfernungen wurden durch Erhebungen bei den beteiligten Herstellern ermittelt. Die Umweltbewertung erfolgte auf Basis generischer Daten nach ÖKOBAUDAT (Juni 2018).

Zusätzlich wurden die Primärenergieeinsätze für Transporte im Werk (z.B. Gabelstapler, Radlader) erfasst und bewertet.

Die Transporte der Fertigprodukte zur Baustelle liegen außerhalb der Systemgrenzen und gehen in die Umweltbilanz des jeweiligen Gebäudes ein.

## 9.7 Hintergrunddaten

Alle Daten werden in einem Tabellensystem berechnet. Zur Modellierung der Umweltwirkungen wurden die Hintergrunddatensätze aus der Muster UPD (UPD_LPM_DVL2018001-PKR04-DE) hinzugezogen.

## 9.8 Datenqualität

Die Daten für die Herstellung der untersuchten LPM beziehen sich auf das Jahr 2017. Die Ökobilanzen wurden für den Bezugsraum Deutschland erstellt.

Die Datenerfassung für das untersuchte Produkt und das Verfahren erfolgte durch Befragung des Herstellers mittels eines strukturierten Erfassungsbogens. Alle Daten und Berechnungen sind beim Programmbetreiber hinterlegt worden.

## 9.9 Allokation

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

Dieselben Produktions- und Trocknungsanlagen für den untersuchten LPM werden auch für andere, hier nicht erfasste LPM genutzt. Der erfasste Energieeinsatz für innerbetriebliche Transporte bezieht sich auf alle Produkte am Standort des Herstellers. Die Energie- und Stoffinputs für die Produktion und für innerbetriebliche Transportwege des deklarierten Produktes wurden entsprechend ihrer Jahresproduktionsmenge anteilsmäßig zur Jahresgesamttonnage auf den Produktionsanlagen am Standort berechnet.

*Kraftpapiersäcke* enthalten eine Gutschrift für die thermische Verwertung des Papieranteils.

*Pflanzenteile* enthalten eine Gutschrift für die $CO_2$-Bindung während der Wachstumsphase des Getreides (A1-A3) nicht jedoch für die spätere energetische oder stoffliche Verwertung (Modul D).

## 9.10 Verwertung von Abfällen und Verpackungen

Die stoffliche Verwertung von Holz, Papier- und Kunststoffverpackungen wurde durch einen zertifizierten Entsorger gem. Abfallwirtschaftsgesetz nachgewiesen.

Es gilt Pkt. 8 dieser UPD.

## 10 Hinweise zur Nutzungsphase

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

Die dynamische Luftfeuchtesorption des deklarierten LPM in der Nutzungsphase hat Auswirkungen auf das Raumklima und trägt damit zur energetischen Optimierung notwendiger Luftwechselraten bei. Entsprechende Nachweise nach DIN 18947, A.1 sind in *Abs. 2.7 Tab.2.2* dokumentiert.

LPM zeichnen sich wegen der Möglichkeit der Replastifizierung des Festmörtels, analog zu der in 9.5 beschriebenen Aufbereitungstechnik des „Einsumpfens“, durch besondere Reparaturfreundlichkeit aus.

LPM sind gut mit anderen Baustoffen kombinierbar.

## 11 Nachweise

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

### 11.1 Produkt-Erstprüfung nach DIN 18942-100

Liegt dem Programmbetreiber vor.

### 11.2 Radioaktivität

Die Messung des Radionuklidgehaltes [Bq/kg] für Ra-226, Th-232, K-40. nach DIN 18947, Abs. A.3. des deklarierten LPM ergibt einen Aktivitätskonzentrationsindex I = 0,2.

# Teil A SACHBILANZ

## A.1 Darstellung der Bilanzen und Auswertung

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* beim Hersteller und einem *Berechnungsverfahren.* Die Inputs beziehen sich dabei auf die benannten Ressourcen (z. B. Roh-, Hilfs- u. Betriebsstoffe, Energieträger, Strom), die Outputs auf die entsprechenden Emissionen des Systems in Luft, Wasser und Boden sowie Abfälle.

### A.1.1 Ressourceneinsatz

Der Primärenergieeinsatz PET (erneuerbar und nicht erneuerbar) und die damit verbundenen Outputfaktoren setzen sich zusammen aus den Daten des Herstellers zur Stoffzusammensetzung, der Energiemenge und –art, den Transporten zum Werk bzw. im Werk und zur Verpackung entsprechend der in Abs. 9.8 erläuterten Datenqualität. In *Tab. A.1* sind die Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes des deklarierten und nach dem passiven Solartrocknungsverfahren hergestellten LPM dargestellt.
Beim *passiven Solartrocknungsverfahren* im Treibhaus verursachen hauptsächlich Diesel- und Stromverbräuche die Energiemenge von 0,23MJ/kg LPM.

Der Produktionsprozess für LPM benötigt keine Wasserzufuhr. Die Vorketten in der Lebenszyklusphase A1 – A3 summieren sich auf Wasserverbräuche in Höhe von 0,001 l/$m^3$ LPM für das *passive Solartrocknungsverfahren*.

Der Energieverbrauch der erfassten Verpackungen wird aus der UPD Werkmörtel (DIBU-IWM-20408-D, S. 13) für gleichwertige Verpackungsarten übernommen und mit 0,01 MJ/kg LPM bewertet.

Tab. A.1 Indikatoren Ressourceneinsatz für die Herstellung von LPM *Levita UP2* (A1 –A3)

| Nr. | **Indikator** (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse) | **Richtung** | **Einheit** | **LPM *Levita UP2*** **PassiveSolar-trocknung (Treibhaustrocknung)** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Erneuerbare PE als ET (PERE) | Input | MJ | 2,73E-02 |
| 2 | Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PERM) | Input | MJ | 6,34E-02 |
| 3 | **Summe erneuerbarer PE (PERT)** | **Input** | **MJ** | **9,08E-02** |
| 4 | Nicht erneuerbare PE als ET(PENRE) | Input | MJ | 1,35E-01 |
| 5 | Nicht erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PENRM) | Input | MJ | 1,89E-04 |
| 6 | **Summe nicht erneuerbarer PE (PENRT)** | **Input** | **MJ** | **1,35E-01** |
| **7** | **Summe PERT und PENRT** | **Input** | **MJ** | **2,26 E-01** |
| 8 | Einsatz von Sekundärstoffen (SM) | Input | kg | 0 |
| 9 | Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF) | Input | MJ | 0 |
| 10 | Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF) | Input | MJ | 0 |
| 11 | Einsatz von Süßwasserressourcen (FW) | Input | $m^3$ | 1,00E-03 |

## A.2 Umweltwirkungen

Gemäß Teil 2 wurden folgende Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen quantifiziert und in *Tab.A.2* dargestellt:

GWP - Globales Erwärmungspotenzial als $CO_2$ Äquivalentkennwert (Bezug Bilanzjahr),

ODP - Abbaupotenzial für die stratosphärische Ozonschicht als kg R11 (Kältemittel) Äquivalent,

POCP - photochemische Ozonbildung (Sommersmogpotenzial) als kg Ethylen Äquivalent,

AP - Versauerungspotenzial für Böden und Wasser als kg Schwefel $SO_2$ Äquivalent,

EP - Eutrophierungspotenzial für Böden als kg Phosphat $PO_4$ Äquivalent,

ADP E - Abbaupotenzial für nicht fossile Elemente als kg Antimon Sb Äquivalent,

ADP F - Abbaupotenzial für fossile Elemente (Brennstoffe) als MJ unterer Heizwert.

Alle Indikatorgrößen wurden nationalen und internationalen Datenbanken entnommen.

Tab. A.2 Indikatoren Umweltwirkungen bei der Herstellung von LPM Levita UP2 (A1-A3) (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse)

| Nr. | Indikator | Einheiten | LPM Levita UP 2 |
|---|---|---|---|
| | | | **Passive Solartrocknung *(Treibhaustrocknung)*** |
| 1 | GWP | kg $CO_2$ Äq. | -1,78E-03 |
| 2 | ODP | kg R11 Äq. | 5,54E-10 |
| 3 | POCP | kg Ethylen Äq. | 6,72E-06 |
| 4 | AP | kg $SO_2$ Äq. | 5,08E-05 |
| 5 | EP | kg $PO_4$ Äq. | 1,26E-05 |
| 6 | ADPE | kg Sb Äq. | 2,19E-06 |
| 7 | ADPF | MJ | 1,56E-01 |

Die *passive Solartrocknung* nach dem Treibhausprinzip kommt auf ein rechnerisch negatives GWP mit -0,00178 kg $CO_2$ Äq. An dieser Setlle wird die ökologische Relevanz des mit 0,5M.-% geringen Pflanzenanteils deutlich. Enthalten ist eine Gutschrifte aus der Wachstumsphase der Pflanzenanteile in Höhe von -6,36E-03 oder 0,00636 kg CO2 Äq (EPD-FASBA-2014-1-ECOINVENT). Ohne diese Gutschrift stiege der GWP-Wert um 360 % auf +4,58E-03 kg $CO_2$ Äq. Das verdeutlicht die rechnerische Bedeutung des Pflanzenanteils in dem betrachteten LPM. Deshalb wurde dieser trotz eines Anteils unter 1 M.-% (Abschneidekriterium) in die Bilanz einbezogen.

### A.2.1 Gebundenes $CO_2$ in Pflanzenanteilen

Die Gutschrift für in Pflanzen während des Wachstumsphase (A1-A3) gebundenes $CO_2$ bewertet die UPD Baustroh des FASBA mit einem GWP–Anteil von -124,1 kg $CO_2$ Äq. pro 100 kg Stroh.

### A.2.2 $CO_2$-Gutschriften für Verpackungen

Der getrocknete LPM wird in ungebleichte Kraftpapiersäcke abgefüllt, transportiert und gelagert. Die Hersteller sind einem Verwertungssystem angeschlossen, das die Papiersäcke energetisch verwertet. Die ersparten fossilen Energien führen zu einer $CO_2$ Gutschrift [ECO-SEE BRE]. Die Gutschrift für Kraftpapiersäcke in den Trockenverfahren beträgt -0,00245 kg $CO_2$ Äq.

## A.3 Andere Umweltinformationen (Abfälle, Output-Stoffflüsse)

*Tab. A.3* fasst die Indikatoren zur Beschreibung von Abfallkategorien und sonstiger Umweltinformationen für die Herstellung von LPM (A1 – A3) einschließlich Vorprodukte und vorgelagerte Prozessketten (z.B. Strommix, Diesel) zusammen.

Prozessbedingte mineralische Abfälle werden unverändert in den Prozess zurückgeführt oder für andere Produktkategorien am selben Standort verwertet. Dies sind insbesondere Gesteinskörnungen und Lehmklumpen.

Verpackungsabfälle fallen nur in geringen Mengen an und werden stofflich oder energetisch verwertet. Darin enthalten sind beschädigte Verpackungen als Rückläufer aus dem herstellereigenen Pfandsystem für Kunststoffgroßgebinde.

Nicht prozessbedingte Abfälle entstehen am Standort in vernachlässigbaren Größenordnungen, z. B. Toilettenpapier, Putzlappen. Sie haben keinen messbaren Einfluss auf die Sachbilanz.

Komponenten für die Wiederverwertung sind die im LPM *Levita UP 2* enthaltenen Rohstoffe, die nach den in *Abs. A5* beschriebenen Szenarien wiederverwertet werden können.

.

Tab. A.3 Indikatoren Abfallkategorien und sonstige Umweltinformationen für die Herstellung von LPM *Levita UP 2* (A1 – A3)

| **Nr**. | **Indikator** (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse) | **Rich-tung** | **Ein-heit** | **LPM *Levita UP2*** **Passive Solar-trocknung *(Treibhaustrocknung)*** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD) | Output | kg | 5,59E-05 |
| 2 | Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD) | Output | kg | 3,12E-04 |
| 3 | Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD) | Output | kg | 4,25E-06 |
| 4 | Komponenten f. die Wiederverwendung (CRU) | Output | kg | 9,40E-01 |
| 5 | Stoffe zum Recycling (MFR) | Output | kg | 8,00E-01 |
| 6 | Stoffe für die Energierückgewinnung (MER) | Output | kg | 0 |
| 7 | Exportierte elektr. Energie (EEE) | Output | MJ | 0 |
| 8 | Exportierte thermische Energie (EET) | Output | MJ | 0 |

## A.4 Transporte

Transporte von Grundstoffen, Zusatzstoffen und Verpackungsmaterial zu den Werken erfolgen hauptsächlich per LKW. Der Anteil der Transportenergie für die Anlieferung von Rohstoffen am Gesamtprimärenergieeinsatz beträgt 9 %.

Weitere Energieverbräuche für Transporte beziehen sich mit bis zu 11 % am Gesamtprimärenergieeinsatz (PET) auf die Abläufe am Produktionsstandort selbst. Das sind Umlagerungen und die Zufuhr von Materialien durch mit Diesel betriebene Gabelstapler und Radlader zur Produktionsanlage im Werk. Hier wurden die Dieselverbräuche im Werk anteilig zur Gesamtproduktionstonnage den deklarierten LPM zugeordnet.

## A.5 Aufbereitung und Wiederverwertungspotenzial

LPM lassen sich im Rahmen einer Trennung von Bauabfällen sortenrein zurückgewinnen, durch Wasserzufuhr replastifizieren und in ihre Bestandteile auflösen und wiederverwerten. Der Aufwand für den Abriss und die Trennung wird gemäß PKR LPM nicht betrachtet. Die nachfolgenden Tabellen A.4 und A.5 stellen Ergebnisse von Berechnungen dar, die von verschiedenen Szenarien für die Abfallaufbereitung in Modul C3 und die daraus resultierenden Wiederverwertungspotenziale (Modul D) ausgehen.

Im Modul C3 werden ein Nass- und ein Trockenszenario untersucht. Das Nassverfahren ist eine *Rohstoff*rückgewinnung, das Trockenverfahren eine *Produkt*rückgewinnung.

Das *Nassverfahren* unterstellt eine Separierung der mineralischen Fraktionen eines sortenrein zurückgewonnenen LPM mittels Auswaschung wie beim Kiesgewinnungsprozess. Daten zu diesem Prozess liegen vor. Das in Abs. 9.2.2 beschriebene Verfahren des „Einsumpfens“ ist ebenfalls dem Nassverfahren zuzuordnen, wird aber mangels relevanter Daten nicht weiter in die Szenarien einbezogen. Das *Trockenverfahren* unterstellt die vollständige Aufbereitung des sortenrein zurückgewonnenen LPM durch Zerkleinerung in einer Prallmühle, wie sie auch für andere Bauschuttfraktionen eingesetzt wird.

In Modul D wird für das *Nassverfahren* unterstellt, dass durchschnittlich 15% Ton- bzw. Schluffanteile und 85% Sandanteile, jedoch keine Pflanzenanteile zurückgewonnen werden. Ein Verlust von 5 M.-% wird angenommen.

Im Modul D wird für das *Trockenverfahren* eine vollständige Rückführung in den Produktionsprozess unterstellt. Im nachfolgenden Produktionsprozess können Lehm-, Sand- und Pflanzenanteile je nach Zusammensetzung des sortenrein zurückgewonnenen LPM ergänzt werden. Diese Ergänzungen sind Teil des neuen Produktionszyklus.

*Tab.A.4* beschreibt die Indikatoren Ressourceneinsatz und Rückgewinnung / sonstige Umweltinfos für beide Verfahren. Bei einer Gegenüberstellung des Primärenergieaufwandes mit dem Rückgewin-

nungspotenzial ergibt sich für beide Verfahren ein ökologischer Gewinn in einer Größenordnung von -2,22E-02 MJ/kg bis -1,45E-02 MJ/kg als Verwertungspotenzial (PET Aufbereitung - Rückgewinnung). Allerdings sind die Transporte zur Aufbereitung nicht berücksichtigt, aber die Szenarien quantifizieren mögliche „ökologische Spielräume“ für die Logistik einer Aufbereitung von LPM. Transporte von der Aufbereitung zum Werkstor würden wiederum in den Modulen A1 bzw. A2 als Rohstofftransporte eines neuen Produktionszyklus Eingang finden.

Tab. A.4 Indikatoren Verwertungspotenzial u. sonstige Umweltinfos

| **Nr.** | **Indikator** (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse) | **Einheit** | **Szenarien** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Nassverfahren** | | **Trockenverfahren** | |
| | | | **Modul C3** (Aufbereitung) | **Modul D** (Rückgewinnung) | **Modul C3** (Aufbereitung) | **Modul D** (Rückgewinnung) |
| 1 | Erneuerbare PE (PERE) | MJ | 1,07E-02 | -4,71E-03 | 1,18E-02 | -3,39E-03 |
| 2 | Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PERM) | MJ | 0,00E+00 | 1,11E-08 | 0,00E+00 | -7,84E-09 |
| **3** | **Summe erneuerbarer PE (PERT)** | **MJ** | **1,07E-02** | **-4,71E-03** | **1,18E-02** | **-3,39E-03** |
| 4 | Nicht-erneuerbare PE als ET(PENRE) | MJ | 3,82E-02 | -4,64E-02 | 2,15E-02 | -4,44E-02 |
| 5 | Nicht-erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PENRM) | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 6 | **Summe nicht-erneuerbarer PE (PENRT)** | **MJ** | **3,82E-02** | **-4,64E-02** | **2,15E-02** | **-4,44E-02** |
| 7 | **PERT + PENRT = PET** | **MJ** | **4,89E-02** | **-5,11E-02** | **3,33E-02** | **-4,78E-02** |
| 8 | Einsatz von Sekundärstoffen (SM) | Kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 9 | Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF) | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 10 | Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF) | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 11 | Einsatz von Süßwasserressourcen (FW) | $m^3$ | 7,12E-06 | -1,15E-03 | 6,22E-06 | -8,12E-04 |
| 12 | Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD) | Kg | 1,08E-06 | -5,80E-05 | 1,48E-08 | -4,84E-05 |
| 13 | Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD) | Kg | 2,29E-02 | -2,48E-04 | 2,13E-05 | -1,81E-04 |
| 14 | Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD) | Kg | 1,55E-06 | -4,29E-07 | 2,05E-06 | -3,88E-07 |
| 15 | Komponenten f. die Wiederverwendung (CRU) | Kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 16 | Stoffe zum Recycling (MFR) | Kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 17 | Stoffe für die Energierückgewinnung (MER) | Kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 18 | Exportierte elektr. Energie (EEE) | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 19 | Exportierte thermische Energie (EET) | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Das Verhältnis von Aufbereitungsaufwand zum Rückgewinnungspotenzial hängt ab von den gewählten Aufbereitungstechniken und den Annahmen zur Rückgewinnungsquote. Im *Nassverfahren* sind 5 M.-% Verluste eingerechnet und eine Separierung der Rohstoffe nach typischer Siebanalyse, d.h. geschätzte 15 M.-% Ton- und Schluffanteile sowie 85 M.-% Gesteinskörnungen. Beim *Trockenverfahren* wird der sortenrein zurückgewonnenen LPM aus Abriss ohne weitere Trennung bzw. Auswaschung nur zerkleinert und wiederverwertet. Die betrachteten Prallmühlen arbeiten mit durchschnittlich 0,003 MJ/kg elektrischer Energie. *Tab.A.5* beschreibt die Indikatoren der Umweltwirkungen für beide Verfahren.

Tab. A.5 Indikatoren Umweltwirkung für die Aufbereitung und Wiederverwertung

| Nr. | Indikator (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse) | Einheit | Szenarien | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Nassverfahren | | Trockenverfahren | |
| | | | **Modul C3** (Aufbereitung) | **Modul D** (Rückgewinnung) | **Modul C3** (Aufbereitung) | **Modul D** (Rückgewinnung) |
| 1 | Globales Erwärmungspotenzial (GWP) | kg $CO_2$-Äq. | 2,89E-03 | -2,19E-03 | 1,63E-03 | -2,37E-03 |
| 2 | Abbaupotenzial der stratosphär. Ozonschicht (ODP) | kg R11-Äq. | 5,39E-12 | -4,88E-10 | 6,83E-12 | -4,95E-10 |
| 3 | Bildungspotenzial für troposphär. Ozon (POCP) | kg Ethen-Äq. | 2,44E-06 | -2,44E-06 | 1,76E-07 | -2,80E-06 |
| 4 | Versauerungspotenzial von Boden u. Wasser (AP) | kg $SO_2$-Äq. | 7,21E-06 | -1,48E-05 | 2,49E-06 | -1,67E-05 |
| 5 | Eutrophierungspotenzial (EP) | kg Phosphat-Äq. | 1,34E-06 | -4,53E-06 | 4,04E-07 | -4,76E-06 |
| 6 | Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE) | kg Sb-Äq. | 1,26E-06 | -1,49E-08 | 1,05E-06 | -1,08E-08 |
| 7 | Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) | MJ | 3,43E-02 | -3,11E-02 | 1,64E-02 | -3,37E-02 |

Diese Szenarien geben Anlass für weitere Analysen technischer Möglichkeiten zur Nutzung des Wiederverwertungspotenzials von LPM.

## Teil B Interpretation der Primärenergiebilanz und Wirkungsanalyse

Die Interpretation der Ergebnisse der Ökobilanz zu Primärenergieeinsatz und Wirkungsanalyse bezieht sich auf das *passive Solartrocknungsverfahren*. Die Daten sind den entsprechenden Abschnitten der Muster UPD für LPM des DVL (UPD_LPM_DVL2018001_PKR04-DE) entnommen.

Als Orientierung für die Interpretation können die entsprechenden Richtwerte der natureplus RL 0803 herangezogen werden, die zur Vergabe des Qualitätszeichens „natureplus“ führen (*Tab. B.1*).

Tab. B.1 Richtwerte für ökologische Kennwerte von LPM zur Erlangung des Qualitätszeichens nach natureplus RL 0803

| **Kennwert** pro m² x je cm Putzdicke | **Einheit** | **Empfohlener Richtwert** |
|---|---|---|
| Nicht erneuerbare PE (PENRE) | MJ | 21 |
| Nicht erneuerbare und erneuerbare PE (PET) | MJ | 25 |
| Sommersmog POCP | kg Ethylen Äq. | 0,0006 |
| Versauerungspotenzial AP | kg $SO_2$ Äq. | 0,005 |
| Überdüngungspotenzial EP | kg $PO_4^{3-}$ Äq. | 0,0018 |
| Treibhauspotenzial GWP | kg $CO_2$ Äq. | 1,3 |
| Verbrauch abiot. Ressourcen ADPE | kg Sb Äq. | 0,0000011 |

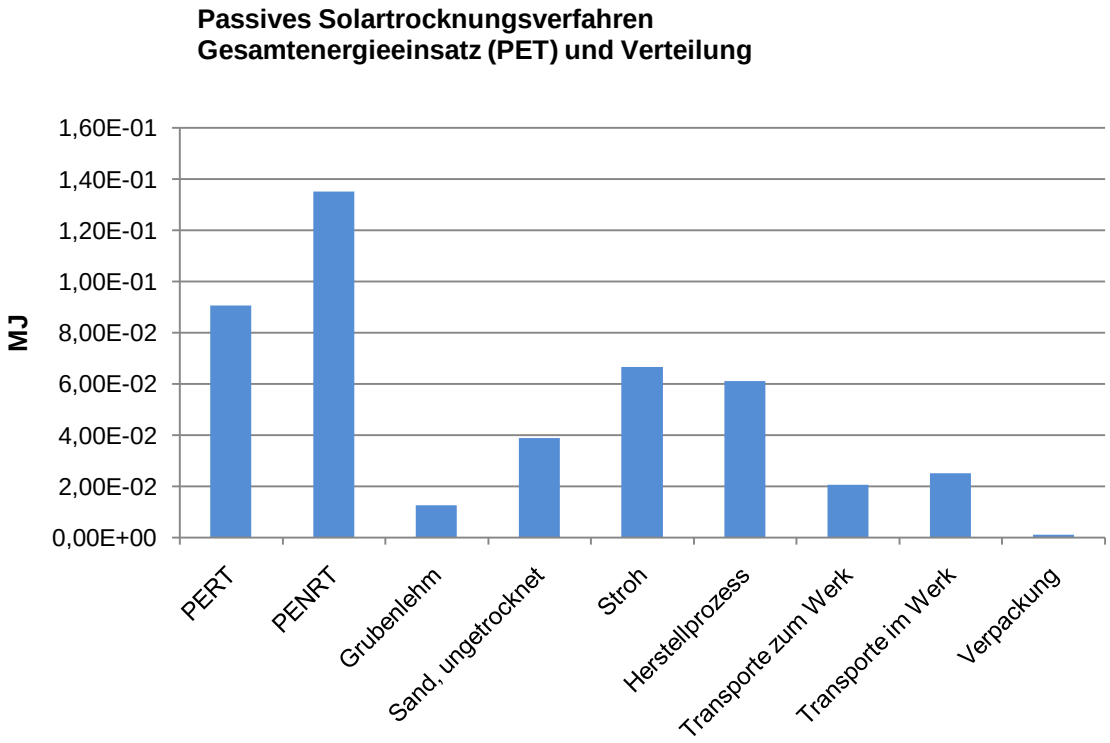
### B.1 Ressourceneinsatz

Der Gesamtenergieeinsatz (PET) für LPM, die mit passiver Solarnutzung und natürlicher Ventilation getrocknet wurden, beläuft sich auf 0,226 MJ/kg. Indirekte und direkte Ökostromanteile haben einen Anteil von knapp 40 %. Darin enthalten ist ein Anteil von 29,5 % insbesondere für indirekt enthaltene erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PERM). Der Herstellungsprozess macht 27 %, die Transporte rund 20 %, und die Sandaufbereitung im Vorprozess schlagen 17 % vom PET aus.

Für durchschnittlich 10 mm Putzdicke werden 10 kg LPM (solargetrocknet) verbraucht. Bei 0,226 MJ/kg ergibt das einen PET-Wert von 2,3 MJ pro m² /cm (*Abb. B.1*). Das liegt signifikant unter dem

natureplus-Richtwert von 25 MJ (*Tab. B.1*). Auch der Anteil nicht erneuerbarer PET bleibt mit 1,35 MJ pro m²/cm deutlich unter dem entsprechenden natureplus-Richtwert von 21 MJ pro m²/cm.

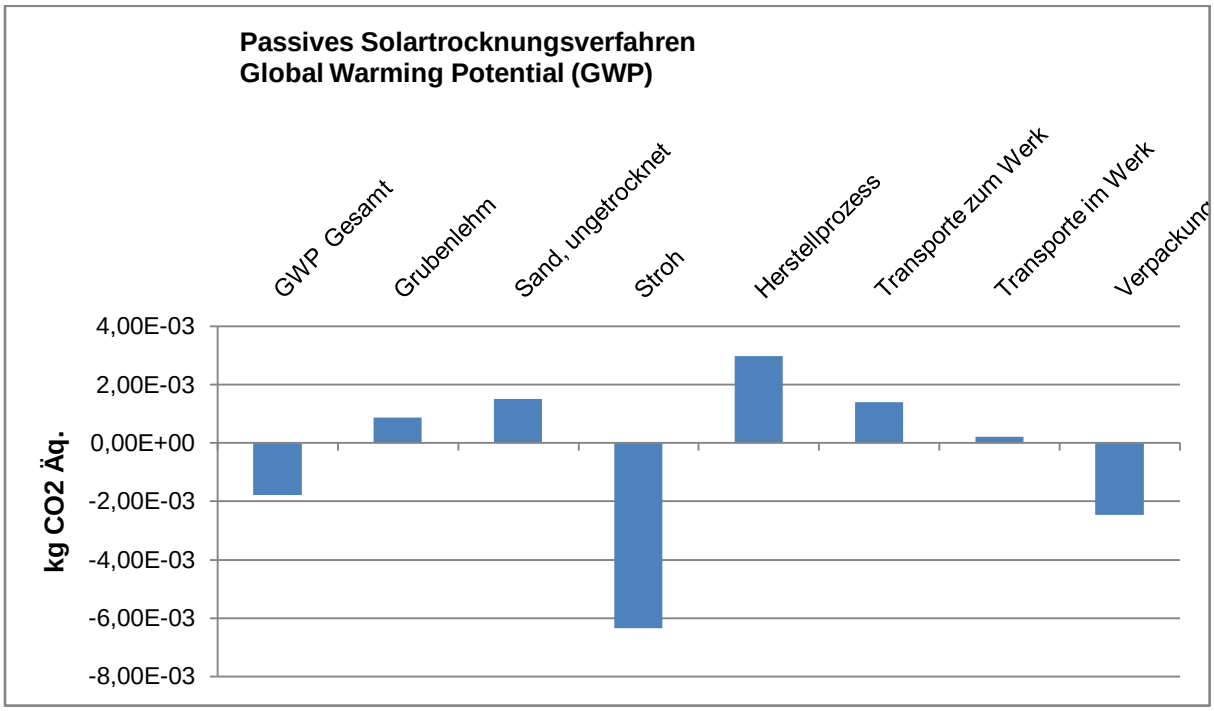
Abb. B.1 Passive Solartrocknung -Gesamtenergieeinsatz und Verteilung für *Levita UP2*




## B.2 Beitrag zur globalen Klimaerwärmung GWP

Der mit passiver solarer Trocknung hergestellte LPM *Levita UP 2* erhält eine rechnerische Gutschrift mit einem GWP-Abbau von -1,78E-03 kg $CO_2$ Äq. (*Abb. B.2*). Die Ursachen sind in den Bilanzen der Vorprodukte Stroh (-6,36E-03 kg $CO_2$ Äq.) und Papierverpackung (-2,45E-03 kg $CO_2$ Äq.) zu finden (UPD Baustroh und ecoinvent 3.2). Dagegen stehen der Herstellungsprozess, Vorprodukte und Transporte mit zusammen 7,03E-03 kg $CO_2$ Äq.

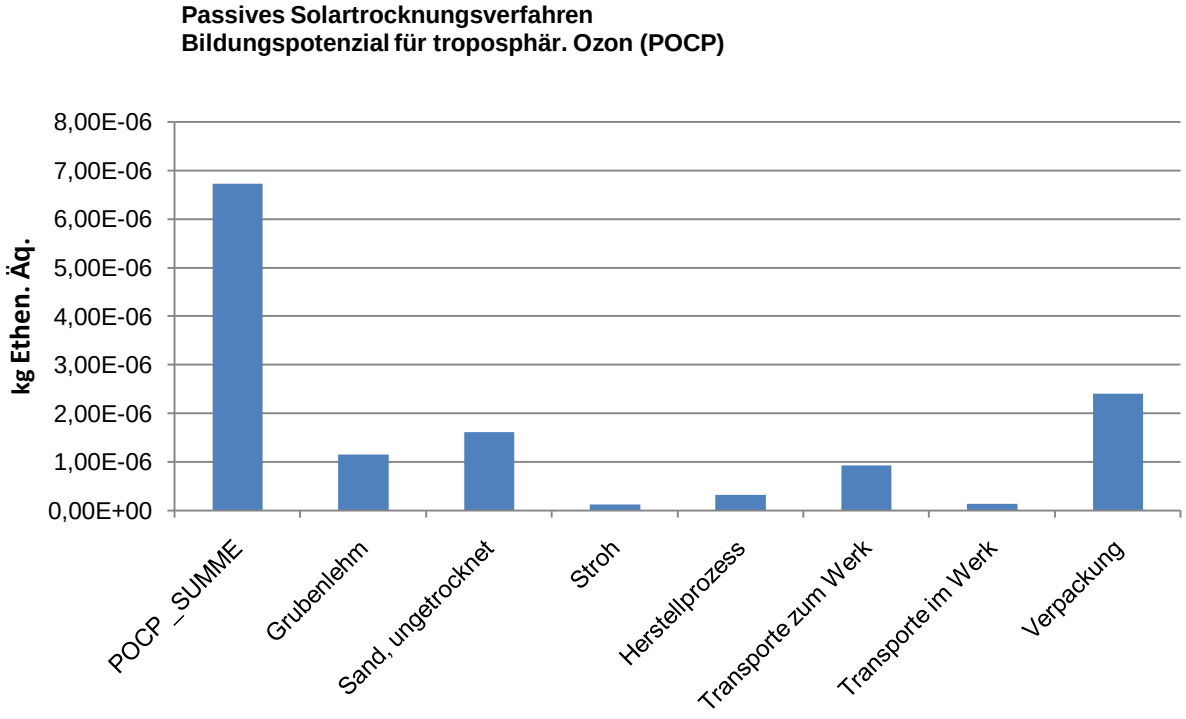
Abb. B.2 Passive Solartrocknung - Beitrag zur globalen Klimaerwärmung GWP für *Levita UP 2*




## B.3 Abbaupotenzial des troposphärischen Ozons POCP

Der mit 6,72E-06 kg Ethen Äq. ermittelte POCP-Wert in *Abb. B.3* liegt wesentlich unter dem naturep-lus-Richtwert von 6E-04 kg Ethen Äq. (*Tab. B.1*). Davon entfallen 36% auf die Verpackung.

Abb. B.3 Passive Solartrocknung - Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon POCP für *Levita UP 2*



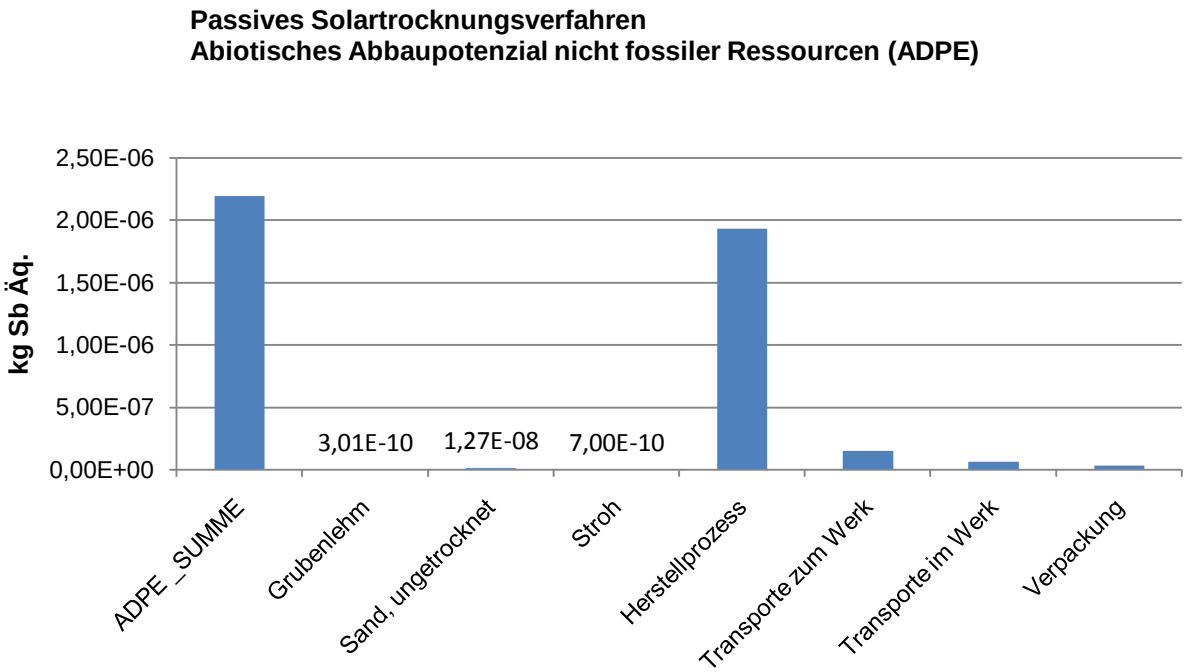
## B.4 Abiotisches Abbaupotenzial ADPE und ADPF

Das Abbaupotential nicht fossiler Ressourcen (ADPE) bezieht sich vor allem auf die Bewertung von mineralischen Rohstoffen (Sand, Kies, Lehm, Steine), die für die Aufbereitung von Lehm und Sand benötigt werden, und bei diesem Verfahren hauptsächlich auf den Herstellprozess selbst.

Der implizite Ressourcenverbrauch im eingesetzten deutschen Strommix (2015) und bei der Dieselbereitstellung belasten die Summe des ADPE zu 85 %. Die passive Solartrocknung wird mit Null bewertet, da sie Teil der Infrastruktur (Gewächshaus) ist und keine zusätzlichen Ressourcen verbraucht, die nicht anderweitig erfasst worden sind (z. B. Transporte im Werk, Strom).

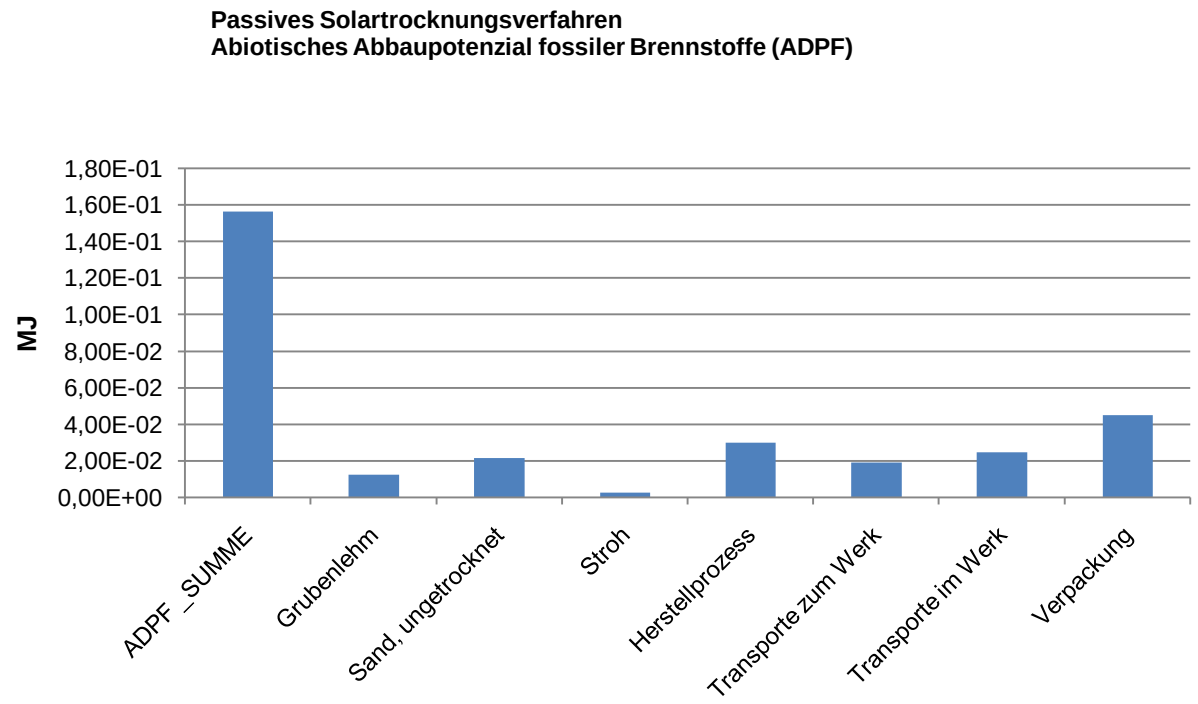
Der Summenwert 2,19E-06 kg Sb Äq. (*Abb. B.4*) liegt unter dem natureplus-Richtwert von 1,10E-05 kg Sb Äq. (*Tab. B.1*).

Abb. B.4 Passive Solartrocknung - Abbaupotenzial abiotischer nicht fossiler Ressourcen ADPE für *Levita UP 2*




Der ADPF-Summenwert beträgt 0,156 MJ/kg LPM (*Abb. B.5*). Hauptursachen sind die Verpackung (15%), die Transporte insgesamt (15%) sowie der Strommix im Herstellungsprozess (10%).

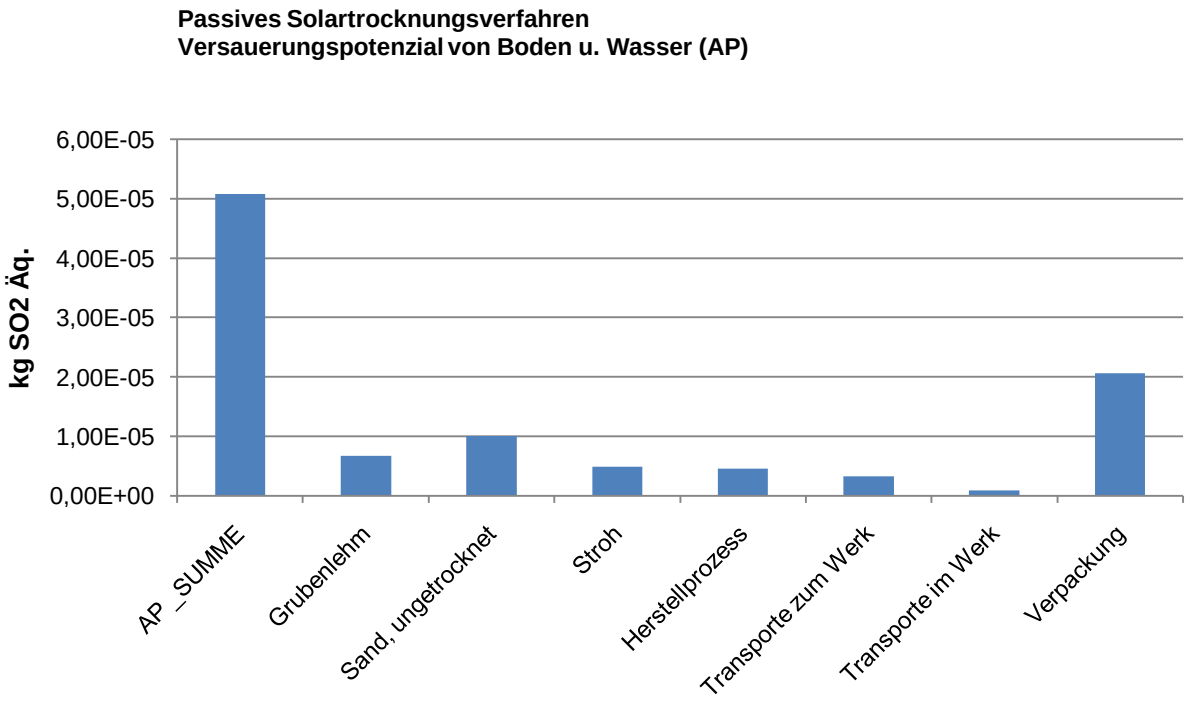
Abb. B.5 Passive Solartrocknung - Abbaupotenzial abiotischer fossiler Ressourcen ADPF für *Levita UP 2*




## B.5 Versauerungspotenzial AP

Das Versauerungspotenzial für Böden und Wasser in diesem solar gestützten Verfahren beträgt insgesamt 0,0000508 kg $SO_2$ Äq. pro kg LPM (*Abb. B.6*). Hauptverursacher sind die Verpackung mit 41 % und die Rohstoffe mit zusammen 42 %. Davon entfallen auf den mit nur 0,5 % geringen Strohanteil fast 10%. Der AP-Wert liegt damit deutlich unter dem natureplus-Richtwert von 0,005 kg $SO_2$ Äq. *(Tab. B.1)*.

Abb. B.6 Passive Solartrocknung - Versauerungspotenzial von Boden und Wasser AP für *Levita UP 2*



## B.6 Zusammenfassung: Passives Solartrocknungsverfahren

Für die Herstellung von 1m² Putzfläche und deren praxisüblichen Anwendung mit Putzdicken bis 10mm werden die Richtwerte nach natureplus RL 0803 für LPM in *Tab. B.1* unterschritten. Die passive Solarnutzung nach dem Gewächshausprinzip in Verbindung mit einem temperatur- und feuchtegesteuerten Wenderoboter für erdfeuchte Ausgangsstoffe hat innovativen Charakter. Dieser Verfahrensansatz ermutigt dazu, regenerative Techniken zur Trocknung weiter zu entwickeln und einzusetzen.

## Zitierte Standards / Literaturhinweise


| | |
|---|---|
| Lehmbau Regeln (LR DVL) | Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): Lehmbau Regeln - Begriffe, Baustoffe, Bauteile. Wiesbaden: Vieweg + Teubner \| GWV Fachverlage, 3., überarbeitete Aufl., 2009 |
| DVL Lehmbau-Verbraucherinfo | Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): Lehmbau-Verbraucherinformation. Eigenverlag DVL, Weimar, 2., überarbeitete Aufl. 2014 |
| DIN 4102 | DIN 4102-1:1998-05, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen* |
| | DIN 4102-4:2016-05, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe und Bauteile und Sonderbauteile* |
| DIN 18300 | DIN 18300:2012-09, *VOB/C (ATV) – Erdarbeiten* |
| DIN 18550 | DIN 18550-2:2015-06, *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 | DIN 18942-1: 2018-12, *Lehmbaustoffe – Teil 1: Begriffe* |
| DIN 18942-100 | DIN 18942-100:2018-12, *Lehmbaustoffe –Konformitätsnachweis* |
| DIN 18947 | DIN 18947:2018-12, *Lehmputzmörtel – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren* |
| DIN EN 12620 | DIN EN 12620:2008-07, *Gesteinskörnungen für Beton* |
| DIN EN 12664 | DIN EN 126642001-05, *Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen u. Bauprodukten; Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät u. dem Wärmestrommessplatten-Gerät; Trockene u. feuchte Produkte mit mittlerem u. niedrigem Wärmedurchlasswiderstand* |
| DIN EN 12878 | DIN EN 12878:2014-07, *Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren* |
| DIN EN 13055 | DIN EN 13055: 2016-11, *Leichte Gesteinskörnungen* |
| DIN EN 13139 | DIN EN 13139 (E):2015-07, *Gesteinskörnungen für Mörtel* |
| DIN EN 13501 | 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 13501-2:2016-12, *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen* |
| DIN EN 15804 | DIN EN 15804:2014-07, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte* |
| DIN EN ISO 14025 | DIN EN ISO 14025:2011-10, *Umweltkennzeichnungen u. –deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen; Grundsätze u. Verfahren* |
| DIN EN ISO 14040 | DIN EN ISO 14040:2009-11, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen* |

| | |
|---|---|
| DIN EN ISO 14044 | DIN EN ISO 14044:2018, *Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen* |
| CEN ISO /TS 14071 | CEN ISO /TS 14071:2016, *Umweltmanagement - Ökobilanz - Prozesse der Kritischen Prüfung und Kompetenzen der Prüfer: Zusätzliche Anforderungen und Anleitungen zu ISO 14044:2006* |
| DVL e. V. (Hrsg.) | Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Allgemeine Hinweise für die Erstellung von Ökobilanzen und Projektberichten (Teil 2), Ausgabe März 2018 |
| PCR Werkmörtel | Regeln für Umwelt-Produktdeklaration –Mineralische Werkmörtel – Institut Bauen und Umwelt e. V., Version Juli 2006 |
| UPD Werkmörtel | Deutsches Institut f. Bauen u. Umwelt e. V. (DIBU) (Hrsg.): DIBU Muster-Umweltproduktdeklaration für Mineralische Werkmörtel / Putzmörtel nach DIN EN ISO 14025. Duisburg, 2008 |
| UPD Baustroh | Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) (Hrsg.): Umwelt-produktdeklaration UPD für Baustroh nach DIN EN ISO 14025 u. DIN EN 15804. Wien, 2014 |
| VDI 2243 | VDI 2243:2002-07: Recyclingorientierte Produktentwicklung |
| Deponierichtlinie EU | Entscheidung des Rates zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gem. Art. 16 u. Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG v. 19.12.2002 (Amtsbl. EG 16.01.2003 L11/27) |
| Deponieverordnung | Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) v. 27.04.2009 (BGbl. I, S.900), zuletzt geändert 04.03.2016 (BGbl. I, S.382) |
| Abfallverzeichnis-Verordnung: | Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung AVV) v. 10.12.2001 (BGbl. I, S. 3379), zuletzt geändert 22.12.2016 (BGbl. I, S. 3103) |
| Abfallwirtschaftsgesetz | Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002) (BGBl. I, Nr. 102/2002, Fassung v. 20.03.2017) |
| Natureplus RL 0803 | natureplus e. V., Vergaberichtlinie 0803 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Lehmputzmörtel, Ausgabe Juni 2015, Neckargemünd 2015 |
| Natureplus RL 5003 | natureplus e. V., Vergaberichtlinie 5003 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Naturschutz beim Abbau mineralischer Rohstoffe, Ausgabe April 2015, Neckargemünd 2015 |
| TM 01 DVL | Anforderungen an Lehmputz als Bauteil. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 01:2014-06, Weimar: Dachverband Lehm e. V., 2. Aufl. |
| TM 05 DVL | Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaustoffe – Richtlinie. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 05:2011-06, Weimar: Dachverband Lehm e. V. |
| TA Luft | Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft - v. 24.07.2002 (GMBl. S.511), BM f. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002 |

| | |
|---|---|
| UBA 2013 | Umweltbundesamt (Hrsg.) / Weimann, K. u. a.: Optimierung des Rückbaus / Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung. Texte 05/2013, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt 2013 |
| ÖKOBAUDAT | Bundesinstitut f. Bau-, Stadt- u. Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung. SR Zukunft Bauen \| Forschung für die Praxis \| Band 09, Bonn 2017 |
| Bau-EPD (Hrsg.): | Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von UPDs. Wien: Bau-EPD GmbH, 2014 |
| ECO-SEE BRE | Building Research Establishment Ltd. BRE (Ed.): Life Cycle Assessment (LCA) study of CLAYTEC M1 and M3 clay plasters as part of the project "Eco-innovative, Safe and Energy Efficient (ECO-SEE) wall panels and materials for a healthier indoor environment", January 2017<br>Author: Dr. Fei Zhang, Senior Consultant, Centre for Sustainable Products, BRE Ltd.<br>Approver: Dr. Owen Abbe, Associate Director, Centre for Sustainable Products, BRE Ltd. |
| Ecoinvent 3.2 | https://www.ecoinvent.org |
| Schroeder, 2018 | Schroeder, H.: Lehmbau – Mit Lehm ökologisch planen und bauen. Springer Vieweg: Wiesbaden 2018, 3. Aufl. |
| Ziegert, 2014 | Natürliche Radioaktivität von Lehmbaustoffen - Ergebnisse neuer Untersuchungen und Qualitätssicherung; in: Wohnung + Gesundheit" Nr. 151/2014; IBN - Institut für Baubiologie + Ökologie, Neubeuern. |
| Küppers, 2015 | Hosser, D., Zehfuβ, J. Neue Forschungsergebnisse zum Brandschutz für mehr-geschossige Strohballenbauten. In: vfdb Zeitschrift 1/2015. |
| Liblik, 2018 | Küppers, J., Just,A., Zehfuß, J., Ziegert, C.: Fire safety of historic timber buildings with traditional plasters in Europe; 3rd World Conference on Timber Engineering, Seoul 2018. |