



Umweltproduktdeklaration

nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804

Hart Keramik AG

LEMIX Lehmplatten nach DIN 18948

Deklarationsinhaber	Hart Keramik AG, Anton-Hart-Straße 1, 95652 Waldsassen
Herausgeber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Programmbetreiber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Deklarationsnummer	UPD_LP_LEMIX2023005_PKRÜ5-DE
Ausstellungsdatum	10.05.2023
Gültig bis	09.05.2028

Umwelt-Produktdeklaration – Allgemeine Angaben

Programmbetreiber

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

Deklarationsnummer

UPD_LP_LEMIX 2023005_PKRÜ5-DE

Deklarationsbasis

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmplatten (PKR LP)
Version Ü5_2022_04
(durch das unabhängige Prüfungsgremium nach DIN EN 14025 geprüft und zugelassen)

Ersteller der Ökobilanz

Dipl.-Ök. Manfred Lemke
Westerstrasse 40
26506 Norden

Ausstellungsdatum

10.05.2023

Gültigkeitsdauer

09.05.2028

Deklarationsinhaber

Hart Keramik AG
Anton-Hart-Straße 1
95652 Waldsassen
www.lemix.eu

Deklariertes Bauprodukt / Deklarierte Einheit

Die Umweltproduktdeklaration (UPD) für Lehmplatten nach DIN 18948 mit den Bezeichnungen
– LEMIX Lehmplatte 16mm
– LEMIX Lehmplatte 22mm
wurde nach der Muster UPD des Dachverbandes Lehm e.V. (DVL) UPD_LP_DVL2023004_PKRÜ5-DE erstellt.
Als funktionale Einheit wurde ein Kubikmeter Lehmplatten (m³) analog zu DIN 18948 Anhang A.3 festgelegt.

Gültigkeitsbereich

Die vorliegende UPD bildet die Ökobilanz zur Herstellung der deklarierten Lehmplatten nach DIN EN 15804 ab. Die Ökobilanz beruht auf Daten zu Energie- und Stoffströmen des Lehmplattenwerkes in Schirnding. Bezugsjahr der Herstellerangaben ist das Jahr 2022.
Eine Haftung des Dachverbandes Lehm e.V. in Bezug auf dieser UPD zugrunde liegenden Herstellerinformationen ist ausgeschlossen.

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)



Prof. Dr. Klaus Pistol
Prüfungsgremium



Dr.-Ing. Horst Schroeder
Verifizierer



Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.)

Nachhaltigkeit von Bauwerken –
Umweltproduktdeklaration für die Baustoffkategorie
Lehmplatten (PKR LP) nach DIN EN 15804

Lemix Lehmplatten nach DIN 18948
Hart Keramik AG

Stand: Mai 2023

INHALT

1	Allgemeines.....	1
1.1	Normative Grundlagen.....	1
1.2	Nachverfolgung der Versionen.....	1
1.3	Begriffe / Abkürzungen.....	2
2	Produktdefinition.....	2
2.1	Geltungsbereich.....	2
2.2	Produktbeschreibung.....	3
2.3	Einsatzzweck.....	3
2.4	Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln.....	3
2.5	Gütesicherung.....	3
2.6	Lieferzustand.....	3
2.7	Bautechnische Eigenschaften.....	4
2.7.1	Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften.....	4
2.7.2	Schallschutz.....	4
2.7.3	Luftdurchlässigkeit.....	4
2.8	Brandschutz.....	4
2.9	Sonstige Eigenschaften.....	4
3	Ausgangsstoffe.....	5
3.1	Auswahl / Eignung.....	5
3.2	Stoffleräuterung.....	5
3.3	Verfügbarkeit.....	6
4	Produktherstellung.....	6
4.1	Herstellungsprozess.....	6
4.1.1	Formgebungsverfahren „Pressen / formgepresst“.....	7
4.2	Gesundheitsschutz Herstellung.....	8
4.3	Umweltschutz Herstellung.....	8
4.3.1	Abfall.....	8
4.3.2	Wasser / Boden.....	8
4.3.3	Lärm.....	8
4.3.4	Luft.....	8

5	Produktverarbeitung	8
5.1	Verarbeitungshinweise	8
5.2	Arbeitsschutz / Umweltschutz	9
5.3	Restmaterial	9
5.4	Verpackung	9
6	Nutzungszustand	9
6.1	Inhaltsstoffe	9
6.2	Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit	10
6.3	Beständigkeit / Nutzungsdauer	10
7	aussergewöhnliche einwirkungen.....	10
7.1	Brand	10
7.2	Hochwasser	10
7.3	Havarie Wasserleitungen.....	10
8	Hinweise zur Nutzungsphase	10
9	Nachnutzungsphase	11
9.1	Recycling von LP	11
9.2	Verwertung von Abfällen und Verpackungen.....	11
9.3	Entsorgung.....	11
10	nachweise	12
10.1	Produkterstprüfung nach DIN 18942-100	12
10.2	Radioaktivität	12
TEIL A SACHBILANZ.....		12
A.1	Funktionale Einheit	12
A.2	Betrachtungszeitraum	12
A.3	Ergebnisse der Sachbilanz.....	12
Teil B ÖKOBILANZ.....		13
B.1	Ziel der Analyse	14
B.2	Zielgruppen der Analyse	14
B.3	Referenznutzungsdauer	14
B.4	Abschneidekriterium	14

B.5	Annahmen und Abschätzungen	14
B.6	Datenqualität	15
B.7	Allokation	16
B.8	Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse (LCA).....	16
Teil C	Interpretation der Ökobilanz	19
C.1	Primärenergieeinsatz	19
C.2	Treibhausgaspotenzial (GWP).....	21
C.3	Aufbereitung (IM C3) und Rückgewinnungspotenzial (IM D1–D3).....	22
	Zitierte Standards / Literaturhinweise	26

VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN

Tabellen

<i>Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung</i>	2
<i>Tab. 2.2 Typen und Anwendungsbereiche von Lehmplatten</i>	3
<i>Tab. 2.3 Lieferformate der deklarierten LP</i>	4
<i>Tab. 2.4 Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften der deklarierten LP¹ nach DIN 18948</i>	4
<i>Tab. A.1 Sachbilanz der untersuchten LP</i>	13
<i>Tab. B.1 Übersicht Datengrundlagen¹</i>	16
<i>Tab. B.1.1: Nicht deklarierte Umweltindikatoren</i>	17
<i>Tab. B.2 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte nach DIN 18948 – Inputfaktoren</i>	17
<i>Tab. B.3 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte nach DIN 18948 – Umweltwirkungsfaktoren</i>	18
<i>Tab. B.4 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte – Outputfaktoren</i>	19
<i>Tab. C.3.1 Rückgewinnungspotenziale IM D1 – Wiederverwendung demontierter LP</i>	24
<i>Tab. C.3.2 Rückgewinnungspotenziale IM D2 – Wiederverwertung für neue LP</i>	24
<i>Tab. C.3.3 Rückgewinnungspotenziale IM D3 – Substitution von Trockenlehm</i>	25

Abbildungen

<i>Bild 4.1 Herstellungsschema deklarierte Lehmplatten, formgepresst (IM A3)</i>	7
<i>Abb. C.1. Primärenergieeinsatz nach Modulen (IM) für m³ LP</i>	20
<i>Abb. C.2: Treibhausgaspotenziale IM A1 bis IM A3 pro m³ LP (GWP 100)</i>	21
<i>Abb. C.3 Aufbereitung IM C3: Schreddern von Lehmplatten – Trockenverfahren</i>	23

1 ALLGEMEINES

1.1 Normative Grundlagen

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

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

1.2 Nachverfolgung der Versionen

Version	Kommentar	Stand
Ü1	Erster Entwurf des Bilanzierenden	Apr 2023
Ü2	Abgestimmte und eingereichte Version	Apr 2023
Ü3	Verifizierung, extern (DVL)	Mai 2023
Ü4	Endredaktion	10. Mai 2023

Kontakt:

Hart Keramik AG, Anton-Hart-Straße 1, 95652 Waldsassen
Werk Schirnding

Muster-UPD:

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

Bilanzersteller:

Dipl.-Ök. Manfred Lemke, Westerstrasse 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 Lehmbaustoffe (Teil 2) [1] die nachfolgenden Begriffe und Abkürzungen:

Produktkategorieregeln (PKR) nach DIN EN 15804 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 15804 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): nach DIN EN 15804 Zusammenstellung und *Beurteilung* der In- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus.

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

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

IM Informationsmodul nach 15804:2022-03

LP Lehmplatte

LPM Lehmputzmörtel

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

AVV Europäische Abfallverzeichnis-Verordnung [3]

2 PRODUKTDEFINITION

2.1 Geltungsbereich

Diese Umweltproduktdeklaration (UPD) ist eine individualisierte Produktdeklaration auf Basis der Musterdeklaration des Dachverbandes Lehm e. V. (DVL) für Lehmplatten [4]. Die Quantifizierung der Ökobilanzdaten beruht auf einer Analyse der vom Hersteller beim DVL hinterlegten Daten und einer Werksbegehung (*Tab. 2.1*):

Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung

Nr.	Hersteller	Werksanschrift	Verfahrensart n. Kap. 4.1	Produktbezeichnung
1	Hart Keramik AG	Am Bergwerk 12 95706 Schirnding	Formgepresst	LEMIX 22 mm
2	Hart Keramik AG	Am Bergwerk 12 95706 Schirnding	Formgepresst	LEMIX 16 mm

Die deklarierten Produkte Nr. 1 und 2 entsprechen der Muster-UPD für im Werk hergestellte, ungebrannte „dünne“ ($t \leq 1/5$ der Plattenbreite b) LP nach DIN 18948 / 18942-1 zum Beplanken und Bekleiden von Bauteilen im Innenbereich. Die normierten LP werden nach einem in *Kap. 4.1* deklarierten Verfahren hergestellt.

Für die Anwendung gelten die DIN 18948, die LR DVL [2] sowie die PKR LP des DVL [5].

2.2 Produktbeschreibung

Die genannten Produkte sind ungebrannte Platten aus Lehmstoff mit mineralischen und pflanzlichen Zusatzstoffen zum Beplanken und Bekleiden von Bauteilen im Innenbereich (Decken- und Wandsysteme). Die Tonanteile des Baulehms bilden das alleinige mineralische Bindemittel im Stoffgemisch.

Die deklarierten LP haben identische Rohdichten von 1.450 kg/m³. Die deklarierten LP werden hydraulisch formgepresst und technisch getrocknet.

2.3 Einsatzzweck

LP werden für die Beplankung von Ständerkonstruktionen für Trennwände und Vorsatzschalen sowie zur Bekleidung von Wänden, Decken und Dachschrägen im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich eingesetzt. Die deklarierten LP sind dem Typ A / B gemäß Tab. 2.2 zuzuordnen.

Tab. 2.2 Typen und Anwendungsbereiche von Lehmplatten

Nr.	Typ	Anwendungsbereich
1	A	Beplankung von Ständer-/ Abhängkonstruktionen im Bereich von Wänden, Decken und Dachschrägen
2	B	Bekleidung von Wänden, Decken und Dachschrägen (Trockenputzplatten)

2.4 Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln

- DIN 18942-1:2018-12, *Lehmstoffe und Lehmprodukte – Teil 1: Begriffe*,
- DIN 18942-100:2018-12, *Lehmstoffe und Lehmprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*,
- DIN 18948:2018-12, *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*,
- Lehmbau Regeln des Dachverbandes Lehm e. V. (LR DVL): Weimar 2009, 3. Aufl. [2]

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

2.5 Gütesicherung

Die Eigen- und Fremdüberwachung des Herstellungsprozesses von LP nach DIN 18948 erfolgt nach DIN 18942-100.

2.6 Lieferzustand

Lieferformate von LP werden in den Abmessungen Länge l × Breite w (i. d. R. Vielfaches von 125 mm) und Dicke t ($t \leq 1/5$ der Breite w) deklariert (Tab. 2.3). Zulässige Abweichungen vom Nennmaß (Rechtwinkligkeit, Nennlänge, Nennbreite, Nenndicke, Ebenheit) werden nach DIN 18948 in Maßhaltigkeitsklassen MHK angegeben. Die Längs- und Querkanten der deklarierten LP bilden ein Rechteck. Ihre Ränder sind stumpf ausgebildet.

Tab. 2.3 Lieferformate der deklarierten LP

Nr.	max. Format l × w mm	Dicke t mm	Maßhaltigkeitsklasse MHK (I – III)	Art der Bewehrung	Lochungen / Strukturen	Sonder- produkt
LP 1	625 × 1250	22	II	Jute einseitig	Keine	Nein
LP 2	625 × 1250	16	II	Jute einseitig	Keine	Nein

2.7 Bautechnische Eigenschaften

2.7.1 Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften

Tab. 2.4 zeigt mechanische / bauphysikalische Eigenschaften nach Datenblättern des Herstellers der Lehmplatten.

Tab. 2.4 Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften der deklarierten LP¹ nach DIN 18948

Nr.	Eigenschaft / Prüfung n. DIN 18948 / Abs.	LP1 22 mm	LP2 16 mm	Dimension
1	Trockenrohddichte ρ_d / 9.3 (Klasse 1.6)	1.450	1.450	kg/m ³
2	Festigkeit / 9.4			
2.1	• Oberflächenhärte / 9.4.1	≤15	≤15	mm
2.2	• Oberflächenzugfestigkeit / 9.4.2	≥0,1	≥0,1	N/mm ²
2.3	• Biegezugfestigkeit (quer) / 9.4.3	≥1,2	≥1,2	N/mm ²
3	Wärmeleitfähigkeit λ_R / 9.5.2	0,353		W/mK
4	Wärmespeicherkapazität c / 9.5.3	1.100		J/kgK
5	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ / 9.5.1	5/10		-
7	Wasserdampfadsorptionsklasse WS / A.2.2	WS III		g/m ² in 1, 6, 12h

¹Weitere Angaben unter www.lemix.eu

2.7.2 Schallschutz

Falls erforderlich, ist die Luftschalldämmung eines Bausystems mit LP nach DIN EN ISO 717-1 zu bestimmen. Sollen LP zur Raumakustik beitragen, ist die Schalladsorption des Bausystems mit LP nach DIN EN ISO 354 zu ermitteln. Die Schalldämmwerte R_w der deklarierten LP betragen für Trennwände mit Holzständer 60×80 mm, Jutedämmung 80 mm, verputzt zwischen 52 dB für LP 1 und 56 dB für LP 2. Die Schalldämmwerte können konstruktionsabhängig bis zu 65 dB erreichen.

2.7.3 Luftdurchlässigkeit

Konstruktionen aus LP mit vollflächigen Lehmputzen bzw. LDB mit ≥ 2 mm Dicke sind luftdicht.

2.8 Brandschutz

Die deklarierten LP sind der Baustoffklasse A1 nach DIN EN13501-1:2010-01 zugeordnet.

2.9 Sonstige Eigenschaften

Der zulässige Gesamtgehalt an bauschädlichen Salzen von 0,12 M.-% wird von den durch die Hersteller deklarierten Produkten nicht überschritten.

3 AUSGANGSSTOFFE

3.1 Auswahl / Eignung

Die deklarierten LP bestehen aus Baulehmen mit unterschiedlichen Tonanteilen, mineralische und pflanzlichen Zusätzen entsprechend der DIN 18948. Die Stoffverbote und -beschränkungen der DIN 18948 und natureplus VR 1006 [7] werden eingehalten.

Der mineralische Zusatz ist Schiefermehl aus Abfällen bei der Schieferplattenherstellung, als pflanzlicher Zusatz werden unbehandelte Holzfasern beigemischt.

Die Ausgangsmischung enthält <1 M.-% pflanzliche Stärke als stabilisierendes Zusatzmittel. Die stabilisierende Eigenschaft wird durch Wasserzugabe reversibel. Zusätzlich ist einseitig eine Bewehrungsmatte aus Jutegewebe eingearbeitet.

3.2 Stofflerläuterung

Baulehm gemäß LR DVL [2] ist zur Herstellung von Lehmbaustoffen geeigneter Lehm, bestehend aus einem Gemisch aus schluffigen, sandigen bis kiesigen Gesteinskörnungen und bindekräftigen Tonmineralien. Baulehm wird unterschieden nach Grubenlehm, Trockenlehm / Tonmehl und Recyclinglehm. Presslehm kann ebenfalls als Baulehm weiterverwertet werden.

Grubenlehm ist ein natürlicher Primärrohstoff mit unterschiedlicher granulometrischer sowie schwankender mineralogischer Zusammensetzung (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaCO_3). Dadurch können sich je nach Lehmvorkommen unterschiedliche plastische Eigenschaften während der Aufbereitung und Verarbeitung (mager / fett) sowie Farben des Endprodukts ausbilden.

Grubenlehm wird erdfeucht dem geologisch „gewachsenen“ Boden entnommen. 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). Je nach weiterer Verwendung wird unterschieden:

Primärgrubenlehm wird zielgerichtet für die Herstellung von Lehmbaustoffen abgebaut. Die deklarierten LP enthalten teilweise Primärgrubenlehm.

Sekundärgrubenlehm fällt beim Ton-, Sand-, Kies- und Kalkabbau oder anderen Erdarbeiten für Baumaßnahmen als *Bodenaushub* an und kann als Sekundärstoff im Lehmabbau weiterverwertet werden. Er verliert dann seine Abfalleigenschaft

Trockenlehm ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm. Tonmehl ist natürlicher, getrockneter, ggf. gemahlener Ton, der zur Erhöhung der Bindekraft von mageren Baulehmen verwendet werden kann. Beide Produkte sowie getrocknete Sande enthalten „graue“ Energie aus Vorprozessen, die nach Art und Menge im Rahmen der Ökobilanz erfasst werden.

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 werden. Je nach Verwertung wird unterschieden nach [1]:

Primärrecyclinglehm wird zielgerichtet als Lehmbaustoff wiederverwertet. Er verliert seine Abfalleigenschaft aus einem vorherigen Prozesszyklus als Ausgangsstoff für die Herstellung von LP im aktuellen System.

Sekundärrecyclinglehm wird für Anwendungen außerhalb des Lehmbaus weiterverwertet (z. B. Abtrennung der Sandkornfraktion für Betonherstellung / Downcycling / urban mining).

Mineralische Zusatzstoffe: Schiefermehl ist ein Abfallprodukt der Schieferproduktion (Schieferstaub). Schiefermehl ist ein nach DIN 18948 zulässiger mineralischer Zusatzstoff, der die bauphysikalischen (Trockenrohdichte, Wärmeleitung, Trocknungsschwindmaß) und die baumechanischen (Festigkeits-) Eigenschaften des Endprodukts verbessert. Die deklarierten LP enthalten Anteile von Schiefermehl.

Organische Zusatzstoffe / natürlich: land- oder forstwirtschaftliche Nebenprodukte (hier: Holzfasern) ohne relevante Rückstände, z. B. aus Herbiziden. Durch organische Zusatzstoffe können die bauphysikalischen Eigenschaften des Endprodukts beeinflusst werden. Faserartige Zusatzstoffe wirken einer Rissbildung der LP bei Austrocknung / Erhärtung entgegen.

Natürliche organische Zusatzstoffe sind biologisch abbaubar und können problemlos in biogene Kreisläufe zurückgeführt werden. Sie werden dabei durch Bakterien und Pilze unter Energiefreisetzung wieder vollständig zu CO₂ und H₂O umgebaut. Die deklarierten LP werden nach Lebensende wiederverwendet oder wiederverwertet ohne Freisetzung von CO₂ durch Zersetzung organischer Zusatzstoffe (Abs. 9.1).

Organische Zusatzstoffe, künstlich: Stärke wird aus Pflanzen durch chemische Reaktion industriell extrahiert. Sie verleiht der Arbeitsmasse zur Herstellung von Lehmplatten eine dickflüssige Konsistenz und verbessert dadurch den Formgebungsprozess. Nach DIN 18948 ist ein Stärkezusatz von ≤ 1 M.-% zulässig.

Werkseitig eingearbeitete *Bewehrungen* aus Jutegewebe dienen der mechanischen Stabilität der LP bei Transport, Lagerung und Verarbeitung. *Jutegewebe* sind Spezialgewebe aus biologisch abbaubarem Jute-Naturgarn, Kett- / Schussfäden ca. 20 / 20 Fäden je 10 cm, lichte Maschenweite ca. 5 × 5 mm. Jutegarn ist mit Stärkeappretierung ausgestattet und biologisch abbaubar.

3.3 Verfügbarkeit

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

Ein bisher kaum erschlossenes Rohstoffpotenzial für die Herstellung von Lehmstoffen ist die Rückgewinnung von LP oder von mineralischen Komponenten in LP aus Abbruchbauteilen / Baumischabfall als Primär- bzw. Sekundärrecyclinglehm. Die Rückgewinnungspotenziale der deklarierten LP werden in den Modulen D1 – D3 quantifiziert.

Aufgrund der besonderen hydraulischen Eigenschaften des Bindemittels Lehm ist eine Replastifizierung und Wieder- bzw. Weiterverwertung von LP und deren Ausgangsstoffe jederzeit möglich. Eine Rohstoffknappheit besteht nicht. Holzfasern, Jutegewebe und Pflanzenstärke sind nachwachsende Rohstoffe oder werden aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt bzw. gewonnenen.

4 PRODUKTERSTELLUNG

4.1 Herstellungsprozess

Für die Herstellung von LP sind nach DIN 18948 die Formgebungsverfahren „Streichen“, „Stampfen“ und „Pressen“ definiert. Die Herstellung der beiden deklarierten LP erfolgt auf derselben Anlage durch hydraulisches Pressen („formgepresst“).

4.1.1 Formgebungsverfahren „Pressen / formgepresst“

Beim *Pressverfahren* wird die Arbeitsmasse mit einer Restfeuchte von ca. 18 M.-% in Formrahmen gefüllt, einzeln hydraulisch zu LP gepresst und anschließend getrocknet. Das angewandte Trocknungsverfahren nutzt die Abwärme einer Gasturbine und setzt den damit verbundenen Stromüberschuss am Produktionsstandort auch für andere Prozesse ein.

Bild 4.1 zeigt das Produktsystem „Lehmplatte, Pressen / formgepresst“ mit den relevanten Prozessmodulen für das IM A3 „Herstellung“ in der Ökobilanz – ohne Transporte. Das Produktionsschema umfasst die nachfolgend zusammengefassten Prozessabschnitte:

- Aufbereiteter Baulehm wird über Transportbänder aus einem Lehmsilo dem Intensivmischer gravimetrisch dosiert zugeführt.
Die Zuführung von Schiefermehl erfolgt aus einem Vorratsbehälter.
- Holzfasern werden aus einem Vorratsbehälter volumetrisch dosiert dem Intensivmischer zugeführt.
- Pflanzenstärke wird in Säcken trocken angeliefert. Die Stärke wird in einem Behälter mit Wasser aufgelöst und über Schlauchpumpen dem Mischprozess gravimetrisch dosiert zugeführt.
- Der Mischvorgang lässt sich über die Drehgeschwindigkeit des Mixers und die Mischzeit regeln.
- Aus einem Zwischenspeicher wird die Arbeitsmasse über die Füllstation in Formkästen gefüllt, geglättet und hydraulisch gepresst. Überschüssige Masse geht zurück in den Vorratsbehälter. Die Pressung lässt sich über den regelbaren Anpressdruck steuern.
- Die Ausformung bezeichnet die Entnahme der Plattenrohlinge aus der Pressform. Es erfolgt eine Sichtkontrolle. Ausschuss wird in den Formgebungsprozess zurückgeführt.
- Die feuchten Rohlinge werden in Trockenkammern getrocknet. Die Trocknung wird durch Temperatur- und Feuchtemessung reguliert.
- Nach Aufstapeln der getrockneten LP auf Holzpaletten werden die Pakete (je 60 bzw. 40 LP) mit Folie ummantelt, mit Kantenschutz versehen.

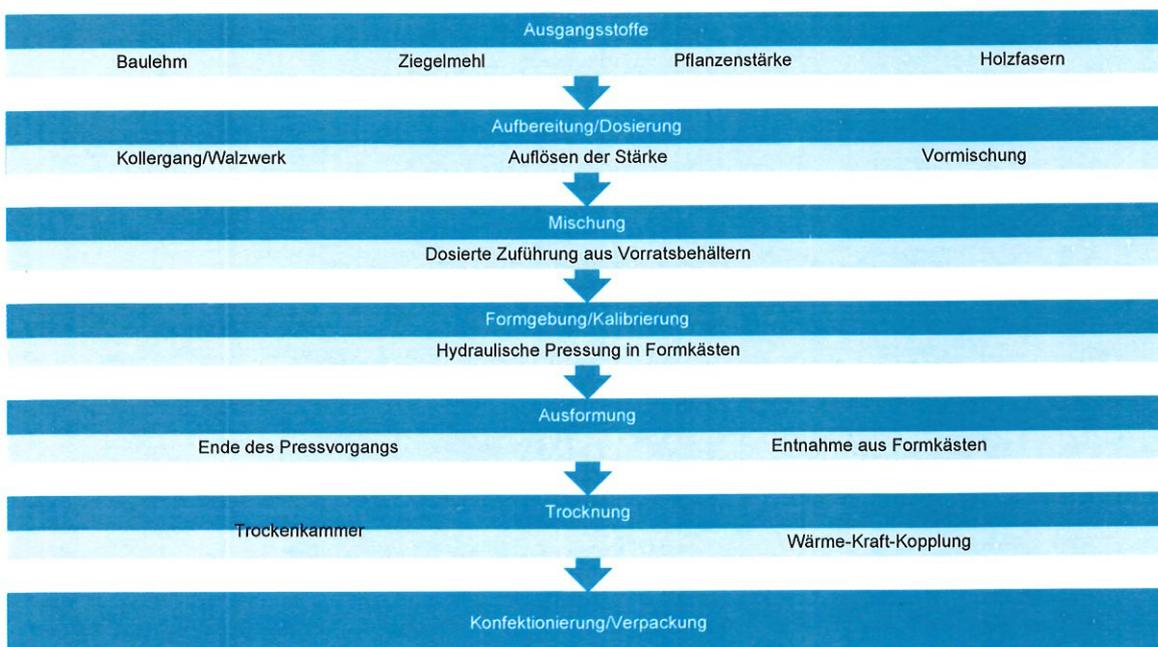


Bild 4.1 Herstellungsschema deklarierte Lehmplatten, formgepresst (IM A3)

4.2 Gesundheitsschutz Herstellung

Die Grenzwerte der TA Luft werden eingehalten.

4.3 Umweltschutz Herstellung

4.3.1 Abfall

Stand der Technik ist die vollständige Wiederverwendung aller mineralischen Abfälle, die während des Produktionsprozesses anfallen, z. B. Reste bei Produktwechseln auf derselben Anlage.

4.3.2 Wasser / Boden

Belastungen von Wasser / Boden entstehen nicht.

4.3.3 Lärm

Die geforderten Grenzwerte werden eingehalten.

4.3.4 Luft

Die geforderten Grenzwerte werden eingehalten [22].

Direkte Luftemissionen durch Gasturbinen zur Trocknung und Dieselfahrzeuge im Werk werden im Rahmen der Ökobilanz als Output des spezifischen Einsatzes von Diesel erfasst und bewertet.

5 PRODUKTVERARBEITUNG

5.1 Verarbeitungshinweise

Die Verarbeitung der LP erfolgt nach DIN 18948 und LR DVL [2].

LP des Typs A nach *Tab.2.2* werden, wenn vom Hersteller nicht anders angegeben, mit der Unterkonstruktion punktuell vernagelt, verschraubt oder geklammert (Beplankung). LP des Typs B werden, wenn vom Hersteller nicht anders angegeben, vollflächig mit Lehmkleber auf den Untergrund geklebt (Bekleidung).

LP zur Bekleidung / Beplankung von Bauteilen sind Teil eines Bausystems. Die Eigenschaften der Systemkomponenten müssen aufeinander abgestimmt und insgesamt zur Erstellung eines gebrauchstauglichen Bauteils geeignet sein. Die Systemkomponenten sind vom Systemanbieter zu benennen und zu beschreiben (DIN 18948, B.1, B.2). Für LP des Typs A (Beplankung) muss der erreichbare Einbaubereich EB gemäß DIN 4103-1 deklariert werden (EB1: Bereiche mit geringer Menschenansammlung, EB2: Bereiche mit großer Menschenansammlung).

Nichttragende innere Trennwände mit Beplankung aus LP müssen derart konstruiert sein, dass die unmittelbare Anbringung von *leichten Konsollasten* nach DIN 4103-1 möglich ist. Der Hersteller wählt und deklariert die geeignete Befestigungsart und entsprechende Befestigungsabstände. Dabei wird die Einhaltung folgender, am System ermittelter Grenzwerte empfohlen (DIN 18948, B.2.2):

- oberer Abstand zwischen Konsole und Beplankungsebene, verursacht durch den Auszug des Dübels: ≤ 2 mm,
- Biegung der Platte, gemessen auf der Rückseite der LP auf Höhe des Befestigungsmittels mittig zwischen den Ständern: $\leq 2,5$ mm,
- Senkung der Konsole am vorderen Ende: ≤ 5 mm.

Nichttragende innere Trennwände mit Beplankung aus LP müssen derart konstruiert sein, dass sie ausreichend widerstandsfähig gegen „*harten und weichen Stoß*“ nach DIN 4103-1 sind. Dies ist entsprechend nachzuweisen.

LP des Typs A, die zur Beplankung von Decken und Dachschrägen eingesetzt werden, müssen über eine ausreichende Formstabilität verfügen. Dabei dürfen im vom Hersteller angegebenen Unterkonstruktionsraster im System keine relevanten *Verformungen unter Dauerlast* eintreten (bei Eigenlasten und zusätzlichen Flächenlasten von $0,10 \text{ kN/m}^2 \leq 1 \text{ mm}$). Bei einer zusätzlichen Eigenlast in Feldmitte von $0,06 \text{ kN}$ darf die Verformung der LP 1 und 2 nicht überschreiten. Die Notwendigkeit einer Prüfung wird vom Hersteller eigenverantwortlich festzulegen. Die Prüfdauer beträgt 10 Tage.

Bei der Beplankung von Holzständerkonstruktionen mit LP des Typs A sind die Herstellerangaben zur Wahl der Befestigungspunkte entsprechend des vorgegebenen Systemrasters der Unterkonstruktion einzuhalten. Vom Systemanbieter sind weiterhin geeignete Befestigungsmittel an die Unterkonstruktion sowie für Konsollasten zu benennen. Die Platten werden versetzt befestigt und auf den Ständern der Unterkonstruktion (entsprechend bei Decken und Dachschrägen) gestoßen.

Für die Verarbeitung von LP kommen i. d. R. übliche Geräte des Trockenbaus (z. B. Stichsäge, Handkreissäge, Trennscheibe) zum Einsatz. Für die weitere Verarbeitung sind die Herstellerangaben insbesondere zur Bewehrung der Plattenfugen, der Bewehrung von nachfolgenden Lehmputzbeschichten zu beachten.

An die Baustelle gelieferte LP müssen trocken und witterungsgeschützt gelagert werden.

5.2 Arbeitsschutz / Umweltschutz

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

5.3 Restmaterial

Auf der Baustelle anfallende Kunststofffolien, Holzpaletten und LP-Reste werden getrennt gesammelt.

LP-Reste können vom Herstellerwerk zurückgenommen und dort ggf. in den Produktionsprozess zurückgeführt werden.

5.4 Verpackung

Holzpaletten, Folien und Pappen werden sortenrein durch duale Entsorgungssysteme (hier: EBM/ALBA) dem stofflichen bzw. energetischen Verwertungsprozess zugeführt.

6 NUTZUNGSZUSTAND

6.1 Inhaltsstoffe

Bei der Produktion von LP werden die natürlichen Ausgangsstoffe Baulehm Schiefermehl, Holzfasern und Stärke mit $< 1 \text{ M.-%}$ nach *Abs. 3* verwendet. Diese Inhaltsstoffe sind im Nutzungszustand durch die Tonminerale des Baulehms als feste Stoffe im Bauteil gebunden. Dieser Verbund ist wasserlöslich.

6.2 Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit

Die deklarierten LP enthalten keine schädlichen Stoffe wie z. B. flüchtige organische Komponenten (VOC, TVOC), Formaldehyd, Isocyanate usw. Entsprechende schädigende Emissionen sind deshalb auch nicht zu erwarten. Die LP sind im verarbeiteten Zustand geruchsneutral.

Die Mikroporenstruktur der Tonminerale des Baulehms ermöglicht eine rasche, besonders hohe Adsorption / Desorption von überschüssigem Wasserdampf im Innenraum. Die deklarierten LP können der in *Tab. 2.4* ausgewiesenen Wasserdampfadsorptionsklasse WS III gemäß DIN 18948 zugeordnet werden. Die natürliche ionisierende Strahlung der deklarierten LP ist sehr gering und gesundheitlich unbedenklich. Die deklarierten LP weisen einen Aktivitätskonzentrationsindex $I = 0,69$ gemäß DIN 18948 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 LP ist deshalb auf den Bereich des deklarierten Plattentyps nach *Tab. 2.2* beschränkt. Bauteile mit Beplankungen / Bekleidungen aus LP sind über den gesamten Nutzungszeitraum vor stehendem und fließendem Wasser oder dauerhafter Durchfeuchtung zu schützen. LP sind darüber hinaus für eine Anwendung in Spritzwasserbereichen von Küchen und Bädern sowie in Räumen mit dauerhaft stark erhöhter Luftfeuchte (z. B. Schwimmbäder, gewerbliche Küchen) ungeeignet.

Die deklarierten LP erfüllen die Anforderungen an die Maßhaltigkeit der auf die Baustelle gelieferten Produkte entsprechend *Tab. 2.2*.

7 AUSSERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN

7.1 Brand

Die deklarierten LP sind der Baustoffklasse A1 (nicht brennbar) nach DIN EN 13501-1:2010-01 zugeordnet. Im Brandfall können sich keine toxischen Gase / Dämpfe entwickeln. Bei LP mit organischen Zusatzstoffen können geringe Mengen CO entstehen. Zur Brandbekämpfung eingesetztes Löschwasser kann Schäden an Bauteilen aus LP erzeugen. Abgeschwemmtes Material von LP im Löschwasser erzeugt keine Umweltrisiken.

7.2 Hochwasser

Unter Wassereinwirkung (z. B. Hochwasser) können LP replastifiziert und ausgewaschen werden. Dabei werden keine wassergefährdenden Stoffe freigesetzt. Aufgeweichte Bereiche müssen ggf. auf ihre Stabilität untersucht werden.

7.3 Havarie Wasserleitungen

Infolge von Schäden an Wasserleitungen kann im Gebäude Wasser austreten und verarbeitete LP aufweichen. Aufgeweichte Bereiche müssen ggf. auf ihre Stabilität untersucht werden.

8 HINWEISE ZUR NUTZUNGSPHASE

Die deklarierten LP emittieren keine umwelt- oder gesundheitsgefährdenden flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, TVOC) (natureplus Zertifizierung nach RL 1006 [7]).

Die dynamische Luftfeuchtesorption der LP in der Nutzungsphase hat Auswirkungen auf das Raumklima und trägt damit zur energetischen Optimierung notwendiger Luftwechselraten bei. Entsprechende Nachweise nach DIN 18948, A.2 sind in *Tab. 2.4* dokumentiert.

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

9 NACHNUTZUNGSPHASE

9.1 Recycling von LP

Der Haltbarkeitszeitraum der deklarierten LP liegt i. a. über dem Nutzungszeitraum der errichteten Gebäude. Bauteile, in denen die LP verarbeitet wurden, können i. d. R. in einfacher, manueller Weise demontiert werden. LP können bei zielgerichteter Demontage für den gleichen Zweck wiederverwendet werden (IM D1).

Bei einer Wiederverwendung dürfen die zurückgebauten LP keine Spuren aus chemischen / biologischen Einwirkungen aus der zurückliegenden Nutzung enthalten (bauschädigende Salze, Moose / Algen, Hausschwamm, Schimmelpilze usw.). Gleiches gilt für die Weiterverwertung von gelösten mineralischen Komponenten aus rückgebauten LP als Ausgangsstoffe für andere Baustoffe (Sekundärrecyclinglehm).

Durch Demontage (Abschrauben) oder bei Gebäudeabriss sortenrein und frei von Reststoffen (z. B. Altanstriche) gewonnene LP können durch Wasserzugabe ohne zusätzlichen Energieaufwand replastifiziert und als Primärrecyclinglehm einem erneuten Formgebungsprozess zugeführt und wiederverwertet werden (IM D2). Ihre ursprüngliche Zusammensetzung entspricht nach praktischen Erfahrungen den für eine Wiederverwertung als LP geforderten Eigenschaften. Ggf. ist eine Abmagerung durch mineralische Zusätze oder Ergänzung von Tonmineralien oder pflanzlichen Zusätzen erforderlich.

Demontierte LP lassen sich maschinell zerkleinern u. als getrocknetes Recyclingmaterial, vorwiegend Baulehm, als *Primärrecyclinglehm* für neue, andere Lehmbauprodukte wiederverwerten (IM D3).

Sofern die o. g. Möglichkeiten der Wiederverwertung nicht praktikabel sind, können sortenrein aus Gebäudeabriss gewonnene LP ohne synthetische / pflanzliche Bewehrungsgewebe 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. Dabei ist die Ersatzbaustoffverordnung zu beachten [8].

9.2 Verwertung von Abfällen und Verpackungen

Die Verwertung von Holz, Pappe und Folien wird von dem zertifizierten Entsorger „EBM/Alba“ gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) durchgeführt. Bei der Herstellung von LP entstehen keine Produktionsabfälle.

9.3 Entsorgung

Bei Gebäudeabriss zurückgebaute, nicht sortenrein gewinnbare LP, die für eine Weiterverwertung ungeeignet sind, können auf Grund ihres chemisch neutralen und inerten Verhaltens auf Deponien der

Deponieklasse A eingelagert werden (AVV Abfallschlüssel 17 09 04 [3]). Sie stellen keine außergewöhnlichen Belastungen für die Umwelt dar.

10 NACHWEISE

10.1 Produkterstprüfung nach DIN 18942-100

Liegt dem Programmbetreiber vor.

10.2 Radioaktivität

Die Messung des Radionuklidgehaltes [Bq/kg] für Ra-226, Th-232 und K-40 von LP nach DIN 18948, A.4 ergibt einen Aktivitätskonzentrationsindex von $I = 0,69$.

TEIL A SACHBILANZ

A.1 Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit für die Herstellung von LP ist in DIN 18948, A.3 sowie in der entsprechenden PKR für LP [5] geregelt und wird volumenbezogen mit einem Kubikmeter (1 m^3) festgelegt.

A.2 Betrachtungszeitraum

Die eingesetzten Mengen an Rohstoffen, Energien sowie Verpackungen sind als Mittelwert von zwölf Monaten in dem betrachteten Werk 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 LP auf Basis der extern durchgeführten Datenerhebung beim Hersteller. Alle Daten beziehen sich auf das hydraulische Pressverfahren zur Formgebung (*Abs. 4.1*).

Tab. A.1 bildet die Inputfaktoren für einen m^3 LP ab. Die Inputfaktoren *pro* m^3 unterscheiden sich nicht nach Dicke der LP (16 und 22 mm). Die deklarierten LP bestehen zu \dots , aus Baulehm mit unterschiedlichen Tonanteilen, der als Primärgrubenlehm (*Abs. 3.2*) werksnah abgebaut wird. \dots ist Sekundärgrubenlehm als Bodenabfall aus der Sandgewinnung. Schiefermehl (\dots) ist ein mineralischer Zusatzstoff, der bei der Schieferherstellung als Abfall anfällt. Pflanzenstärke ist ein nach DIN 18948 zulässiger organischer Zusatzstoff, der bei geringer Zudosierung $<1 \text{ M.-%}$ zur Verbesserung des Formgebungsprozesses beiträgt. Unbehandelte Holzfasern \dots dienen der inneren Armierung der LP. Zur äußeren Armierung wird Jutegewebe einseitig während der Formgebung eingebracht.

Zwei Gasturbinen erzeugen die zur Trocknung der gepressten Lehmmischungen eingesetzte Wärmeenergie. Durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) entsteht dabei der Strombedarf für den Herstellungsprozess und exportierte elektrische Leistung. Der gesamte zurechenbare Gasverbrauch für die Wärmeerzeugung beträgt \dots [22]. Die technische Trocknung der LP erfordert einen anteiligen Energie-input aus Erdgas in Höhe von $\dots \text{ MJ/m}^3$ LP. Die aus der KWK resultierenden Netto-Stromüberschüsse nach Abzug des Eigenverbrauchs für die LP-Produktion ($\dots \text{ MJ/m}^3$ LP) betragen $\dots \text{ MJ/m}^3$ LP, der in andere Produktionsprozesse im Werk exportiert wird.

Tab. A.1 Sachbilanz der untersuchten LP

Produkte	Erläuterungen		
Lehmplatten 22/16mm	$\rho_d = 1.450 \text{ kg/m}^3$		
GESAMTVOLUMEN			Berechnungsgrundlage
INPUT	LP 1 und 2	Einheit	Bemerkungen
Ausgangsstoffe			(gerundet)
Baulehm		kg/m ³	Definitionen Abs. 3.2
– Primärgrubenlehm		kg/m ³	In Werksnähe
– Sekundärgrubenlehm		kg/m ³	Bodenabfall aus Kies-bzw. Sandgewinnung
Schiefermehl		kg/m ³	Abfall der Schieferproduktion
Holzfasern, unbehandelt		kg/m ³	
Stärke		kg/m ³	Pflanzenstärke
Bewehrungsgewebe		kg/m ³	Jutegewebe, einseitig
Brennstoff/Energieträger			Für Gasturbine (KWK)
Erdgas (Gesamt)		m ³	Gasverbrauch KWK p.a.
Erdgas (Wärmeanteil LP)		MJ/m ³	Allokation LP Trocknung
Erdgas (Stromanteil LP)		MJ/m ³	Allokation LP Herstellung
Diesel	3	l/m ³	Grubenbetrieb, Werksverkehr, Beschickung
Betriebsmittel			
Frischwasser	0,13	m ³ /m ³	mit Vorprodukten
Holzpaletten	12	kg	Pro Palette mit 50 LP
PE Folie	0,2	kg	t = 0,017 mm; pro Palette mit 50 LP
Pappe	1	kg	Kantenschutz pro Palette (50 LP)
OUTPUT			
Abfälle	3,7	kg/m ³	aus Vorketten
Abwasser	0,0025	m ³ /m ³	Aus Vorketten; abwasserfreie Produktion
exportierte elektrische Energie EEE		MJ/m ³	KWK Netto-Stromüberschuss nach Eigenbedarf für LP Produktion

TEIL B ÖKOBILANZ

Die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN ISO 14044 zur Erstellung einer Typ III UPD nach DIN EN 15804 beruht auf einer Lebenszyklusanalyse (LCA) nach Herstellerangaben, bei der für jede deklarierte Zyklusstufe die Ressourcenverbräuche und entsprechende Umweltwirkungen abgeleitet werden. Die Bilanzdaten bilden Durchschnittswerte pro m³ LP ab (Abs. A1) ab. Diese beziehen sich auf das angegebene Produktionsvolumen in Höhe von m³ LP im Jahr 2022.

B.1 Ziel 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 / Konstruktionen mit LP. Ein weiteres Ziel bezieht sich auf die Optimierung von Produktionsprozessen und Verfahrenstechniken durch das Aufzeigen ökologischer Schwachstellen, durch deren Beseitigung Umweltbelastungen reduziert werden können. Ein drittes Ziel ist die Beantwortung der Frage, ob sich aus Gebäudeabbruch oder Demontage zurückgewonnene LP mit „ökologischem Gewinn“ wiederverwenden bzw. wiederverwerten lassen (IM D1 – D3).

B.2 Zielgruppen der Analyse

Zielgruppen der Analyse sind Hersteller, Anwender der LP, Planer und Entscheidungsträger, die die Ergebnisse zur ökologischen Optimierung eines Bauteils oder Bauwerks verwenden können.

B.3 Referenznutzungsdauer

Die Referenznutzungsdauer (RSL – Reference Service Life) ist die Nutzungsdauer, die unter der Annahme bestimmter Nutzungsbedingungen (z. B. Standardnutzungsbedingungen) für ein Bauprodukt zu erwarten ist. Mit Bezug auf den Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD GmbH, Version 2014 [9] wird eine RSL für LP von 50 Jahren zugrunde gelegt.

B.4 Abschneidekriterium

Entsprechend DIN 18948, A.3 werden alle Stoffflüsse berücksichtigt, die in das Produktionssystem fließen (Inputs) und mehr als 1 % der Gesamtmasse der Stoffflüsse oder mehr als 1 % des Primärenergieverbrauchs betragen. Das trifft auf Jutegewebe, Holzpaletten und Verpackungsmaterial zu. Die Transportwege für diese Komponenten sind in Modul A2 enthalten.

Abweichend davon werden Stoffflüsse erfasst, die das System verlassen (Emissionen) und deren Umweltauswirkungen > 1 % der gesamten Auswirkungen einer in der Bilanz berücksichtigten Wirkungskategorie darstellen. Das betrifft die eingesetzte Pflanzenstärke (<1 M.-%).

IDie zur Herstellung benötigten Maschinen, Anlagen und Infrastruktur wurden nicht bilanziert.

B.5 Annahmen und Abschätzungen

Die Annahmen und Abschätzungen betreffen Schiefermehl, Holzfasern, den Abriss (Modul C1), die Abfallaufbereitung (Modul C3) sowie die Rückgewinnungspotenziale (Module D1 – D3).

Schiefermehl: wird als Abfallstoff (AVV 17 01 02) in das System LP „importiert“. Die erforderlichen Aufbereitungsprozesse (Sieben / Mahlen) werden mit entsprechenden Ressourceneinsätzen und Umweltwirkungen dem betrachteten System im Modul A3 zugeordnet. Schiefermehl ersetzt Primärrohstoffe und wird in *Tab. A.1, Z.8* als „eingesetzte Sekundärstoffe SM“ erfasst.

Holzfasern: Holzfasern sind ein Kuppelprodukt der Schnittholzproduktion [10; 11; 12]. Die verwendeten Bilanzdaten (IM A1) für Holzfasern basieren auf der UPD für Holzfasern für lose Dämmung [13].

CO₂-Speicherung in Holzfasern: Die Umrechnung der Holzmasse in CO₂ erfolgt über die im Holz enthaltene Kohlenstoffmenge und das Verhältnis der Molmassen von CO₂ zu C (44/12). Der Kohlenstoffgehalt im Holz wird für alle Holzarten mit 50 % der absolut trockenen Holzmasse angenommen. Somit entspricht 1 kg absolut trockene Holzmasse etwa 1,832 kg CO₂ [10; 12] Die in

der einbezogenen UPD [13] bilanzierten Holzfasern enthalten 1,55 kg CO₂ / kg Holzfasern. Rechnerisch können die in der Lehmplatte enthaltenen $\text{kg Holzfasern pro m}^3 \text{ LP}$ kg CO_2 speichern (nach Verhältnis der Molmassen

Der rechnerische Wert berücksichtigt nicht den Feuchtegehalt der Holzfasern. Aufgrund dieser Unsicherheit wird der niedrigere Wert aus der UPD für lose Holzfaserdämmstoffe [13] mit 1,55 kg CO₂/kg Holzfasern angenommen (worst case Ansatz). In der Gesamtbilanz der Treibhausgasemissionen für Holzfasern werden die Treibhausgasemissionen für die Bereitstellung der Holzfasern mit $\text{kg Holzfasern einbezogen}$.

Während der Wachstumsphase eines Baumes wird der Atmosphäre durch die Photosynthese CO₂ entzogen und in Form von Kohlenstoff in das Holz eingelagert, welches am Lebensende nur bei energetischer Verwertung wieder in die Atmosphäre entlassen wird. LP werden am Lebensende ausschließlich stofflich wiederverwendet bzw. wiederverwertet (Modul D1 – D3) und das gebundene CO₂ verbleibt im System.

Demontage (C1): LP finden ausschließlich Anwendung im Trockenbau als Decken- und Wandbekleidung. Die LP werden entsprechend der Herstellerangaben auf einem Ständerwerk verschraubt (*Abs. 5.1*). Die LP lassen sich weitgehend zerstörungsfrei und einfach manuell demontieren, etwa bei Umbauten in Gebäuden. Ein Gebäudeabriss ist nicht erforderlich. Auf eine Quantifizierung des Demontageaufwandes wurde verzichtet, da es sich überwiegend um manuelle Arbeit handelt.

Abfallaufbereitung (C3): Die Annahmen zum IM C3 basieren auf Untersuchungen der FH Potsdam zur Aufbereitung von LP durch Auflösung in Wasser (Einsumpfen / Nassverfahren) und trockenes Zermahlen (Trockenverfahren) [14]. Dazu wurde die Stoffzusammensetzung hinsichtlich der Möglichkeit der Wiederverwertung für neue LP oder zur Weiterverwertung für andere Lehmbaustoffe labortechnisch analysiert. Für die Bewertung des Trockenverfahrens in IM C3 wurden die Leistungsdaten eines im Baustoffrecycling üblichen Prallbrechers angesetzt [18].

Rückgewinnungspotenzial (D): Die Darstellung eines Rückgewinnungspotenzials für LP ist abhängig von der Entwicklung betriebswirtschaftlich sinnvoller, praxistauglicher Rückbautechniken und Aufbereitungsverfahren für sortenrein zurückgewonnene LP. Eine direkte Wiederverwendung demontierter LP ersetzt den gesamten Produktionsdurchlauf und verschafft den LP einen weiteren Lebenszyklus (IM D1). Die nach dem Nassverfahren oder Trockenverfahren rückgewinnbaren Inhaltsstoffe ermöglichen die Substitution der Ausgangsstoffe zur Wiederverwertung für neue LP (IM D2). Die nach dem Trockenverfahren rückgewinnbaren trockenen mineralischen Inhaltsstoffe ermöglichen die Substitution originär hergestellter Vorprodukte / Komponenten (Trockenlehm / Tonmehl) zur Wiederverwertung für andere trocken hergestellte Lehmbaustoffe (IM D3).

B.6 Datenqualität

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

Die Datenerfassung für die untersuchten Produkte und Verfahren erfolgte durch Befragung mittels eines strukturierten Erfassungsbogens (24. März 2023), einer Vor-Ort Besichtigung im Werk am 24. April 2023 und einer Überarbeitung der erfassten Daten und Berechnungen am 02. Mai 2023. Alle Daten und Berechnungen sind beim Programmbetreiber hinterlegt.

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

Tab. B.1 Übersicht Datengrundlagen¹

Nr.	Daten	Hintergrunddatensätze
1	Primärgrubenlehm	Ecoinvent 3.9, Nov. 2015 [15]; zum Vergleich: UBA ProBas 2000: Bereitstellung Grubenlehm [16]
2	Holzfasern	UPD GUTEX Holzfaser Einblasdämmung 2019 [13]; Zum Vergleich: von Thünen Institut in ÖKOBAUDAT [17]; Forschungszentrum Karlsruhe/ BFH [12];
3	Pflanzenstärke	UBA ProBas [16], Kartoffelstärke
4	Erdgas	GaBi 2020 in: ÖKOBAUDAT[17], zum Vergleich: GEMIS 5.0 [16]; UBA ProBas 2010 [16];
5	Transport zum Werk (35-40 t, EURO 5, 27 t Nutzlast, 85 % Auslastung)	GaBi 2020 in: ÖKOBAUDAT[17]
6	Transport im Werk (Diesel)	GaBi 2020 in: ÖKOBAUDAT [17]
7	Abfallaufbereitung	FH Potsdam [14]; Herstellerdaten REMAX SMA 200 [18]
8	Rückgewinnungspotenzial	FH Potsdam [14]; zum Vergleich: UPD LPM DVL [19]

¹ Bei Vorliegen mehrerer Datenquellen wurde die neueste oder worst-case Variante übernommen. Zusätzlich zu Datenbanken und originären Daten aus Umweltbilanzen wurde entsprechende Fachliteratur herangezogen (s. Literaturnachweis).

B.7 Allokation

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

Schiefermehl fällt bei der Schieferherstellung als Staubabfall an und nur der Transport ins Werk wird dem System der Lehmplattenproduktion zugerechnet. Sekundärgrubenlehm und Schiefermehl sind in *Tab. B2* als Nutzung von Sekundärrohstoffen (SM) bilanziert.

Im Werk wird Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genutzt, dabei entstehen Wärme und Strom gleichzeitig am selben Produktionsstandort. Der Wärmebedarf zur Trocknung der LP wird durch zwei Gasturbine mit 200 kW und 50 kW elektrischer Leistung gedeckt. Der thermische Wirkungsgrad beträgt 52 % der eingesetzten Energiemenge, der elektrische Wirkungsgrad beträgt 33 %. Der Stromüberschuss nach Eigenverbrauch für die Herstellung von LP wird in andere Prozesse am Produktionsstandort eingespeist. Die Sachbilanz weist die überschüssige Strommenge als exportierte elektrische Energie in MJ/m³ LP aus (EEE, *Tab. B.5*). Die Allokation von Wärme und Strom in das betrachtete System aus gekoppelten Prozessen wird nach verschiedenen Methoden unter Einbeziehung der Verbrauchsdaten der Gasturbine berechnet [20] und ein worst case Szenario zugrunde gelegt.

B.8 Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse (LCA)

Für das Produkt „Gebäude“ sind alle IM A – D nach *Tab. B.2 – B.4* zu berücksichtigen. In der Produktebene „Baustoff“ entstehen in der Errichtungs- und Nutzungsphase (IM A4/A5 u. B) mit LP keine Ressourcenverbräuche mit entsprechenden Umweltauswirkungen. Die Deklaration der IM A1 – A3, C und D entspricht der UPD-Art „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“.

Zu folgenden erweiterten Umweltindikatoren in *Tab. B.1.1* liegen keine Daten vor:

Tab. B.1.1: 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	IRP	kBq U235-Äq.	Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP: Ionizing Radiation Potential)
3	Ökotoxizität (Süßwasser)	ETP-fw	CTUe	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (CTUe: Comparative Toxic Unit for ecosystems; ETP: Ecological Toxic Potential)
4	Humantoxizität kanzerogene Wirkungen	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	HTP-nc	CTUh	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-nc: Human Toxic Potential-non carcinogenic)
6	Mit der Landnutzung verbundene Wirkungen / Bodenqualität	SQP	-	Potenzieller Bodenqualitätsindex (SQP: Soil Quality Index)

Tab. B.2 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte nach DIN 18948 – Inputfaktoren

Lehmplatte 16/22mm nach DIN 18948

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA

Darstellung gemäß prEN 15942 Anhang A Muster ITM - Tabelle A2

Funktionale Einheit m ³		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		Einheiten	MJ H _u	kg	MJ H _u	MJ H _u	m ³					
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	1,02E+02	2,11E+03	2,21E+03	1,10E+03	7,84E+01	1,18E+03	2,61E+02	0,00E+00	0,00E+00	5,69E-01
	Transport	A2	2,21E+00	0,00E+00	2,21E+00	3,70E+01	0,00E+00	3,70E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,94E-03
	Herstellung	A3	7,48E+00	0,00E+00	7,48E+00	2,93E+06	0,00E+00	3,01E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,84E-02
	SUMME	A1-A3	1,12E+02	2,11E+03	2,22E+03	2,93E+06	7,84E+01	4,23E+03	2,61E+02	0,00E+00	0,00E+00	6,69E-01
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallverwertung/-aufbereitung	C3	6,03E-05	0,00E+00	6,03E-05	1,65E-02	0,00E+00	1,65E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,00E-08
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwendung LP	D1	-9,89E+01	-1,90E+03	-2,00E+03	-2,64E+06	-7,06E+01	-3,77E+03	-2,35E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwendung neue LP	D2	-1,02E+02	-2,11E+03	-2,21E+03	-1,10E+03	-7,84E+01	-1,18E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung Trockendosierverfahren	D3	-5,18E+01	0,00E+00	-5,18E+01	-1,37E+03	0,00E+00	-1,37E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

PERE = Nutzung erneuerbarer Primärenergie ausgenommen erneuerbare Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden

PERM = Nutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden

PERT = Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen

PENRE = Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen ausgenommen nicht erneuerbare Energieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden

PENRM = Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden

PENRT = Gesamtnutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen

SM = Nutzung von Sekundärstoffen

RSF = Nutzung erneuerbarer Sekundärbrennstoffe

NRSF = Nutzung nicht erneuerbarer Sekundärbrennstoffe

FW = Nettonutzung von Frischwasser

MB = Modul beschrieben

MND = Modul nicht deklariert

MNR = Modul nicht relevant

nach PKR LP Ü5 [5]

Tab. B.3 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte nach DIN 18948 – Umweltwirkungsfaktoren

Lehmplatte 16/22mm nach DIN 18948										Ergänzende Parameter		
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß prEN 15942 Anhang A Muster ITM - Tabelle A2												
Funktionale Einheit m ³		Parameter	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	GWP Prozess (fossil)	GWP (biogen)	GWP LuL
		Einheiten	kg CO ₂ äquiv	kg CFC-11 äquiv	kg SO ₂ äquiv	kg PO ₄ ³⁻ äquiv	kg C ₂ H ₆ äquiv	kg Sb äquiv	MJ H ₂ äquiv	kg CO ₂ äquiv	kg CO ₂ äquiv	kg CO ₂ äquiv
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	-1,20E+02	5,70E-07	6,24E-02	1,21E-02	1,05E-01	1,60E-05	1,13E+03	1,30E+01	-1,33E+02	0,00E+00
	Transport zum Werk	A2	2,82E+00	4,28E-10	4,98E-03	1,16E-03	1,43E-03	2,31E-04	3,70E+01	2,80E+00	1,52E-03	1,79E-02
	Herstellung	A3	1,68E+02	3,15E-10	8,56E-02	1,42E-02	1,24E-02	9,65E-03	3,00E+03	1,68E+02	0,00E+00	0,00E+00
	Summe (des Produktstadiums)	Gesamt	5,11E+01	5,70E-07	1,53E-01	2,75E-02	1,19E-01	9,90E-03	4,17E+03	1,84E+02	-1,33E+02	1,79E-02
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Rückbau, Abriss	C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallverwertung/-Aufbereitung	C3	1,47E-04	6,81E-14	5,43E-07	3,64E-08	9,25E-08	4,11E-08	1,64E-02	1,47E-04	0	0
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwendung LP	D1	-1,14E+02	-5,13E-07	-1,33E-01	-2,37E-02	-1,06E-01	-8,70E-03	-3,72E+03	-1,14E+02	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung neue LP	D2	-3,34E+01	-5,70E-07	-6,24E-02	-1,21E-02	-1,05E-01	-1,60E-05	-1,13E+03	-1,30E+01	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung Komponenten	D3	-9,30E+01	-1,34E+01	-1,34E+01	-1,34E+01	-1,34E+01	-1,34E+01	-7,09E+02	-9,30E+01	0,00E+00	0,00E+00

GWP = Globales Erwärmungspotenzial gesamt

GWP fossil = Treibhausgaspotenzial fossiler Energieträger und Stoffe (DIN EN 15804, C.2.3)

GWP biogen = Treibhauspotenzial biogen (DIN EN 15804, C.2.4), z.B. biogener Kohlenstoffgehalt

GWP luluc = Treibhauspotenzial der Landnutzung u. Landnutzungsänderung (engl.: luluc: land use and land use change)

ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht

AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (zu

EP = Eutrophierungspotenzial

POCP = Potenzial hinsichtlich der Bildung von troposphärischem Ozon

ADPE = Potenzial für den abiotischen Ressourcenabbau – Elemente für nicht fossile Ressourcen

ADPF = Potenzial für den abiotischen Ressourcenabbau – fossile Brennstoffe

MB = Modul beschrieben

MND = Modul nicht deklariert

MNR = Modul nicht relevant

Nach PKR LP Ü5 [5]

Tab. B.4 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte – Outputfaktoren

Lehmplatte 16/22mm nach DIN 18948										
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß EN 15942 Anhang A Muster ITM - Tabelle A5										
Funktionale Einheit m ³	Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET	
		Gefährlicher Abfall zur Deponie	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall	Entsorgter radioaktiver Abfall	Komponenten für die Wiederverwendung	Stoffe zum Recycling	Stoffe für die Energierückgewinnung	Exportierte Energie elektrisch	Exportierte Energie thermisch	
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ	
Produktstadium	Versorgung mit Rohstoffen	A1	3,25E-02	2,53E-02	3,70E-04	0,00E+00	1,16E+03	0,00E+00	0,00E+00	1,24E-04
	Transport	A2	1,25E-03	1,52E-03	3,01E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	1,12E-03	6,54E-01	3,77E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,27E+02	9,27E+02
	Summe (des Produktstadiums)	A1-A3	3,49E-02	6,80E-01	3,78E-01	0,00E+00	1,16E+03	0,00E+00	9,27E+02	9,27E+02
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	0	0	0	0	0	0	0	0
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallverwertung/-aufbereitung	C3	1,17E-09	8,55E-08	8,78E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwendung LP	D1	-3,14E-02	-6,12E-01	-3,40E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung neue LP	D2	-3,25E-02	-2,53E-02	-3,70E-04	0,00E+00	-1,16E+03	0,00E+00	0,00E+00	-1,24E-04
	Wiederverwertung Komponenten	D3	-2,96E-01	-1,75E-01	0,00E+00	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 für die Wiederverwendung

MFR = Stoffe zum Recycling

MER = Stoffe für die Energierückgewinnung

EEE = Exportierte Energie elektrisch

EET = Exportierte Energie thermisch

MB = Modul beschrieben

MND = Modul nicht deklariert

MNR = Modul nicht relevant

Nach PKR LP Ü5 [5]

TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ

Im Teil C werden ausgewählte Ergebnisse der Ökobilanz (Tab. B.2.2 – B.2.4) in Form von Balkendiagrammen für die Parameter Primärenergieeinsatz (PEI) und Treibhausgaspotenzial (GWP 100) sowie für das Nachnutzungsmodul IM C3 und die Rückgewinnungspotenziale in IM D1 – D3 dargestellt und interpretiert (Abb. C.1 – C.3, Tab. C.3.1 – C.3.3).

C.1 Primärenergieeinsatz

Von den 6.445 MJ/m³ LP (Tab. B 2: PERT+PENRT) entfallen 53 % auf die Ausgangsstoffe. Ursächlich dafür ist der in die Ökobilanz einbezogene Energieaufwand für die Bereitstellung der Holzfasern in Höhe von 3.350 MJ/m³. Die dafür eingesetzte Energie stammt zu 66 % aus regenerativen Energieträgern (z. B. Holzabfälle im Sägewerk).

Bei den Ausgangsstoffen entfallen 41,9 MJ/m³ LP auf den Grubenbetrieb zur Bereitstellung des Ausgangsstoffs Primärgrubenlehm (73 M.-%). Der restliche Energieinput für die Ausgangsstoffe bezieht sich auf die Bereitstellung von < 1 M.-% Stärke (1,21E-04 MJ/m³ LP)).

Die Transporte zum Werk enthalten mit 39,2 MJ/m³ LP für die Transporte der Grubenlehme, des Schiefermehls, der Holzfasern, der Stärke und aller Verpackungsmaterialien.

Die Durchschnittswerte für den Primärenergieeinsatz in *Tab. B.2* basieren auf Verbrauchsangaben des Herstellers. Nach vorgelagerten Aufbereitungs-, Dosier- und Mischprozessen folgen die Formgebung der plastischen Mischung der Ausgangsstoffe und die Verdichtung durch hydraulische Pressung. Die feuchten „Rohlinge“ haben einen Wassergehalt von durchschnittlich 18,5 %. Sie werden auf Stellagen mit luftdurchlässigen Lochblechen in Trockenkammern gefahren. Die anschließende Trocknung nutzt die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus zwei Gasturbinen mit 200 kW bzw. 50 kW elektr. Leistung. Der Trocknungsprozess stellt die entscheidende Einflussgröße für den Primärenergieverbrauch dar. Die Verteilung der Wärme- / Stromenergie wurde anhand der Leistungsdaten der in Betrieb befindlichen Gasturbine überprüft und berechnet. Aus dem Energieeinsatz entstehen zu 33 % Strom und zu 52 % Wärme, der Rest sind Transformationsverluste. Nach dem KWK-Prinzip entsteht dabei 7-mal mehr elektrische Energie als für die Herstellung der Lehmplatten (139 MJ/m³ LP) benötigt wird.

Erdgas (Typ H; unterer Heizwert 10,5 kWh/m³) ist der Energieträger für die Gasturbinen. Die Vorketten bis zur Bereitstellung des Erdgases gehen in die Berechnung des Gesamtenergieeinsatzes zur Herstellung (IM A3) mit 3.020 MJ/m³ LP ein. Die durch KWK erzeugte, exportierte elektrische Energie steht mit 1.100 MJ/m³ LP dagegen (*netto 2,10E+03 MJ/m³ LP in Abb. C.1*). Dieserverbräuche für den Grubenbetrieb, die Zufuhr der Ausgangsstoffe zur Produktion und andere Transportwege auf dem Werksgelände summieren sich auf 128 MJ/m³ LP und sind im Wert für die Herstellung enthalten.

Insgesamt weist die Energiebilanz 66 % nicht regenerative Primärenergie (PENRT) und 34 % erneuerbare Primärenergie (PERT) (*Tab. B.2*) aus.

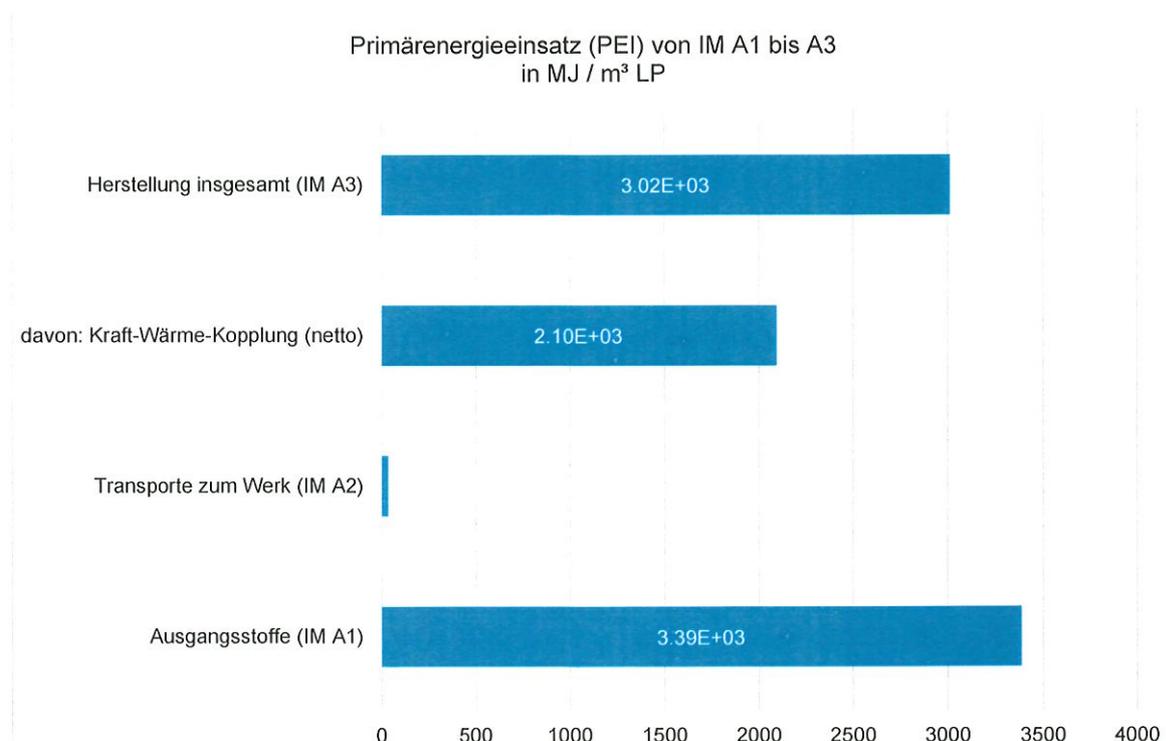


Abb. C.1. Primärenergieeinsatz nach Modulen (IM) für m³ LP

C.2 Treibhausgaspotenzial (GWP)

Die Treibhausgaspotenziale als CO_2 äquiv. werden als GWP 100 in ihrer Klimawirkung über 100 Jahre betrachtet. Die für LP verwendeten Holzfasern enthalten gebundenes CO_2 , das in die Berechnung einbezogen wurde.

Demnach ergibt sich ein durchschnittliches Treibhausgaspotenzial (GWP 100) vom Ausgangsstoff bis zum Werkstor (Module A1 – A3) in Höhe von rund $51 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv./m}^3 \text{ LP}$ (Abb. C.2 und Tab. B.3). Zur besseren Vergleichbarkeit empfiehlt sich eine Umrechnung des GWP 100 von LP auf CO_2 equiv./kg. Bei einer Rohdichte der LP von 1.450 kg/m^3 ergibt das ein massebezogenes GWP von $0,035 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv./kg LP}$.

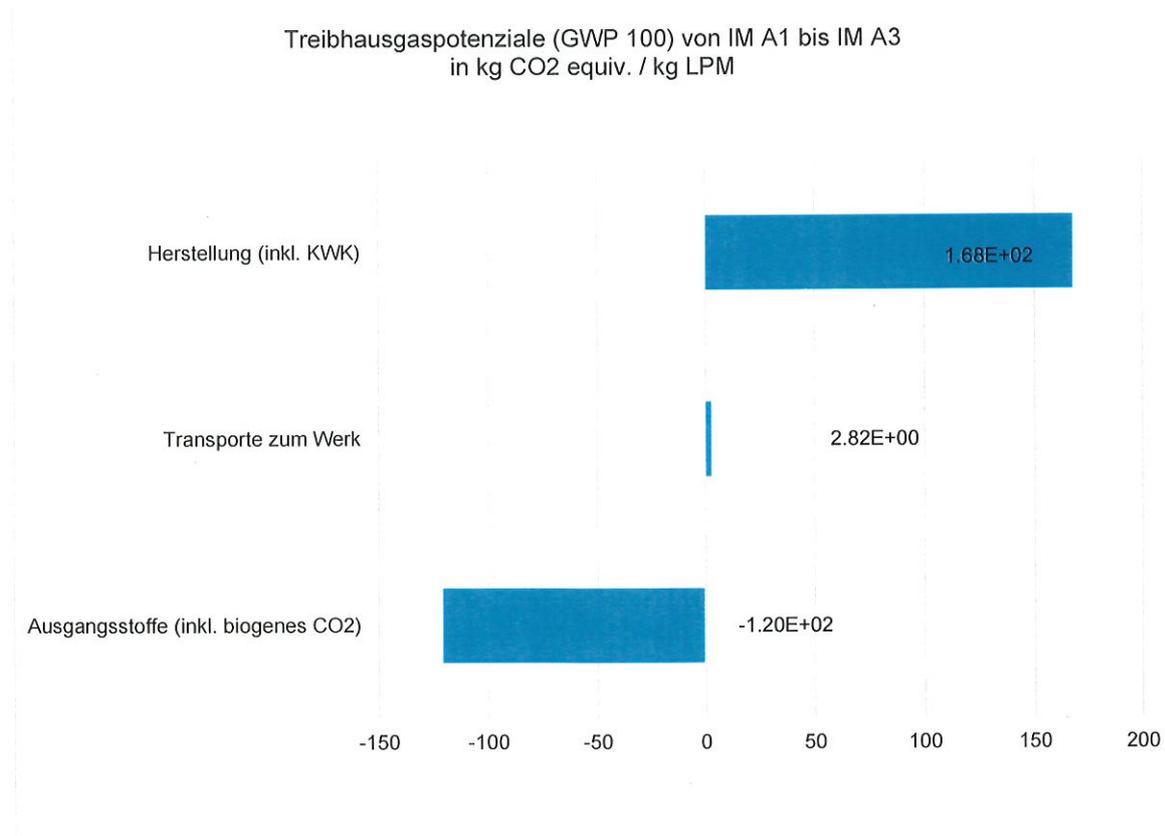


Abb. C.2: Treibhausgaspotenziale IM A1 bis IM A3 pro $\text{m}^3 \text{ LP}$ (GWP 100)

In Abb. C.2 summiert sich der Herstellungsprozess in IM A3 der LP auf $168 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv./m}^3 \text{ LP}$, davon 99 % für die Trocknung durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit Erdgas als Energieträger. Die anderen Prozessschritte in der Fertigung speisen ihren Strombedarf überwiegend aus der KWK der Gasturbinen, dementsprechend irrelevant ist der direkte Beitrag zu den Treibhausgasemissionen. Die Dieselverbräuche im Werk führen zu $0,74 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv./m}^3 \text{ LP}$.

Transporte zum Werk tragen mit $2,8 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv./m}^3 \text{ LP}$ oder 5,5 % zu den Treibhausgaspotenzialen bei. Der Hersteller verfügt über Lehmgruben am Werk, ergänzt durch Lehmzulieferungen im Umkreis von 22 km. Die Zulieferung von Sekundärgrubenlehm, Schiefermehl, Stärke, Jute und alle Verpackungen sind in der Transportbilanz (IM A2) zum Werk enthalten.

Im Mix der Ausgangsstoffe trägt Primärgrubenlehm mit $3,1 \text{ kg CO}_2 \text{ equiv.}$ oder 6 % zum GWP bei.

Unbehandelte Holzfasern sind mit LP enthalten. Die Anrechnung der in Holzfasern enthaltenen Kohlenstoffmenge erfolgt nach *Abs. B.5*. Der in Holzfasern enthaltene Kohlenstoff wird im Verhältnis der Molmassen von CO₂ zu C (44/12) umgerechnet. Der gebundene Kohlenstoff senkt die Summe der Treibhausgasemissionen der eingesetzten Ausgangsstoffe in Modul IM A1 insgesamt auf einen negativen Wert von – 120 kg CO₂_{equiv}/m³ LP. 1 kg absolut trockene Holzmasse entspricht etwa 1,832 kg CO₂ [10;11;12]. Die hier angewandte Berechnung des gebundenen CO₂ in Holzfasern nach der UPD für Holzfaserdämmung geht von einer niedrigeren CO₂-Bindung von 1,55 kg CO₂/kg Holzfaser aus [13].

C.3 Aufbereitung (IM C3) und Rückgewinnungspotenzial (IM D1–D3)

Nachfolgend werden drei Rückgewinnungsszenarien D1 – D3 für LP bewertet [14]:

D1: zerstörungsfreie Demontage von LP vor Gebäudeabriss zur Wiederverwendung (*Tab. C.3.1*),

D2: Replastifizierung von LP-Bruch („Einsumpfen“) zur Wiederverwertung (*Tab. C.3.2*),

D3: Schreddern von LP-Bruch zu Lehm-Rezyklat als Ersatz von Trockenlehm (*Tab. C.3.3*),

Demontierte LP können grundsätzlich ohne erneute Produktionsschritte wiederverwendet werden. Wie alle Lehmbaumstoffe lassen sich auch LP mit geeigneten LPM reparieren. Abbruchkanten, die bei Demontage entstehen können, ließen sich damit wieder auffüllen und glätten. Anhaftende LPM aus vorangegangener Nutzung werden mit Gewebeflächen aufgebracht. Der alte LPM kann mit dem Gewebe manuell abgelöst werden. Diese Anwendungspraxis vorausgesetzt, wird das Rückgewinnungspotenzial der Wiederverwendung in IM D1 mit einem angenommenen Demontageverlust von 10 M.-% berechnet.

In IM C3 wird die Aufbereitung des rückgewonnenen LP-Abbruchmaterials analysiert. Sie kann im *Nassverfahren* als Teil des Prozesses zur Wiederverwertung im Werk durch Wasserzugabe, „Einsumpfen“ und Mauken erfolgen. Für dieses Verfahren lassen sich Bilanzdaten nicht sinnvoll quantifizieren, weil bisher keine industrielle Verfahrenstechnik bekannt ist und es nur vereinzelt in-situ vorkommt.

Bei „*Trockenverfahren*“ wird die ursprüngliche Produktgestalt der LP im Abbruchmaterial (IM D2 und IM D3) durch mechanische Zerkleinerung zerstört. Die entsprechenden Verfahren sind durch Leistungsdaten geeigneter Anlagen bilanzierbar.

Trockene-Aufbereitungstechniken sind maschinelle Zerkleinerungsprozesse mit stationär oder mobil einsetzbaren Maschinen, deren Leistungsdaten für eine Bilanzierung in IM C3 genutzt werden können. Diese Aufbereitungstechnik eröffnet zusätzliche Rückgewinnungspotenziale zur Wiederverwertung für andere Lehmbaumstoffe als LP und Weiterverwertung außerhalb des Systems Lehm. Zur Bewertung des Nettoeffektes dieses Rückgewinnungsverfahrens werden der Primärenergieeinsatz sowie die Umweltwirkung der Aufbereitungstechnik ermittelt, um diese dem Einsparpotenzial bei einer Wiederverwertung für andere Lehmbaumstoffe gegenüberzustellen (*Abb. C. 3.1*).

Ausgewählt wurde eine für das Baustoffrecycling typische Prallmühle (Modell: SBM Remax 200) mit 0,23 l/t Dieselverbrauch einschließlich Stromgenerator [18]. Solche Prallmühlen zerkleinern v. a. härtere Materialien als Lehm, z. B. Beton. Deshalb dürfte der hier zur Bilanzierung angenommene Verbrauch für LP tendenziell zu hoch angesetzt sein, wird aber beibehalten. Ein zusätzlicher Windsichter mit 30 kW Leistung bei 80 t/h Durchsatz sorgt für die Trennung leichterer Holzbestandteile von schwereren mineralischen Komponenten. Eine kombinierte trockene Aufbereitungstechnik bestehend aus Schredder und Windsichter verbraucht 0,27 l Diesel / t Materialdurchsatz.

Die betrachtete Schredderanlage verbraucht 13,6 MJ/m³ LP zur Wiederverwertung. Die Treibhausgasemissionen bei einem Betrieb mit dem angegebenen Dieserverbrauch betragen 1,5 g CO₂equiv./m³ LP. *Abb. C. 3* zeigt zwei Kenngrößen der Bilanzierung des IM C3. Zum einen beträgt der Primärenergieeinsatz bei einem Diesetrieb der unterstellten Aufbereitungstechnik 1,65E-02 MJ/m³ LP. Zum anderen entstehen Treibhausgasemissionen als GWP 100 mit 1,47E-04 kg CO₂ equiv./m³ LP.

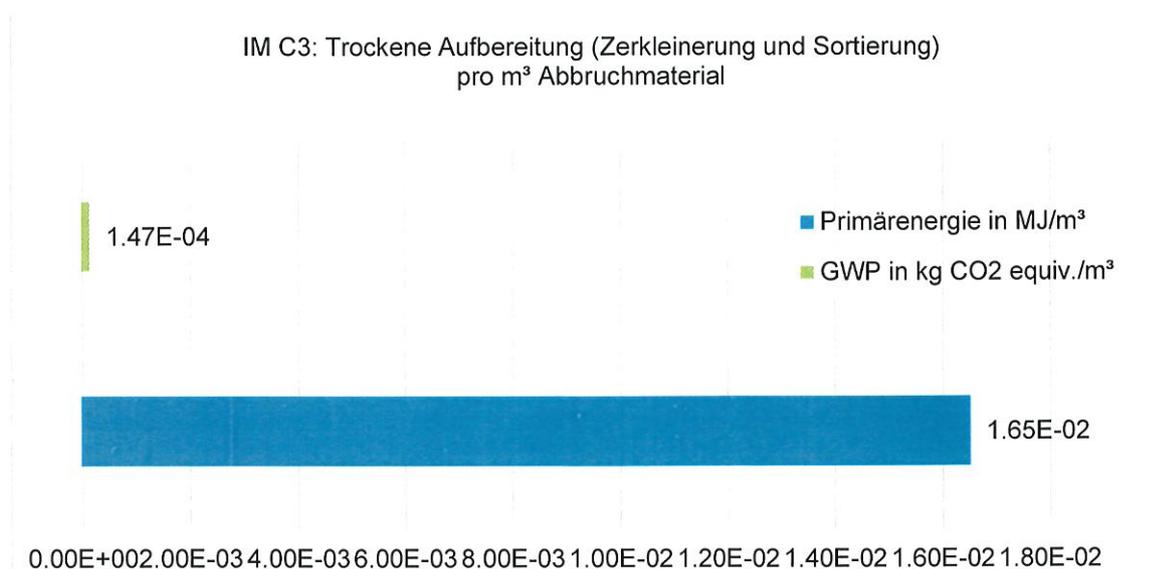


Abb. C.3 Aufbereitung IM C3: Schreddern von Lehmplatten – Trockenverfahren

Die untersuchten LP bestehen zu ... aus Primär- bzw. Sekundärgrubenlehm und Schiefermehl. Schiefermehl und Holzfasern ... sind als Zusatzstoffe für die Herstellung neuer LP sowie anderer Lehmprodukte (DIN 18945-18948) zulässig. Nach Qualitätskontrollen des Rezyklats und Siebanalysen können Anpassungen für spezifische Rezepturen für neue LP oder andere neue Lehmabstoffe vorgenommen werden.

Tab. C.3.1 veranschaulicht die Rückgewinnungspotenziale im IM D1 unter der Annahme, dass bei einer Demontage von LP ein Verlust von 10 M.-% entsteht. Unter dieser Voraussetzung kann die Wiederverwendung einen großen Teil des sonst erforderlichen Energieinput für neu zu produzierende LP in Höhe von rund 5.190 MJ/m³ LP (IMA1 und A3) einsparen. Die Abschätzung der eingesparten Treibhausgasemissionen bezieht sich bei den Ausgangsstoffen auf die tatsächliche Mengeneinsparung ohne rechnerische CO₂-Gutschriften. Dadurch lassen sich netto 102 kg CO₂ equiv./m³ LP-Rezyklat vermeiden. Die Demontage der LP (IM C1) wird nicht bewertet.

Tab. C.3.1 Rückgewinnungspotenziale IM D1 – Wiederverwendung demontierter LP

LP nach DIN 18948 - Modul D1 Wiederverwendung der LP						
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA						
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM						
Funktionale Einheit m ³	Parameter	PERT	PENRT	PEI = PERT + PENRT	GWP (Gesamt)	
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg CO ₂ äquiv.
End-of-life Stadium	Abfallaufbereitung, einsumpfen/mauken	C3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwendung LP	D1	-1,80E+03	-3,40E+03	-5,19E+03	-1,02E+02
Netto-Rückgewinnungspotenzial	Wiederverwendung LP	D1 +C3	-1,80E+03	-3,40E+03	-5,19E+03	-1,02E+02

Für eine Wiederverwertung nach IM D2 kommt neben dem Trockenverfahren zur Aufbereitung (*Abb. C.3.1*) auch das Nassverfahren mit Einsumpfen und Mauken in Frage.

Die Rückgewinnungspotenziale durch Wiederverwertung für neue LP in IM D2 (*Tab. C.3.2*) ergeben sich allein aus der vollständigen Substitution der originären Ausgangsstoffe durch rückgewonnene Recyclingstoffe. Der Herstellungsprozess muss auch mit den Recyclingstoffen wiederholt werden und kann nicht eingespart werden. Die Substitution der Ausgangsstoffe (IM A1) reduziert den Primärenergieeinsatz um 3.390 MJ/m³ LP und vermeidet Treibhausgase in Höhe von 33,4 kg CO₂ equiv./m³ LP. Die Klimaentlastungseffekte entfallen auf Primärgrubenlehm, Stärke und den reinen Herstellungsprozess von Holzfasern (A3: 0,4 kg CO₂ equiv./ kg Holzfasern) ohne Berücksichtigung des gebundenen CO₂.

Tab. C.3.2 Rückgewinnungspotenziale IM D2 – Wiederverwertung für neue LP

LP nach DIN 18947 - Modul D2 Rückgewinnungspotenziale als neue LP						
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA						
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM						
Funktionale Einheit m ³	Parameter	PERT	PENRT	PEI = PERT + PENRT	GWP (Gesamt)	
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg CO ₂ äquiv
End-of-life Stadium	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,03E-05	1,65E-02	1,65E-02	1,47E-04
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LP (Ausgangsstoffe)	D2	-2,21E+03	-1,18E+03	-3,39E+03	-3,34E+01
Netto-Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwertung LP (Ausgangsstoffe)	D1 +C3	-2,21E+03	-1,18E+03	-3,39E+03	-3,34E+01

Tab. C.3.3 zeigt die Umweltkennzahlen zum Primärenergieeinsatz bei einer Wiederverwertung des in einer LP enthaltenen Primär- und Sekundärgrubenlehm, als Substitut für Trockenlehm im IM D3 für andere Lehmbauprodukte als LP.

Tab. C.3.3 Rückgewinnungspotenziale IM D3 – Substitution von Trockenlehm

LP nach DIN 18948 - Modul D3 Rückgewinnungspotenziale für Lehm-Trockendosierverfahren						
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA						
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM						
Funktionale Einheit kg		Parameter	PERT	PENRT	PEI = PERT + PENRT	GWP (Gesamt)
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg CO ₂ äquiv
Entsorgungs- stadium	Abfallaufbereitung, trocken	C3	6,03E-05	1,65E-02	1,65E-02	1,47E-04
Rückgewinnungs- potenziale	Wiederverwertung LP (für Trockendosierverfahren)	D3	-6,57E-02	-1,37E+03	-1,37E+03	-9,30E+01
Netto- Rückgewinnungs- potenziale	Wiederverwertung LP (für Trockendosierverfahren)	D1+C3	-6,56E-02	-1,37E+03	-1,37E+03	-9,30E+01

Zur Berechnung der Rückgewinnungspotenziale bei Wiederverwertung des trocknen Primär- und Sekundärgrubenlehms in einer LP konnte auf Umweltbilanzdaten eines Herstellers für diese Trockenbestandteile vieler Lehmprodukte zurückgegriffen werden [21].

Die pulvrigen, trocken rückgewonnenen und zerkleinerten mineralischen Bestandteile einer LP eignen sich für Trockendosierverfahren, wie sie z. B. für LPM [19] angewendet werden. Allein der Trocknungsprozess von Ton und Lehm erfordert nach Angaben von Lieferanten einen Energieinput von 964 MJ/t. Die Substitution des Trockenlehms als Ausgangsstoff für trockene Lehmabbaustoffe, insbesondere LPM, durch wiederverwertete LP spart Primärenergieinput für die Herstellung von Trockenlehm in Höhe von 1.370 MJ/ m³ Alt-LP. Der Substitutionseffekt nach IM D3 vermeidet 93 kg CO₂equiv./m³ Alt-LP Treibhausgasemissionen (Tab. C.3.3). Unter Berücksichtigung der trockenen Aufbereitung (Abb. C.3) mit 0,00015 kg CO₂equiv./m³ Abbruch-LP reduziert sich der Netto-Einspareffekt von Treibhausgasemissionen nur marginal auf < 1%.

Insgesamt (IM D1 – D3) wird das Rückgewinnungspotenzial durch die homogene Struktur der Materialmischung von LP begünstigt. Alle in den LP enthaltenen Komponenten sind kompatibel mit den Vorgaben über zulässige Ausgangsstoffe der jeweiligen DIN für LPM, LS, LMM und LP (DIN 18945-18948). Der in den Normen verankerte Verzicht auf andere mineralische Bindemittel erlaubt eine jederzeitig aktivierbare Replastifizierbarkeit (*Nassverfahren*) und ist ideale Voraussetzungen für die Rückgewinnung in Form einer Weiterverwertung (IM D2) im System Lehmabau.

Abschließend muss angemerkt werden, dass es sich um theoretische Berechnungen zu den ökologischen Erträgen verschiedener Wege der Wiederverwertung von demontierten LP handelt. In der Praxis hängt die Umsetzung einer Wiederverwertung oder Wiederverwertung von der Effizienz der Logistikkette ab und setzt Qualitätskontrollen der Rezyklate [DIN 18942-100] voraus.

ZITIERTE STANDARDS / LITERATURHINWEISE

- DIN 4102-1:1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 4103-1:2015-06: Nichttragende innere Trennwände – Teil 1: Anforderungen und Nachweise
- DIN 18300:2016-09: VOB/C (ATV) – Erdarbeiten
- DIN 18942-1:2018-12: Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 1: Begriffe
- DIN 18942-100:2018-12: Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis
- DIN 18948:2018-12: Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung
- 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 v. Bauprodukten
- DIN EN 15804:2022-03: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- DIN EN 15942:2022-04: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Kommunikationsformate zwischen Unternehmen
- DIN EN ISO 14025:2011-10: Umweltkennzeichnungen u. -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen; Grundsätze u. Verfahren
- DIN EN ISO 14040:2021-02: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze u. Rahmenbedingungen
- DIN EN ISO 14044:2021-02: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen
- 1 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Allgemeine Hinweise für die Erstellung von Ökobilanzen und Projektberichten (Teil 2)*. Weimar: 2022-06
 - 2 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Lehmbau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage, 3., überarbeitete Aufl., 2009
 - 3 Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung AVV) v. 10.12.2001 (BGBl. I, S. 3379), letzte Fassung, v. 30.06.2020 (BGBl. I, S.1533)
 - 4 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen, Musterumweltproduktdeklaration für die Baustoffkategorie Lehmplatten (UPD LP) nach DIN EN 15804, Weimar, 2023-01*
 - 5 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Grundregeln für die Produktkategorie Lehmplatten (LP)*. Weimar: 2022-04
 - 6 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaumstoffe – Richtlinie*. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 05, Weimar: 2011
 - 7 Natureplus e. V.: *Vergaberichtlinie 1006 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Lehmplatten*. Neckargemünd: 2015-06
 - 8 Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (*Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV*) v. 09.07.2021 BGBl. I S.2598 (Nr. 43), Geltung ab 01.08.2023.
 - 9 Bau-EPD (Hrsg.): *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von UPDs*. Bau-EPD GmbH, Wien 2014
 - 10 Diederichs, S.; Rüter, S.: *Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz*. Institut für Holztechnologie, Hamburg April 2012
 - 11 Zimmer, B.: *Ökobilanz Waldhackschnitzel*, in: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) aktuell 74/2010
 - 12 Forschungszentrum Karlsruhe (Hrsg.) Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse: *Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten, Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401; Hamburg Leinfelden-Echterdingen Karlsruhe – Oktober 2007*
 - 13 EPD-GTX-20190018-IBA1-DE GUTEX Thermofibre Holzfasern Einblasdämmung; Ausstellungsdatum 18.04.2019, Gültig bis 17.04.2024

- 14 FH Potsdam: Symposium Baustoffrecycling & Lehmstoffe – Perspektiven für eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, Potsdam August 2022
- 15 <https://www.ecoinvent.org>
- 16 Umweltbundesamt: ProBas – Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme, 2015_02
- 17 Bundesinstitut f. Bau-, Stadt- u. Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): *ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung*. SR Zukunft Bauen | Forschung für die Praxis | Band 09, Bonn 2017, www.oekobaudat.de
- 18 <https://www.sbm-mp.at/de/produkte/aufbereitungsanlagen-mobil/mobile-prallbrecher/remax-200.html>
- 19 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmstoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (UPD LPM) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2023-01
- 20 Mauch, M.; Corradini, R.; Wiesemeyer, K.; Schwentzek, M.: Allokationsmethoden für spezifische CO₂-Emissionen von Strom und Wärme aus KWK-Anlagen. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 55(2010), Heft 9
- 21 EMAS D-146-00004: 2. *Aktualisierte Umwelterklärung der Stephan Schmidt KG, 2008*
- 22 Emissionsbericht nach § 5 TEHG: D-09-479-0076-0512; Verico SCE, DEHSt-Aktenzeichen, 14260-0075, Werk Schirnding, Februar 2023