



# Umwelt-Produktdeklaration

nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804

ArgillaTherm GmbH

## Lehmplatten – Typ S nach DIN 18948

Deklarationsinhaber	ArgillaTherm GmbH, Wagenstieg 9, 37077 Göttingen, <a href="http://www.argillatherm.de">www.argillatherm.de</a>
Herausgeber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Programmbetreiber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Deklarationsnummer	UPD_LP S_ARGIL2022.001_PKR Ü5-DE
Ausstellungsdatum	05.12.2022
Gültig bis	04.12.2027



**Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen**

**Umweltproduktdeklaration für die Baustoffkategorie Lehmplatten  
(UPD LP) nach DIN EN 15804**

**für**

**Lehmplatten Typ A/S nach DIN 18948**

**ArgillaTherm GmbH**

# INHALT

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES</b> .....	<b>1</b>
1.1	Normative Grundlagen .....	1
1.2	Nachverfolgung der Versionen .....	1
1.3	Begriffe / Abkürzungen .....	2
<b>2</b>	<b>PRODUKTDEFINITION</b> .....	<b>2</b>
2.1	Geltungsbereich .....	2
2.2	Produktbeschreibung .....	3
2.3	Einsatzzweck.....	3
2.4	Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln .....	3
2.5	Gütesicherung.....	3
2.6	Lieferzustand .....	4
2.7	Bautechnische Eigenschaften .....	4
2.7.1	Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften	4
2.7.2	Schallschutz	4
2.7.3	Luftdurchlässigkeit	4
2.8	Brandschutz .....	5
2.9	Sonstige Eigenschaften .....	5
<b>3</b>	<b>AUSGANGSSTOFFE</b> .....	<b>5</b>
3.1	Auswahl / Eignung.....	5
3.2	Stoffeläuterung.....	5
3.3	Bereitstellung.....	6
3.4	Verfügbarkeit.....	6
<b>4</b>	<b>PRODUKTHERSTELLUNG</b> .....	<b>7</b>
4.1	Herstellungsprozess	7
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 .....	9
<b>5</b>	<b>PRODUKTVERARBEITUNG</b> .....	<b>9</b>
5.1	Verarbeitungshinweise .....	9
5.2	Arbeitsschutz / Umweltschutz.....	10
5.3	Restmaterial .....	10
5.4	Verpackung.....	10

<b>6</b>	<b>NUTZUNGSZUSTAND</b> .....	<b>10</b>
6.1	Inhaltsstoffe.....	10
6.2	Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit .....	11
6.3	Beständigkeit / Nutzungsdauer .....	11
<b>7</b>	<b>AUSSERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN</b> .....	<b>11</b>
7.1	Brand .....	11
7.2	Hochwasser .....	11
7.3	Havarie Wasserleitungen .....	12
<b>8</b>	<b>HINWEISE ZUR NUTZUNGSPHASE</b> .....	<b>12</b>
<b>9</b>	<b>NACHNUTZUNGSPHASE</b> .....	<b>12</b>
9.1	Recycling von LP.....	12
9.2	Verwertung von Abfällen und Verpackungen .....	13
9.3	Entsorgung .....	13
<b>10</b>	<b>NACHWEISE</b> .....	<b>13</b>
10.1	Produkterstprüfung nach DIN 18942-100.....	13
10.2	Radioaktivität.....	13
<b>TEIL A</b>	<b>SACHBILANZ</b> .....	<b>13</b>
A.1	Funktionelle Einheit.....	13
A.2	Betrachtungszeitraum .....	13
A.3	Ergebnisse .....	13
<b>TEIL B</b>	<b>ÖKOBILANZ</b> .....	<b>14</b>
B.1	Ziel der Analyse.....	14
B.2	Zielgruppen der Analyse .....	15
B.3	Referenznutzungsdauer.....	15
B.4	Abschneidekriterium .....	15
B.5	Annahmen und Abschätzungen.....	15
B.6	Datenqualität.....	17
B.7	Allokation .....	17
B.8	Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse (LCA) .....	17
<b>TEIL C</b>	<b>INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ</b> .....	<b>21</b>
C.1	Primärenergieeinsatz (PEI) .....	21
C.2	Treibhausgaspotenzial (GWP) .....	22
C.3	Aufbereitung und Rückgewinnungspotenzial .....	24
C.4	Zusammenfassende Kommentierung.....	28
	<b>ZITIERTE STANDARDS / LITERATURHINWEISE</b> .....	<b>29</b>

## **VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN**

*Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung*

*Tab. 2.2 Typen und Anwendungsbereiche von Lehmplatten*

*Tab. 2.3 Lieferformate der deklarierten LP*

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

*Tab. A.1 Sachbilanz der untersuchten LP*

*Tab. B.1 Übersicht Datengrundlagen<sup>1</sup>*

*Tab. B.2 Ökobilanz für 1 m<sup>3</sup> Lehmplatte Typ S – Primärenergieinput*

*Tab. B.3 Ökobilanz für 1 m<sup>3</sup> Lehmplatte Typ S – Wirkungsanalyse*

*Tab. B.4 Ökobilanz für 1 m<sup>3</sup> Lehmplatte Typ S – Outputfaktoren*

*Bild 4.1 Herstellschema „Lehmplatten, formgepresst“ Sonderformat*

*Bild 5.1 LP mit integriertem Temperierungssystem Heizen/Kühlen in montiertem Zustand (Argillatherm GmbH)*

*Abb. C.1 Primärenergieeinsatz für LP*

*Abb. C.2.1 Treibhausgaspotenziale LP (GWP 100)*

*Abb. C.2.2 Treibhausgaspotenziale der LP ohne CO<sub>2</sub>-Gutschrift für die Holzmasse im Herstellprozess (Trocknung)*

*Abb. C.3.1 Aufbereitung IM C3: Schreddern von Lehmplatten – Trockenverfahren*

*Abb. C.3.2 Rückgewinnungspotenziale IM D1 – Wiederverwendung demontierter LP*

*Abb. C.3.3 Rückgewinnungspotenziale IM D2 – Wiederverwertung für neue LP (Nassverfahren)*

*Abb. C.3.4 Rückgewinnungspotenziale IM D3 – Substitution von Trockenlehm*

# 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
U1	Erster Entwurf	Okt 2022
Ü2	Mit Hersteller abzustimmende Version	11.Nov 2022
Ü3	Abgestimmte und eingereichte Version	24.Nov 2022
Ü4	Verifizierung, extern	05.Dez 2022

Kontakt:

Argillatherm GmbH, Wagenstieg 9, 37077 Göttingen

Muster-UPD:

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

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

© Dachverband Lehm e. V.

Bilanzierer:

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 Lehmbaumstoffe (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 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	Argillatherm GmbH	Ziegeleiweg 1. D-37586 Dassel-Wellersen	Formgepresst	Hochleistungs-Lehmmodul wSYSTEM
2	Argillatherm GmbH	Ziegeleiweg 1. D-37586 Dassel-Wellersen	Formgepresst	Hochleistungs-Lehmmodul eSYSTEM
3	Argillatherm GmbH	Ziegeleiweg 1. D-37586 Dassel-Wellersen	Formgepresst	Hochleistungs-Rohrverteilmodul wSYSTEM
4	Argillatherm GmbH	Ziegeleiweg 1. D-37586 Dassel-Wellersen	Formgepresst	Hochleistungs-Rohranbindemodul wSYSTEM
5	Argillatherm GmbH	Ziegeleiweg 1. D-37586 Dassel-Wellersen	Formgepresst	Hochleistungs-Neutralplatte

Die deklarierten Produkte Nr. 1 – 5 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]. Deckenbauteile zur Integration von Heiz- und Kühlelementen unter Verwendung von LP müssen zusätzlich den Anforderungen der RL 15.12 des Bundesverbandes Flächenheizung und Flächenkühlung e. V. BFV [6] entsprechen.

## 2.2 Produktbeschreibung

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

Die deklarierten LP sind Sonderprodukte mit eingepprägter Rillenstruktur zur nachträglichen Komplettierung mit dem Temperierungssystem ab Werk oder auf der Baustelle.

Für die Formgebung von LP nach DIN 18948 werden folgende Verfahren unterschieden:

- bandgestrichen,
- formgepresst,
- stranggepresst.

Die deklarierten LP werden hydraulisch formgepresst.

## 2.3 Einsatzzweck

Die LP werden zur Temperierung von Innenräumen eingesetzt. Die deklarierten Lehm-Module besitzen eine besonders hohe Sorptionsfähigkeit, d. h. die Fähigkeit, Wasserdampf aus der Raumluft oder aus dem Mauerwerk aufzunehmen, zu transportieren und bei trocken werdender Luft in den Raum wieder abzugeben.

Die deklarierten LP sind dem Typ A / S gemäß *Tab. 2.2* zuzuordnen. Sie besitzen eine werkseitig eingepprägte Rillenstruktur auf der Unterseite zur späteren Komplettierung mit Temperierungsrohren oder elektrischen Heizkabeln. Die deklarierten LP sind auf die Beplankung von Deckenkonstruktionen ausgelegt.

*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)
3	S	Sonderprodukte, z. B. mit werkseitig eingearbeiteten Systemen zur Temperierung von Innenräumen

## 2.4 Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln

- DIN 18942-1:2018-12, *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe*,
- DIN 18942-100:2018-12, *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – 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]
- Regeln des BVF für Lehmdeckensysteme RL 15.12 [6]

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 [7]. 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 x 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.

Die LP sind Sonderprodukte mit werkseitig eingearbeiteten unterseitigen Rillenstrukturen zur Integration von wassergefüllten Rohrleitungen oder elektrischen Heizkabeln zur Temperierung von Innenräumen im Einbau- bzw. Betriebszustand.

Tab. 2.3 Lieferformate der deklarierten LP

Nr.	max. Format l x w mm	Dicke t mm	Maßhaltigkeitsklasse MHK (I – III)	Art der Bewehrung	Lochungen / Strukturen	Sonder- produkt
LP 1	372 x 372	25	I	keine	Rillen	ja
LP 2	372 x 372	25	I	keine	Rillen	ja
LP 3	372 x 372	25	I	keine	Rillen	ja
LP 4	372 x 372	25	I	keine	Rillen	ja
LP 5	372 x 372	25	I	keine	Rillen	ja

## 2.7 Bautechnische Eigenschaften

### 2.7.1 Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften

Tab. 2.4 zeigt mechanische / bauphysikalische Eigenschaften nach Deklaration des Herstellers der LP.

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

Nr.	Eigenschaft / Prüfung n. DIN 18948 / Abs.	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	Dimension
1	Trockenrohddichte $\rho_d$ / 9.3	1.800	1.800	1.800	1.800	1800	kg/m <sup>3</sup>
2	Festigkeit / 9.4						
2.1	• Oberflächenhärte / 9.4.1	8	8	8	8	8	mm
2.2	• Oberflächenzugfestigkeit / 9.4.2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	N/mm <sup>2</sup>
2.3	• Biegezugfestigkeit (quer) / 9.4.3	1,0	2,5	0,85	0,85	2,5	N/mm <sup>2</sup>
3	Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ / 9.5.2	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	W/mK
4	Wärmespeicherkapazität c / 9.5.3	1000	1000	1000	1000	1000	kJ/kgK
5	Wasserdampfdiffusionswiderstands- zahl $\mu$ / 9.5.1	22/50rLF 10/93rLF	22/50rLF 10/93rLF	22/50rLF 10/93rLF	22/50rLF 10/93rLF	22/50rLF 10/93rLF	-
6	Feuchtetoleranz MHK / 9.2						
6.1	• Ebenheit (Krümmung, Schüs- selung) / 9.2.4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	mm
6.2	• Rechtwinkligkeit / 9.2.1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	mm
6.3	• Längenänderung (Länge, Breite, Dicke) / 9.2.2 / 9.2.3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	mm
7	Wasserdampfadsorptionsklasse <sup>1</sup> WS / A.2.2	181	165	173	173	170	g/m <sup>2</sup> in 12h

<sup>1</sup>optional

### 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 der untersuchten LP der Muster-UPD bei einfacher Beplankung unterschiedlicher Konstruktionen liegen zwischen 40 und 64 dB.

### 2.7.3 Luftdurchlässigkeit

Konstruktionen aus LP mit vollflächigen Lehmputzen bzw. LDB mit  $\geq 2$  mm Dicke sind luftdicht.

## 2.8 Brandschutz

Die Baustoffklasse von LP wird nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1 bestimmt. LP müssen mindestens der Baustoffklasse B2 entsprechen ( $\rho_d \geq 600 \text{ kg/m}^3$ ).

Die untersuchten LP sind der Baustoffklasse A1 nach DIN EN 13501-1 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 und pflanzlichen Zusätzen entsprechend der DIN 18948. Die in der Mischung enthaltenen „fetten“ Baulehme mit höheren Tonanteilen tragen zur Verbesserung der Feuchtesorptionseigenschaften bei Temperierung in Heiz- und Kühlsystemen bei. Es gelten die Stoffverbote und -beschränkungen der DIN 18948 und natureplus VR 1006 [8].

Der mineralische Zusatz ist Ziegemehl aus ungebrannten Ziegeleiabfällen, als pflanzlicher Zusatz wird Miscanthusfaser beigemischt.

Die LP enthalten keine stabilisierende Zusatzmittel (z. B. Stärke) und keine Bewehrungsmatten und –gewebe. Spezielle Vorrichtungen zur Temperierung werden nicht werkseitig, sondern bei Montage der Heiz- und Kühlsysteme eingearbeitet. Diese Komponenten müssen im Falle einer Entsorgung (*Kap. 9.3*) nach AVV [3] / Deponierichtlinie EU zumindest als inerte Abfälle behandelt werden können.

### 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 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ). Dadurch können sich je nach Lehmvorkommen unterschiedliche plastische Eigenschaften während der Aufbereitung und Verarbeitung (mager / fett) sowie Farben des Endprodukts ausbilden.

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 [9]). Je nach weiterer Verwendung wird unterschieden:

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

**Sekundärgrubenlehm** fällt bei Erdarbeiten (z. B. Kiesgewinnung) oder Tiefbauarbeiten als Bodenaushub an und kann als Sekundärstoff im Lehmbau weiterverwendet werden. Er verliert dadurch seine Abfalleigenschaft. Die deklarierten LP enthalten teilweise Sekundärgrubenlehm.

**Recyclinglehm** ist aus Abbruchbauteilen rückgewonnener Lehmbaustoff. 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:

*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).

*Presslehm* ist ein bei der Kiesgewinnung anfallendes Abfallprodukt, das als Kies-Wasch-Schlamm zunächst in Silos oder Becken aufgefangen wird. Der Schlamm enthält die bei der Kieswäsche anfallenden, für die Betonindustrie nicht nutzbaren Feinstkörnungen Schluff, Ton und Feinsand. Der nach Entwässerung zurückbleibende Filterkuchen besitzt noch einen hohen Wassergehalt, der durch Siebbandpressen reduziert wird und dadurch die Masse des „Presslehms“ erheblich verringert. Tensidhaltige Schlämme sollen von einer Weiterverwertung als Baulehm ausgeschlossen werden.

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

*Mineralische Zusatzstoffe*: Ziegelmehl oder -splitt aus mörtelfreien Ziegeln ist ein Abfallprodukt der Ziegelproduktion, der als Bruchmaterial anfällt. Ziegelmehl ist ein nach DIN 18948 zulässiger mineralischer Zusatzstoff, der die bauphysikalischen (Trockenrohichte, Wärmeleitung, Trocknungsschwindmaß) und die baumechanischen (Festigkeits-) Eigenschaften des Endprodukts, vor allem aber die plastischen Eigenschaften des Baulehms verbessert. Die deklarierten LP enthalten Anteile von Ziegelsplitt.

*Organische Zusatzstoffe / natürlich*: landwirtschaftliche Nebenprodukte (hier: Miscanthus) 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 CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O umgebaut. Die deklarierten LP werden nach Lebensende vom Hersteller zurückgenommen und wiederverwendet oder wiederverwertet ohne Freisetzung von CO<sub>2</sub> durch Zersetzung organischer Zusatzstoffe (Abs. 9.1).

*Bauseitig eingearbeitete Wärmeübertragungssysteme* bestehen aus industriell hergestellten PB-Rohren, 12 x 1,3 mm, sauerstoffdicht nach DIN 4726.

*Wasser* ist „Anmachwasser“ zum Erreichen der geeigneten Verarbeitungskonsistenz der Arbeitsmasse und für den Formgebungsprozess der LP grundsätzlich notwendig. Durch Verdunstung des Anmachwassers erhärten LP und erreichen ihre vorgesehenen Produkteigenschaften. Erhärtete LP können durch Wasserzugabe replastifiziert und für neue LP oder in anderen Prozessen baustofflich verwertet werden.

### 3.3 Bereitstellung

Die identifizierten Baulehmkategorien sind Ausgangsstoffe für die Herstellung von Lehmbaustoffen. Sekundärrecyclinglehm verlässt den Lehm-Stoffkreislauf und wird zum Ausgangsstoff in einem anderen Produktsystem oder als Abfall deponiert. Die Baulehmkategorien werden vor einer Bilanzierung im IM A1 hinsichtlich der Art ihrer Bereitstellung klassifiziert.

### 3.4 Verfügbarkeit

Alle mineralischen Rohstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit als „geologisch gewachsene“ Naturstoffe generell begrenzt. Neben der primären Entnahme aus Ton- bzw. Lehmgruben soll deshalb bevorzugt bei Erdarbeiten anfallender, geeigneter Bodenaushub als Sekundärrohstoff verarbeitet werden.

Bodenaushub bildet mit 130,3 Mio. t/a den größten Teil (59,6 %) der 218,8 Mio. t mineralischer Bauabfälle in Deutschland [10]. Die Verwendung von lehmhaltigem Bodenaushub als *Sekundärgrubenlehm* für die Herstellung von Lehmbaustoffen spart Deponieraum, ersetzt Primärrohstoffe und verlängert dadurch deren Verfügbarkeit.

Ein bisher kaum erschlossenes Rohstoffpotenzial für die Herstellung von Lehmbaustoffen 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 Wiederverwertung von LP nach DIN 18948 jederzeit möglich. Eine Rohstoffknappheit besteht nicht. Alle Pflanzenteile und -fasern sowie Holz sind nachwachsende Rohstoffe.

Bauseitig eingearbeitete Wärmeübertragungssysteme sind ausreichend vorhanden.

## 4 PRODUKTHERSTELLUNG

### 4.1 Herstellungsprozess

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

#### 4.1.1 Formgebungsverfahren „Pressen / formgepresst“

Beim *Pressverfahren* wird die Arbeitsmasse mit einer Feuchte von 8 – 10 M.-% in Formrahmen gefüllt, einzeln hydraulisch zu LP gepresst und anschließend getrocknet. Die hydraulische Pressung prägt automatisch unterschiedliche Vertiefungen zur Montage von Heiz- / Kühlschlangen in die LP ein. Das angewandte Trocknungsverfahren unterscheidet sich von den in der Muster-UPD untersuchten LP mit Erdgas betriebenen, wärmegeführten Blockheizkraftwerke (BHKW) dadurch, dass Wärme ausschließlich mit Holzhackschnitzeln als nicht-fossile Energieträger erzeugt wird.

Nach Fertigstellung werden die LP auf Holzpaletten gestapelt und mit einer Abdeckung aus Pappe und Spannbändern transportfertig verpackt.

*Bild 4.1* zeigt das Produktsystem „Lehmplatte, Pressen / formgepresst“ mit den relevanten Prozessmodulen für den IM „Herstellung“ ohne Transporte:

- Aufbereiteter Baulehm wird über Transportbänder dem Intensivmischer gravimetrisch dosiert zugeführt.
- Zerkleinerte Miscanthus-Pflanzenfasern werden aus einem Vorratsbehälter volumetrisch dosiert dem Intensivmischer zugeführt.
- Mineralische Zusätze entsprechend den Vorgaben der DIN 18948 sind aufgemahlene, ungebrannte Ziegeleiabfälle zur Abmagerung der Mischungen. Die Zuführung erfolgt gravimetrisch dosiert.
- Der Mischvorgang wird über die Drehgeschwindigkeit des Mixers und die Mischzeit geregelt.
- Aus einem Zwischenspeicher wird die Arbeitsmasse über die Füllstation in Formkästen gefüllt 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 eines mit Holzhackschnitzeln beheizten

Ofens getrocknet. Die Trocknung kann durch Temperaturregelung und Trocknungsdauer reguliert werden.

- Die Kalibrierung und Qualitätskontrolle funktioniert vollautomatisch mit sensorgesteuerten Robotern.
- Nach Aufstapeln der trockenen und kontrollierten LP auf Mehrweg-Holzpaletten wird das Paket mit Pappe und Spannbändern verpackt und witterungsgeschützt gelagert.

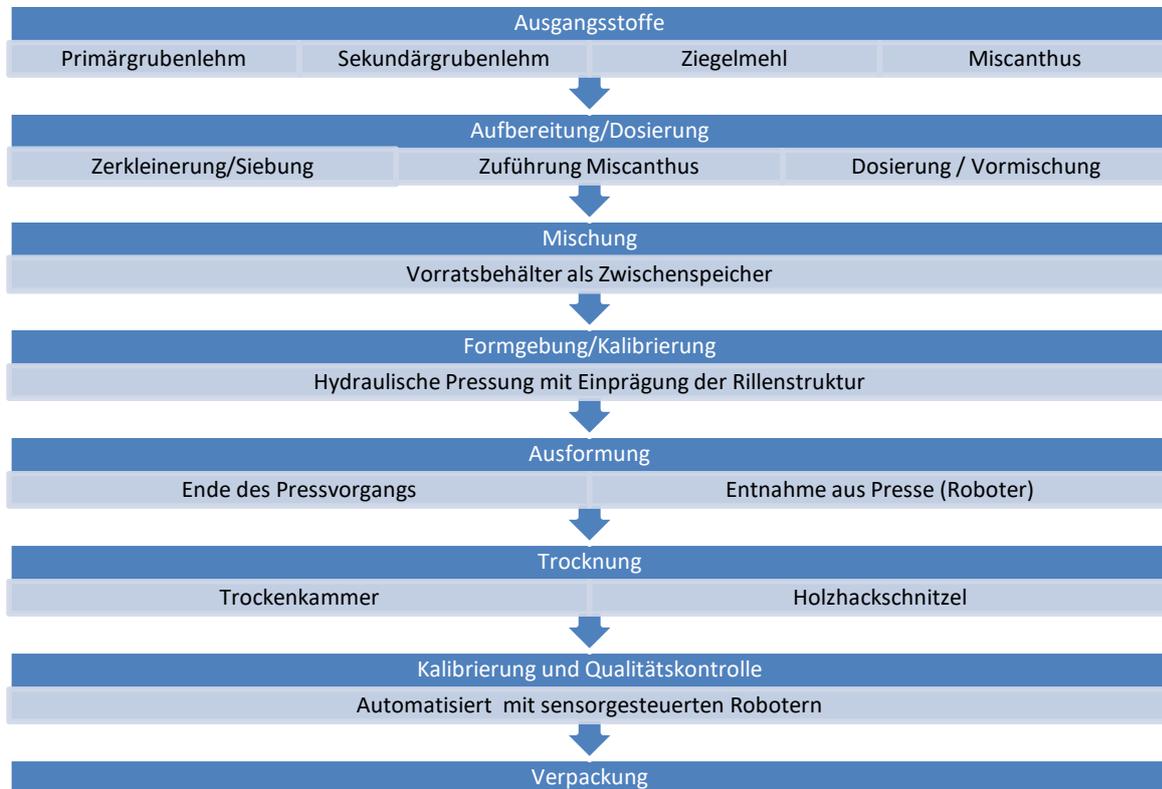


Bild 4.1 Herstellschema „Lehmplatten, formgepresst“ Sonderformat

## 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. Die erfassten und beschriebenen Herstellungsverfahren arbeiten abwasserfrei.

### 4.3.3 Lärm

Die geforderten Grenzwerte werden eingehalten.

#### 4.3.4 Luft

Bei künstlicher Trocknung der LP (Trockenkammern) entstehende Emissionen liegen unter den Grenzwerten der TA Luft. Maßnahmen des Umweltschutzes sind ausgerichtet auf möglichst geringen Energieverbrauch und schadstoffarme Abluft. Die Partikelemissionen des Holzhackschnitzelofens werden regelmäßig überwacht und entsprechend der Grenzwerten.

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 Verarbeitungshinweise

Die Verarbeitung der deklarierten LP des Typs S erfolgt nach DIN 18948, LR DVL [2] und RL15.12 für Flächenheizungen und -kühlungen [6].

LP des Typs A nach *Tab.2.2* werden, wenn vom Hersteller nicht anders angegeben, mit der Unterkonstruktion punktuell verschraubt. Die fünf deklarierten LP des Typs S sind Elemente eines Systemaufbaus gemäß Empfehlungen des Herstellers. Die LP werden, wenn vom Hersteller nicht anders angegeben, mit Temperierungselementen in der werkseitig erzeugten Rillenstruktur ausgestattet.

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 werden vom Systemanbieter (Argillatherm) benannt und beschrieben (DIN 18948, B.1, B.2). Für LP des Typs A (Beplankung) / S muss der erreichbare Einbaubereich EB gemäß DIN 4103-1 deklariert werden (EB1: Bereiche mit geringer Menschenansammlung, EB2: Bereiche mit großer Menschenansammlung).

LP des Typs A / S, 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 2 mm nicht überschreiten. Die Notwendigkeit einer Prüfung ist vom Hersteller eigenverantwortlich festzulegen. Die Prüfdauer beträgt 10 Tage.

Bei der Beplankung von Holzständerkonstruktionen mit LP des Typs A / S 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 zum Systemaufbau der LP des Typs A/S mit integrierten Temperierungssystemen (*Bild 5.1*) zu beachten [6]. In *Bild 5.1* sind zwei deklarierte LP oberhalb und unterhalb der Rohrleitungen in einem typischen Systemaufbau dargestellt

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

## Systemaufbau



## Komponenten

### Unterkonstruktion (22mm):

- OSB/ESB-Spanplatten mit Nut/Feder **oder**
- zementgebundene Faserplatten mit Nut/Feder (Baustoffklasse A1, F60 zertifiziert)

### Heiz-/Kühlebene nach DIN 18948 (25mm):

- Hochleistungs-Lehmmodule (Rillenplatte)
- Hochleistungs-Neutralplatten
- Lehmbauplatten
- Rohr 12x1,3mm nach DIN 4726

### Oberflächenbeschichtung (6-8mm):

- Lehmputz, rein mineralisch **oder**
- Naturkalkputz
- Lehmfarbe (Lehm-Rollputz) **oder**
- Mineralfarbe

Bild 5.1 LP mit integriertem Temperierungssystem Heizen/Kühlen im Systemaufbau (Argillatherm GmbH)

## 5.2 Arbeitsschutz / Umweltschutz

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

Während der Verarbeitung von LP sind keine besonderen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt zu treffen. Staubemissionen, z. B. bei Schneid- und Trennarbeiten, liegen unterhalb der geforderten Grenzwerte zur Staubfreisetzung der TA Luft. Vorsorglich werden Atemschutzmasken verwendet.

## 5.3 Restmaterial

Auf der Baustelle anfallende Verpackungen und Mehrwegpaletten aus Holz und LP-Reste werden getrennt gesammelt.

LP-Reste können von den Herstellerwerken zurückgenommen und dort ggf. in den Produktionsprozess zurückgeführt werden.

## 5.4 Verpackung

Mehrwegpaletten aus Holz werden vom Hersteller oder durch den Baustoffhandel zurückgenommen (Pfandsystem) und in den Produktionsprozess zurückgeführt.

Pappe und Spannbänder werden sortenrein durch duale Entsorgungssysteme dem Recyclingprozess zugeführt.

## 6 NUTZUNGSZUSTAND

### 6.1 Inhaltsstoffe

Bei der Produktion von LP werden die natürlichen Ausgangsstoffe Baulehm und ggf. organische (pflanzliche) Fasern und weitere Zusatzstoffe mit < 1 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 Tonmineralien des Baulehms ermöglicht eine rasche, besonders hohe Adsorption / Desorption von überschüssigem Wasserdampf im Innenraum. Temperierte Bauteile aus LP tragen deshalb zu einem ausgeglichenen Innenraumklima bei. Die deklarierten LP können der in *Tab. 2.4* ausgewiesenen Wasserdampfadsorptionsklasse WS III gemäß DIN 18948 zugeordnet werden.

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

Die natürliche ionisierende Strahlung der deklarierten LP ist sehr gering und gesundheitlich unbedenklich. Die deklarierten LP weisen einen Aktivitätskonzentrationsindex  $I = 0,49$  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 temperierten 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*.

Im Ergebnis der ermittelten Verformungen infolge Feuchteeinwirkung erfüllen die deklarierten LP die Anforderungen an die Feuchtetoleranzklasse FTK I nach *Tab. 2.4* als Mindestanforderung.

## 7 AUSSERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN

### 7.1 Brand

LP mit einem pflanzlichen Faseranteil  $< 1$  M.-% sind der Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1 bzw. B2 bei entsprechendem Anteil  $> 1$  M.-% zugeordnet. Eine bessere Einordnung ist vorbehaltlich brandschutztechnischer Belegprüfungen möglich. Die deklarierten LP sind der Baustoffklasse A1 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 temperierten 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).

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.

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. Ihre ursprüngliche Zusammensetzung entspricht nach praktischen Erfahrungen den für eine Wiederverwertung als LP geforderten Eigenschaften. Ggf. ist eine Abmagerung durch Ziegelmehl oder Ergänzung von Tonmineralien oder pflanzlichen Zusätzen erforderlich.

Alternativ lassen sich demontierte LP maschinell zerkleinern und als getrocknetes Recyclingmaterial, vorwiegend Baulehm, als Ausgangsstoff für neue, andere Lehmbauprodukte wiederverwerten.

Der Ersatz von Primärgrubenlehm durch Sekundärgrubenlehm und Recyclinglehm (*Abs. 3.2*) sowie deren Wiederverwertung für die Herstellung von LP schont unberührte Naturräume und erbringt durch Reduzierung mineralischer Bauabfälle ökologische Vorteile. Bei optimierten technologischen Abläufen können Hersteller von LP positive betriebswirtschaftliche Ergebnisse erzielen.

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  $\leq 1$  M.-% nach Aufbereitung zu rezykliertem Körnung wie Bodenaushub weiterverwertet werden, z. B. im Landschaftsbau, zur Rekultivierung, zur Trassierung von Verkehrswegen oder in der Land- und Forstwirtschaft. Dabei sind die Zuordnungswerte Z der Landesarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zu beachten [11].

## 9.2 Verwertung von Abfällen und Verpackungen

Die Verwertung von Holz, Papier- und Spannbändern wird von dem zertifizierten Entsorger „Interseroh“ gemäß Abfallwirtschaftsgesetz (KrW-/AbfG) 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 Depo-nieklasse A eingelagert werden (AVV Abfallschlüssel 17 09 04 [3]). Sie stellen keine außergewöhnli-chen Belastungen für die Umwelt dar und können in *Tab. A.4* als Siedlungsabfall (NHWD) deklariert werden.

## 10 NACHWEISE

### 10.1 Produkterstprüfung nach DIN 18942-100

Liegt dem Programmbetreiber vor (*Tab. 2.4*).

### 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  $I = 0,49$ .

## TEIL A SACHBILANZ

### A.1 Funktionelle Einheit

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

### A.2 Betrachtungszeitraum

Die eingesetzten Mengen an Rohstoffen, Energien sowie Verpackungen sind als Mittelwert von zwölf Monaten in den betrachteten Werken berücksichtigt.

### A.3 Ergebnisse

Die Sachbilanz nach DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044 bzw. DIN EN 15804 dient der Quantifi-zierung der In- und Outputströme des Produktsystems LP auf Basis der Datenerhebung bei beteiligten Herstellern. Alle Daten beziehen sich auf das hydraulische Pressverfahren (*Abs. 4.1*). Das untersuchte Pressverfahren verwendet einen mit Holzhackschnitzeln beheizten Kessel zur Trocknung der gepressten LP.

*Tab. A.1* bildet die Sachbilanz für alle fünf deklarierten LP mit identischen Rezepturen und demselben Herstellverfahren ab. Der Hauptausgangsstoff ist mit Tonmineralien angereicherter Baulehm mit mine-ralischen und natürlichen Zusatzstoffen. Hauptenergieträger sind Holzhackschnitzel für die Trocknung, elektrische Energie aus bundedeutschem Strommix und Diesel. Weitere Inputfaktoren sind Frischwasser sowie Verpackungsmaterial. Outputfaktoren sind Abfälle aus Vorprodukten, im Herstellprozess entste-hen keine Abfälle.

Tab. A.1 Sachbilanz der untersuchten LP

Produkte	Daten						Erläuterungen
Lehmplatten 25mm/372 x 372 mm/ 32kg pro m <sup>2</sup>							$\rho_d = 1.700 \text{ kg/m}^3$
PRODUKTIONSVOLUMEN	1.650 m <sup>3</sup>						Bezugsjahr 2021
INPUT	LP 1	LP 2	LP 3	LP 4	LP 5	Einheit	Bemerkungen
<b>Ausgangsstoffe</b>							
Primärgrubenlehm	1275					kg/m <sup>3</sup>	Am Werk
Sekundärgrubenlehm	170					kg/m <sup>3</sup>	Erdaushub 4 km entfernt
Ziegelmehl (Abfall)	240					kg/m <sup>3</sup>	Ziegelbruch direkt im Werk
Miscanthusfasern	15					kg/m <sup>3</sup>	
Strom (Prozess)	169					MJ/m <sup>3</sup>	Strommix
<b>Brennstoff (Trocknung)</b>							
Holz hackschnitzel	26,5					kg/m <sup>3</sup>	Annahme: H <sub>u</sub> 4 kWh / kg
<b>Betriebsmittel</b>							
Diesel	0,27					l/m <sup>3</sup>	Im Werk
Frischwasser	0,05					m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Bei 10 % Grubenfeuchte, 2,5M.-% Anmachwasser
Holzpaletten	1					St./Pal.	Pro 750 kg Pal. Mehrweg
Pappen	0,5					kg/Pal.	Pro 750 kg Pal., Recycling
PE Bänder	0,2					kg/Pal.	Pro 750 kg Pal., Recycling
<b>OUTPUT</b>							
Abfälle	Keine					kg/m <sup>3</sup>	Abfälle aus Vorprodukten in Tab.B.4
Staubpartikel	0,002					kg/m <sup>3</sup>	aus Holzverbrennung

Die deklarierten LP bestehen zu 85 M.-% aus Baulehm mit unterschiedlichem Tonanteil. Der Baulehm stammt zu 10 M.-% als Sekundärgrubenlehm aus der Kiesgewinnung oder anderen Erdaushüben in der Nähe des Werkes. Der Hauptteil (75 M.-%) kommt aus einem originären Grubenbetrieb für Lehm am Werk als Primärgrubenlehm.

Die in Tab. A.1 aufgelisteten mineralischen und pflanzlichen Zusatzstoffe entsprechen den Vorgaben der DIN 18948. Der pflanzliche Anteil der spezifischen Rezeptur enthält Miscanthusfasern unter 1 M.-%.

Die Trocknung der gepressten LP erfolgt über die Wärmezufuhr aus einem mit Holz hackschnitzel betriebenen Kessel in Trockenkammern mit Wärmetauschern. Der Holzinput zur Trocknung beträgt 26,5 kg / m<sup>3</sup> LP das entspricht bei einem Heizwert der Holz hackschnitzel von 4 kWh/kg [21] einem Energieinput für Wärme von 95,3 MJ/m<sup>3</sup> LP. Die regelmäßige Messung von Partikelemissionen (Staub) aus der Holzverbrennung ergab 0,02 g/m<sup>3</sup> Holz hackschnitzel.

Der Dieselverbrauch bezieht sich auf die Baufahrzeuge im Werk. Die Verpackung einer Palette mit 750 kg LP besteht aus Holzpaletten, Zwischenlagen aus Pappe und PE-Zugbändern.

## TEIL B ÖKOBILANZ

Die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN ISO14044 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 potenzielle Umweltwirkungen abgeleitet werden. Die Bilanzdaten sind Durchschnittswerte bezogen auf das angegebene Gesamtvolumen von 1.650 m<sup>3</sup> im Produktionsjahr 2021.

### 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 [12] 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.

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. Das trifft insbesondere auf pflanzliche Komponenten zu.

Innerhalb dieses Systems werden LP entsprechend ihrem Formgebungsverfahren „formgepresst“ analysiert. Die zur Herstellung benötigten Maschinen, Anlagen und Infrastruktur wurden nicht bilanziert.

## B.5 Annahmen und Abschätzungen

Die Annahmen und Abschätzungen betreffen Grubenlehm als Primär- bzw. Sekundärrohstoff, Verpackungen, Pflanzenanteile, die Abfallaufbereitung (IM C3) sowie die Rückgewinnungspotenziale (IM D1 – D3).

Grubenlehm : Die Angaben der Hersteller zur Bereitstellung des Ausgangsstoffes Grubenlehm (Erdaushub) werden getrennt nach Primär- und Sekundärgrubenlehm erfasst:

Bei *Primärgrubenlehm* wird der gesamte Abbauprozess mit Rekultivierungsmaßnahmen bewertet. Der Ressourceneinsatz und die Umweltwirkungen der Prozesse des Grubenbetriebes entfallen auf die Lehm- bauprodukte.

*Sekundärgrubenlehm* wie auch Recyclinglehm entstammen Vorprozessen, die ursprünglich mineralische Abfallstoffe außerhalb der Systemgrenze waren und sich beim Eintritt in das System LP zu Ausgangsstoffen für deren Herstellung verwandeln. Diese Vorprozesse außerhalb des Systems werden in der Bilanz nicht berücksichtigt. Sekundärgrubenlehm wird in *Tab. A.1, Z. 8* als „eingesetzte Sekundärstoffe SM“ erfasst.

Für den Abbau von Primärgrubenlehm, Ton sowie den bereitgestellten Sekundärgrubenlehm wurden folgende Annahmen getroffen: erdfeucht, mittelbindig, steife Konsistenz, Gewinnungsklasse GK 3 – 4 nach DIN 18300:2012-09, Feuchtrohdichte  $\rho = 2.000 \text{ kg/m}^3$ .

Trockenlehm ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm. *Tonmehl* ist natürlicher, getrockneter, ggf. gemahlener Ton. Beide Produkte können zur Erhöhung der Bindekraft von mageren Baulehmen und

Verbesserung der Feuchtsorptionseigenschaften verwendet werden. Die Vorprodukte Tonmehl und Trockenlehm werden nach der vorliegenden EMAS-zertifizierten Umweltbilanz eines Zulieferers bewertet [13]. Danach ergibt sich der Substitutionseffekt durch rückgewonnene Trockenlehm bzw. Tonmehl aus demontierten LP im IM D3.

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

Verpackungen: Holzpaletten lassen sich dem System nicht zuordnen, weil sie in einem Pfand-Mehrwegsystem für verschiedene Produkte verwendet werden. Die im Holz der Paletten gebundenen biogenen Kohlenstoffe und Gutschriften aus der möglichen energetischen Verwertung werden nicht berücksichtigt.

Auf einer Palette mit 180 St. LP liegt eine Abdeckung aus Pappe. Die Sicherung der Ware erfolgt mit Spannbändern aus PE.

Pflanzenteile: Für *Miscanthusfasern* fand die UPD Baustroh [14] Anwendung. Die darin enthaltenen energetischen Rückgewinnungspotenziale blieben unberücksichtigt, nicht jedoch das gebundene CO<sub>2</sub> in Höhe von 1,27 kg/ kg Stroh.

Während des Pflanzenwachstums wird der Atmosphäre durch die Photosynthese CO<sub>2</sub> entzogen und in Form von C in den Pflanzen einlagert. Am Ende des Lebenszyklus wird dieser C nur bei energetischer Verwertung wieder in die Atmosphäre entlassen. LP werden am Lebensende nicht energetisch verwertet, sondern demontiert, herstellerseitig zurückgenommen und wiederverwendet oder stofflich wiederverwertet. Somit verbleibt das gebundene CO<sub>2</sub> des Pflanzenanteils 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. Der Hersteller dieser Deklaration bietet die Rücknahme demontierter LP an. 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) [15]. Dabei wurde eine im Baustoffrecycling übliche Schreddertechnik mit einem Prallbrecher unterstellt. Dazu wurde die Stoffzusammensetzung hinsichtlich der Möglichkeit der Wiederverwertung für neue LP oder zur Weiterverwertung für andere Lehmabbaustoffe labortechnisch analysiert.

**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 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 Lehmabbaustoffe (IM D3). Diese beiden Substitutions- / Verwertungsszenarien wurden zur Berechnung des Rückgewinnungspotenzials getrennt in IM D1 u. D2 bewertet.

## B.6 Datenqualität

Die verwendeten Daten beziehen sich auf das Geschäftsjahr 2021. Die Ökobilanzen wurden für den Bezugsraum Deutschland erstellt.

Die Datenerfassung für die untersuchten Produkte und Verfahren erfolgte durch Befragung mittels eines strukturierten Erhebungsbogens (30.04.2021), einer Vor-Ort Besichtigung im Werk am 15. Oktober 2022 und einer Aktualisierung der erfassten Daten und Verfahren am 21. November 2022. 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 Datengrundlagen<sup>1</sup>*

Nr.	Daten	Hintergrunddatensätze
1	Primärgrubenlehm	Ecoinvent 3.9, Nov. 2015 [16]; UBA ProBas Abbau Tonabbau 2020; UBA ProBas 2000 Bereitstellung Grubenlehm
2	Sekundärgrubenlehm	Bodenabfall aus der Kiesgewinnung (ohne Aufbereitung) außerhalb der Systemgrenze; Transporte ins Werk bilanziert.
3	Tonmineralien (ungetrocknet)	Ecoinvent 3.9, Nov. 2015 [16]
4	Trockenlehm/Tonmehl	UPD LPM DVL [17]; EMAS Herstellerdaten [13]; UBA ProBAS Gesteinsmehl 2004
5	Miscanthus	FASBA EPD Baustroh [14]
6	Elt. Energie DE Strommix 2015	ÖKOBAUDAT 09.02.05, Juni '21 [18]; UBA ProBas 2020, Studie Climate Change 13/2020
7	Holz hackschnitzel	GEMIS 5.0 [19]; UBA ProBas 2010; ÖKOBAUDAT[18] 09.02.01
8	Transport zum Werk (35-40 t, EURO 5, 27 t Nutzlast, 85 % Auslastung)	ÖKOBAUDAT 9.3.01 Juni 21[18]
9	Transport im Werk (Diesel)	ÖKOBAUDAT 09.02.03, Juni '21 [18]

<sup>1</sup> Bei Vorliegen mehrerer Datenquellen wurde die worst-case Variante übernommen. Zusätzlich zu Datenbanken und originären Daten wurden Normen und 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).

*Grubenlehm* als *Sekundärrohstoff* wird als bei der Kiesgewinnung abfallender Bodenaushub bereitgestellt und für LP stofflich wiederverwertet. Der Hauptanteil der Belastungen wird entsprechend der nach DIN EN ISO 14044:2018, Abs. 4.3.2 zugrunde gelegten physikalischen Allokation der Kiesgewinnung als Hauptprodukt zugewiesen.

Ziegelsplitt/-mehl wird als bei der Ziegelherstellung als Bruch entstehender Abfall bereitgestellt. Der Anteil der Belastungen zur Entstehung des Abfalls wird entsprechend der nach DIN EN ISO 14044:2018, Abs. 4.3.2 zugrunde gelegten physikalischen Allokation der Ziegelherstellung als Hauptprodukt zugewiesen. Die Aufbereitung des Abfallstoffes (z. B. Mahlen) wird dem System der Lehmplattenproduktion zugerechnet.

## 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 i. d. R. keine Ressourcenverbräuche mit entsprechenden Umweltauswirkungen. Nach DIN EN 15804 ist die Deklaration der IM A1 – A3, C1 – C4 und D für alle zu untersuchenden Bauprodukte verpflichtend. Diese Auswahl entspricht der UPD-Art „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“. Sie wird für die nachfolgende LCA-Analyse der vom Hersteller bereitgestellten Daten zugrunde gelegt.

Tab. B.2 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte Typ S – Primärenergieinput

Lehmplatten Typ S, 25mm nach DIN 18948												
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA												
Darstellung gemäß prEN 15942 Anhang A Muster ITM - Tabelle A2												
Funktionale Einheit m³	Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW	
		Nutzung erneuerbarer Primärenergie ausgenommen erneuerbare Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden	Nutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden	Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen (Primärenergie und Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden)	Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen ausgenommen nicht erneuerbare Energieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden	Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden	Gesamtnutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen (Primärenergie und Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden)	Nutzung von Sekundärstoffen	Nutzung erneuerbarer Sekundärbrennstoffe	Nutzung nicht erneuerbarer Sekundärbrennstoffe	Nettonutzung von Frischwasser	
	IM/Einheiten	MJ H <sub>e</sub>	MJ H <sub>e</sub>	MJ H <sub>e</sub>	MJ H <sub>e</sub>	MJ H <sub>e</sub>	MJ H <sub>e</sub>	kg	MJ H <sub>e</sub>	MJ H <sub>e</sub>	m³	
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	8,63E-01	0,00E+00	8,63E-01	6,20E+01	5,78E-01	6,26E+01	4,23E+02	0,00E+00	0,00E+00	9,97E-03
	Transport	A2	8,79E-01	0,00E+00	8,79E-01	1,31E+01	0,00E+00	1,31E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E-03
	Herstellung	A3	1,27E+03	0,00E+00	1,27E+03	1,16E+03	0,00E+00	1,16E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,36E-01
	Summe (des Produktstadiums)	A1-A3	1,27E+03	0,00E+00	1,27E+03	1,23E+03	5,78E-01	1,23E+03	4,23E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,47E-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
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	
Entsorgungsstadium	Betriebl. Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	
	Betriebl. Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	
Rückgewinnungspotenziale	Demontage	C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	
	Abfallaufbereitung	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
Wiederverwertung	Wiederverwendung LP	D1	-1,15E+03	0,00E+00	-1,15E+03	-1,11E+03	-5,21E-01	-1,11E+03	-3,81E+02	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-01
	Wiederverwertung neue LP	D2	-8,63E-01	0,00E+00	-8,63E-01	-6,20E+01	-5,78E-01	-6,26E+01	-4,23E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung Komponenten	D3	-4,25E+01	0,00E+00	-4,25E+01	-8,26E+02	0,00E+00	-8,26E+02	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 (Primärenergie und Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden)  
**PENRE** = Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergie-ressourcen ausgenommen nicht erneuerbare Energieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden  
**PENRM** = Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden  
**PENRT** = Gesamtnutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen (Primärenergie und Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden)  
**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

Tab. B.3 Ökobilanz für 1 m³ Lehmplatte – Wirkungsanalyse

Lehmplatten Typ S, 25mm nach DIN 18948												
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										Ergänzende Parameter		
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM - Tabelle A2												
Funktionale Einheit m³		Parameter	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	GWP (fossil)	GWP (biogen)	GWP LuL
		IM/ Einheiten	kg CO <sub>2</sub> äquiv	kg CFC-11 äquiv	kg SO <sub>2</sub> äquiv	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> äquiv	kg C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> äquiv	kg Sb äquiv	MI H <sub>2</sub> äquiv	kg CO <sub>2</sub> äquiv	kg CO <sub>2</sub> äquiv	kg CO <sub>2</sub> äquiv
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	-1,57E+01	7,65E-07	4,43E-02	7,59E-03	1,96E-02	3,42E-06	6,28E+01	3,12E+01	-1,94E+01	3,74E+00
	Transport zum Werk	A2	1,69E-01	1,85E-10	2,15E-03	5,02E-04	6,18E-04	9,98E-05	1,27E+01	1,69E-01	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	3,11E+01	2,53E-01	7,72E-02	5,50E-03	1,63E-01	4,16E-05	2,82E+02	2,78E+01	4,85E+01	0,00E+00
	Summe (des Produktstadiums)	Gesamt	1,55E+01	2,53E-01	1,24E-01	1,36E-02	1,84E-01	1,45E-04	3,57E+02	5,91E+01	2,90E+01	3,74E+00
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 Energien	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wasser	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--
	Abfallaufbereitung	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	-3,14E+01	-2,28E-01	-1,11E-01	-1,22E-02	-1,65E-01	-1,30E-04	-3,22E+02	-2,81E+01	0,00E+00	-3,36E+00
	Wiederverwertung neue LP	D2	-3,49E+01	-7,65E-07	-4,43E-02	-7,59E-03	-1,96E-02	-3,42E-06	-6,28E+01	-3,12E+01	0,00E+00	-3,74E+00
	Wiederverwertung Komponenten	D3	-1,09E+02	-1,57E+01	-1,58E+01	-1,57E+01	-1,58E+01	-1,57E+01	-8,31E+02	-1,09E+02	0,00E+00	0,00E+00

**GWP** = Globales Erwärmungs-Potenzial

**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

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

Lehmplatten Typ S, 25mm nach DIN 18948										
Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM - Tabelle A5										
Funktionale Einheit m³	Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET	
	MI/ Einheiten	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ	
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1	3,41E-02	1,91E-01	4,07E-04	1,21E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	A2	8,21E-04	1,00E-03	1,98E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Herstellung	A3	9,02E-01	1,01E-04	5,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Summe (des Produktstadiums)	A1-A3	9,37E-01	1,92E-01	5,66E-02	1,21E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Baustadium	Transport	A4	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Montageprozess	A5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Nutzungs-stadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energien	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wasserr	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungs-stadium	Rückbau, Abriss	C1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Transport	C2	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Abfallaufbereitung	C3	1,43E-07	1,47E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwendung LP	D1	-8,43E-01	-1,73E-01	-5,10E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung neue LP	D2	-3,41E-02	-1,91E-01	-4,07E-04	-1,21E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung Komponenten	D3	-6,57E-02	-8,59E-03	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

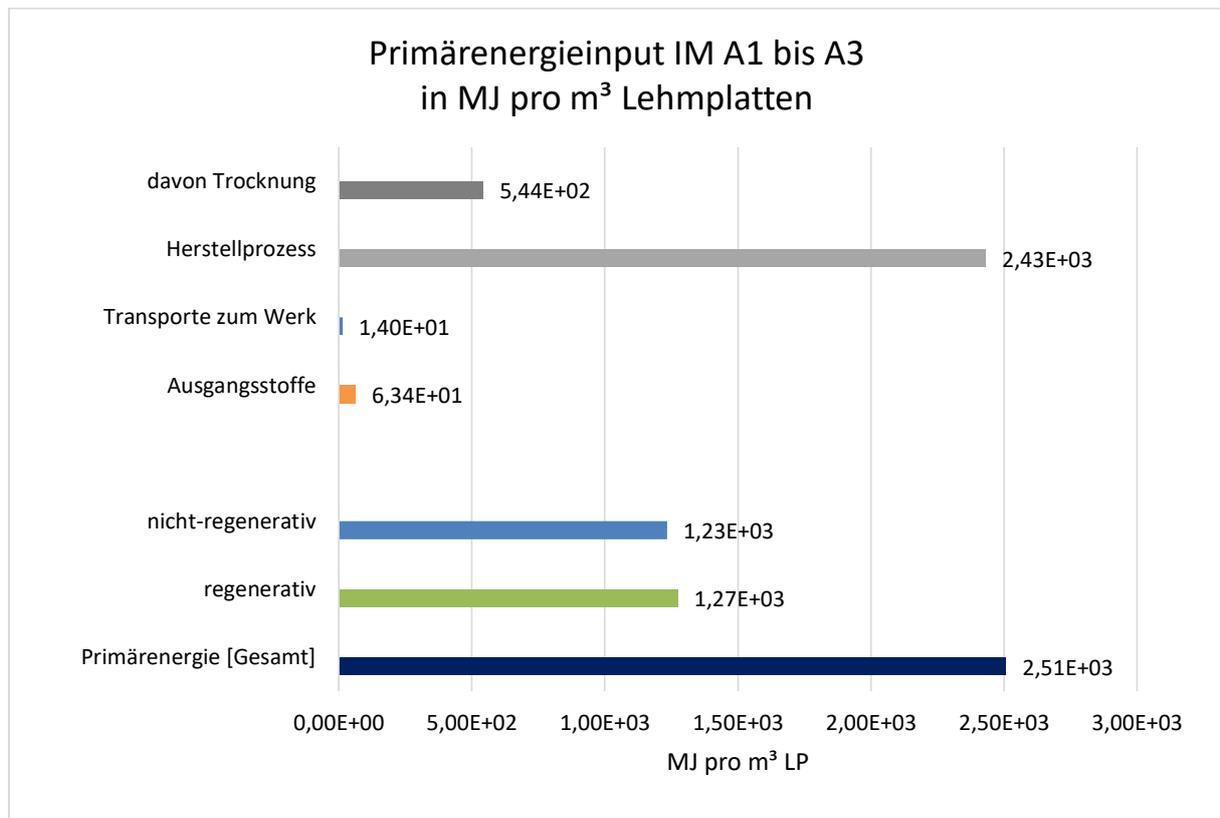
## TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ

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.4*).

### C.1 Primärenergieeinsatz (PEI)

Die Durchschnittswerte für den Primärenergieeinsatz in *Tab. B.2* basieren auf Verbrauchsangaben des Herstellers. Nach vorgelagerten Aufbereitungs-, Dosier- und Mischprozessen folgt die hydraulische Pressung der plastischen Mischung der Ausgangsstoffe mit bis zu 1.500 t in Prägeformen mit Schablonen für die Rillenstruktur die gewünschten Sonderformate. Die feuchten „Rohlinge“ haben einen Wassergehalt von 8 – 10 M.-%. Sie werden auf Stellagen mit luftdurchlässigen Lochblechen in Trockenkammern gefahren. Ein Holzhackschnitzelofen mit einer maximalen Leistung von 200 kW erzeugt die nötige Wärme zur Trocknung bis auf ca. 4 – 5 M.-% Restwassergehalt in den LP. Energieträger sind Holzhackschnitzel mit 20 – 30 % Restfeuchte und einem durchschnittlichen Energiegehalt von 14,4 MJ/kg (unterer Heizwert).

Die elektrische Energie zum Betrieb der gesamten Anlagentechnik und sensorgesteuerter Handhabungsroboter stellt der örtliche Versorger bereit. Die nötige elektrische Energie von 279.000 MJ/m<sup>3</sup> LP bezieht sich auf die Gesamtproduktion für alle fünf deklarierten LP mit einem Volumen von 1.650 m<sup>3</sup>/a. bei 1.700 kg/m<sup>3</sup>. Daraus ergibt sich ein Anteil von 1.880 MJ/m<sup>3</sup> LP oder 74,9 % am Gesamtenergieeinsatz von 2.510 MJ/m<sup>3</sup> LP (*Abb. C.1*).



*Abb. C.1. Primärenergieeinsatz für LP*

Holz ist der Energieträger für die Trocknung der deklarierten LP. Der Energieaufwand zur Bereitstellung der Holzstämmen aus der Forstwirtschaft beträgt 544 MJ/m<sup>3</sup> LP oder 21,7 % des durchschnittlichen Gesamtenergieeinsatzes.

Bei diesen Prozessen entfällt ein geringer Anteil des Gesamtenergieeintrages auf die Ausgangsstoffe. Baulehm, Ziegelbruch als verwertbarer Abfall aus der Ziegelei und Miscanthus summieren sich in der Energiebilanz auf 63,4 MJ/m<sup>3</sup> LP oder 2,5 %.

Die Transporte zum Werk enthalten auch die Transporte der Baumstämmen zum Betrieb des Hackschnitzelofens. Durch Nutzung von Lehm und Tonvorkommen unmittelbar am Werk und einer Forstwirtschaft in der nahen Umgebung entfallen auf Transporte ins Werk nur 14 MJ/m<sup>3</sup> LP oder < 1 % des Gesamtenergieeinsatzes.

Das Verhältnis zwischen regenerativen und nicht-regenerativen Energieträgern ist ausgewogen. Es hängt ab vom Energiemix des Stromversorgers und den Dieselverbräuchen im Werk. Hier ergibt sich Optimierungspotenzial durch Bezug von 100 % Ökostrom und Nutzung von Ökostrom für Fahrzeuge im Werk.

## C.2 Treibhausgaspotenzial (GWP)

Die Treibhausgaspotenziale als CO<sub>2</sub> äquiv. werden als GWP 100 in ihrer Klimawirkung über 100 Jahre betrachtet. Die für LP verwendeten pflanzlichen Ausgangsstoffe enthalten gebundenes CO<sub>2</sub>, das in die Berechnung einbezogen wurde.

Demnach ergibt sich ein durchschnittliches Treibhausgaspotenzial (GWP 100) für die IM A1 – A3 in Höhe von 15,5 kg CO<sub>2</sub> equiv./m<sup>3</sup> LP (Abb. C.2.1). Die untersuchten LP haben eine Dicke von 25 mm und wiegen 38 – 47 kg/m<sup>2</sup>. Zur besseren Vergleichbarkeit empfiehlt sich eine Umrechnung des GWP 100 von LP auf CO<sub>2</sub> äquiv./kg. Bei einer Rohdichte der LP von im Mittel 1.700 kg/m<sup>3</sup> ergibt das ein massebezogenes GWP von 0,0091 CO<sub>2</sub> äquiv./kg LP.

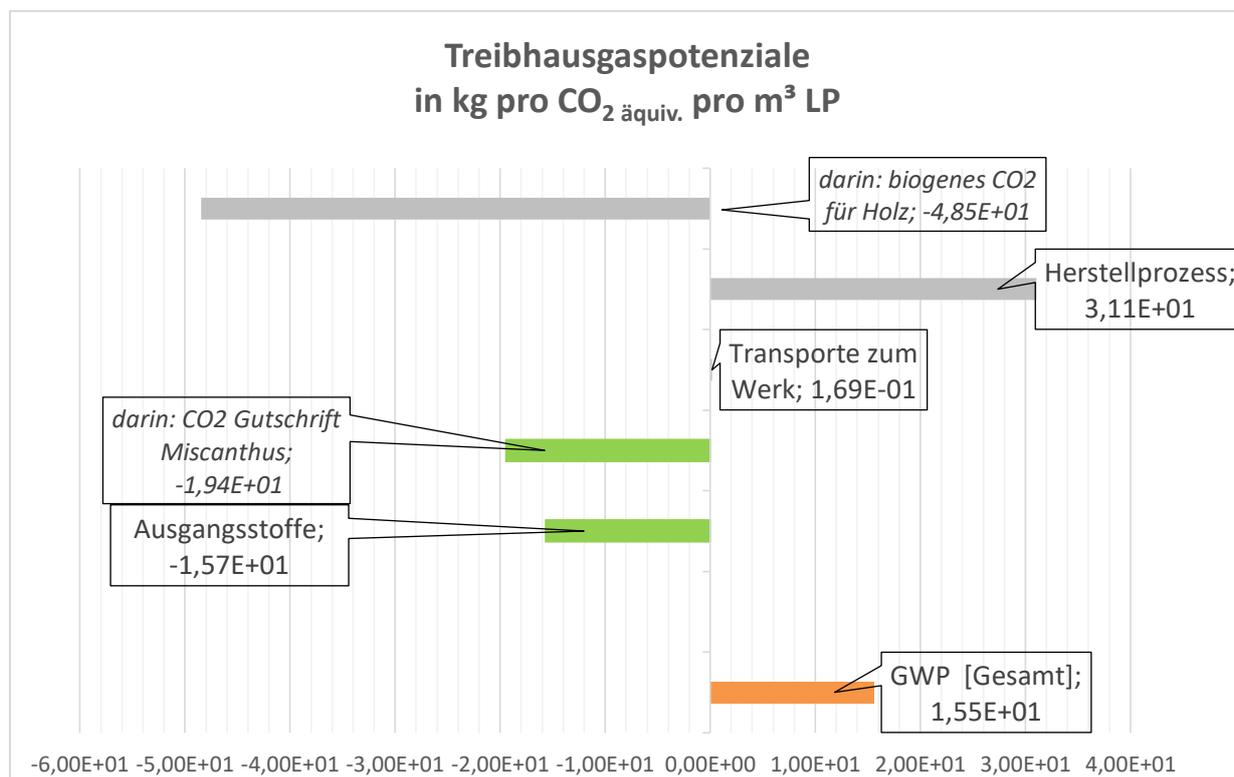


Abb. C.2.1: Treibhausgaspotenziale LP (GWP 100)

Hauptenergieträger für den Trocknungsprozesses der LP ist Holz zum Betrieb des Holzhackschnitzel-Kessels. Die Umrechnung der Holzmasse in CO<sub>2</sub> erfolgt über die im Holz enthaltene Kohlenstoffmenge und das Verhältnis der Molmassen von CO<sub>2</sub> zu Kohlenstoff C (44/12). Der C-Gehalt im Holz wird für alle Holzarten mit 50 % der absolut trockenen Holzmasse angenommen. Somit entspricht 1 kg absolut trockene Holzmasse etwa 1,832 kg gebundenem CO<sub>2</sub> [20]

Eine t Holz enthält somit rechnerisch 0,5 t Kohlenstoff (C). Aus den 0,5 t C, die in 1 t Holz steckt, entstehen bei der Verbrennung etwa 1,83 t CO<sub>2</sub>. Bei Verbrennung von Holz wird nur so viel CO<sub>2</sub> freigesetzt, wie vorher durch die Photosynthese aus der Atmosphäre aufgenommen worden ist. Geringe Abweichungen bis zu 4 % entstehen durch unterschiedliche Baumarten, Wachstumsbedingungen und Wassergehalte. Hölzer mit höherer Restfeuchten emittieren andere Luftschadstoffe, insbesondere Feinstaub-Partikel. Die Partikelmessung bei der Verbrennung von Holzhackschnitzeln im Werk ergab für die hier deklarierten LP eine Feinstaub-Emission von 0,002 g/m<sup>3</sup> Holzhackschnitzel (*Tab. A.1*). Bezogen auf die Jahresproduktion aller fünf deklarierten LP zusammen in Höhe von 1.650 m<sup>3</sup> und einem Holzverbrauch von 190 m<sup>3</sup> ergibt das eine Partikelemission von 2,3E-04 g/m<sup>3</sup> LP.

Die Berechnung der Treibhausgaspotenziale geht aus von einer in der Summe klimaneutralen Verbrennung der Holzhackschnitzel. Der gespeicherte und wieder freigesetzte CO<sub>2</sub>-Gehalt des Holzes beträgt 45,8 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP (*Tab. B.2*). Die Bereitstellung des Brennmaterials aus der gesamten Vorkette der Waldwirtschaft wird in verschiedenen Datenquellen mit 22 – 31 g CO<sub>2</sub>äquiv. kWh ausgewiesen [21], das entspricht 6,1 –8,6 g CO<sub>2</sub> äquiv./MJ. Angesichts der Datenunsicherheit wurde der schlechtere, höhere Wert angerechnet.

In *Abb. C.2* wird der Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Gutschriften für den Ausgangstoff Miscanthus und die Holzmasse zur Verbrennung dargestellt. In Summe vermeiden alle mineralischen und pflanzlichen Ausgangsstoffe zusammen 15,7 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP, allein verursacht durch das gespeicherte CO<sub>2</sub> in Höhe von 19,4 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP aus den ca. 153 kg Miscanthuspflanzen in der Mischung. Zur Bewertung des gebundenen CO<sub>2</sub> in Miscanthusfasern wurde die Umweltbilanz von Baustroh herangezogen [14]. Darin wird die verbleibende Speichermasse nach Anrechnung des Aufwandes für Saat, Dünger, Ernte von 0,078 kg mit netto 1,27 kg CO<sub>2</sub>/kg Stroh ausgewiesen. Im Vergleich zu allen anderen Ausgangsstoffen der LP macht der in dem pflanzlichen Rohstoff gebundene CO<sub>2</sub>-Gehalt mehr als 5 % der gesamten Treibhausgase aus und fällt damit nicht unter das Ausschlusskriterium (*Abs. B.4*). Am Ende des Lebenszyklus werden die deklarierten LP demontiert, zurückgenommen und stofflich verwertet. Deshalb verbleibt das gebundene CO<sub>2</sub> auch danach im Stoffkreislauf, eine „Gegenbuchung“ oder Saldierung bei Freisetzung in der Entsorgungsphase entfällt.

Im Mix der Ausgangsstoffe machen Ton, Baulehm und Ziegelmehl mit 3,74 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP oder rund 24 % der Treibhausgaspotenziale aus. Miscanthusfasern sind zwar nur < 1 M.-%/m<sup>3</sup> LP enthalten, deren gespeicherte CO<sub>2</sub>-Menge vermindert aber die Treibhausgasemissionen deutlich.

Ohne diese CO<sub>2</sub>-Gutschriften erhöht sich das gesamte Treibhausgaspotenzial von 15,5 auf 34,9 kg CO<sub>2</sub>äquiv./m<sup>3</sup> LP um mehr als das Doppelte.

Die Prozessschritte in der Fertigung (Materialaufbereitung, Mischung, Dosierung, Transportbänder, Pressung, Handling-Roboter) speisen ihren Strombedarf von 279.000 MJ aus dem Strommix des örtlichen Versorgers. Das ergibt 27,7 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP (*Abb. C.2: in Herstellung*) und damit die Hauptursache für die gesamten Treibhausgasemissionen mit 31,1 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP. Die Dieselverbräuche für den Herstellungsprozess, z. B. Baumaschinen (Bagger, Gabelstapler) im Werk, summieren sich auf 104 g CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP und sind darin enthalten. Die Trocknung ist Teil des Herstellungsprozesses mit einem Treibhausgaspotenzial von 3,28 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP für die Holzbereitstellung ohne das freigesetzte, in der Holzmasse gespeicherte CO<sub>2</sub>. Der Saldo von gespeichertem und freigesetztem CO<sub>2</sub> in der

Holzmasse bleibt Null. Würde das freigesetzte CO<sub>2</sub> in die Bilanz eingehen, stiegen die Treibhausgasemissionen auf insgesamt 64 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP, davon 27,7 kg oder 43 % aus dem Strommix.

Transporte der Ausgangsstoffe zum Werk tragen mit 142 g CO<sub>2</sub> equiv./m<sup>3</sup> LP zu den Treibhausgaspotenzialen bei. Der Hersteller verfügt über Lehm- und Tongruben unmittelbar am Werk. Zulieferungen für Sekundärgrubenlehm (10 M.-% der Mischung) kommen aus 4 km Entfernung, Miscanthus aus 138 km Entfernung. Die Transporte von Holzstämmen für den Betrieb des Holzhackschnitzelkessels aus einem Umkreis von 20 km tragen mit 26,9 g CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP zum Treibhausgaspotenzial bei.

Die Ausgangsstoffe enthalten Komponenten, die als Abfall in den Produktionsprozess der LP ohne besondere Aufbereitung eingehen. Allein dieser Ansatz senkt die Treibhausgasemissionen durch Vermeidung von Neu-Produktion. Die Trocknung der LP durch Verbrennung von Holzhackschnitzeln vermeidet Treibhausgaspotenziale auch ohne die Gutschrift für zuvor gebundenes CO<sub>2</sub> durch die Substitution sonst nötiger fossiler Brennstoffe oder elektrische Energie aus dem Strommix.

Abb. C.2.2 zeigt das Szenario der Treibhausgasemissionen ohne die CO<sub>2</sub>-Gutschrift aus der Holzmasse zur Trocknung im Herstellungsprozess. In dem Szenario erhöhen sich die Treibhausgasemissionen gegenüber dem CO<sub>2</sub>-neutralen Szenario in Abb. C.2.1 um 48,5 kg CO<sub>2</sub> äquiv./m<sup>3</sup> LP oder 156 %.

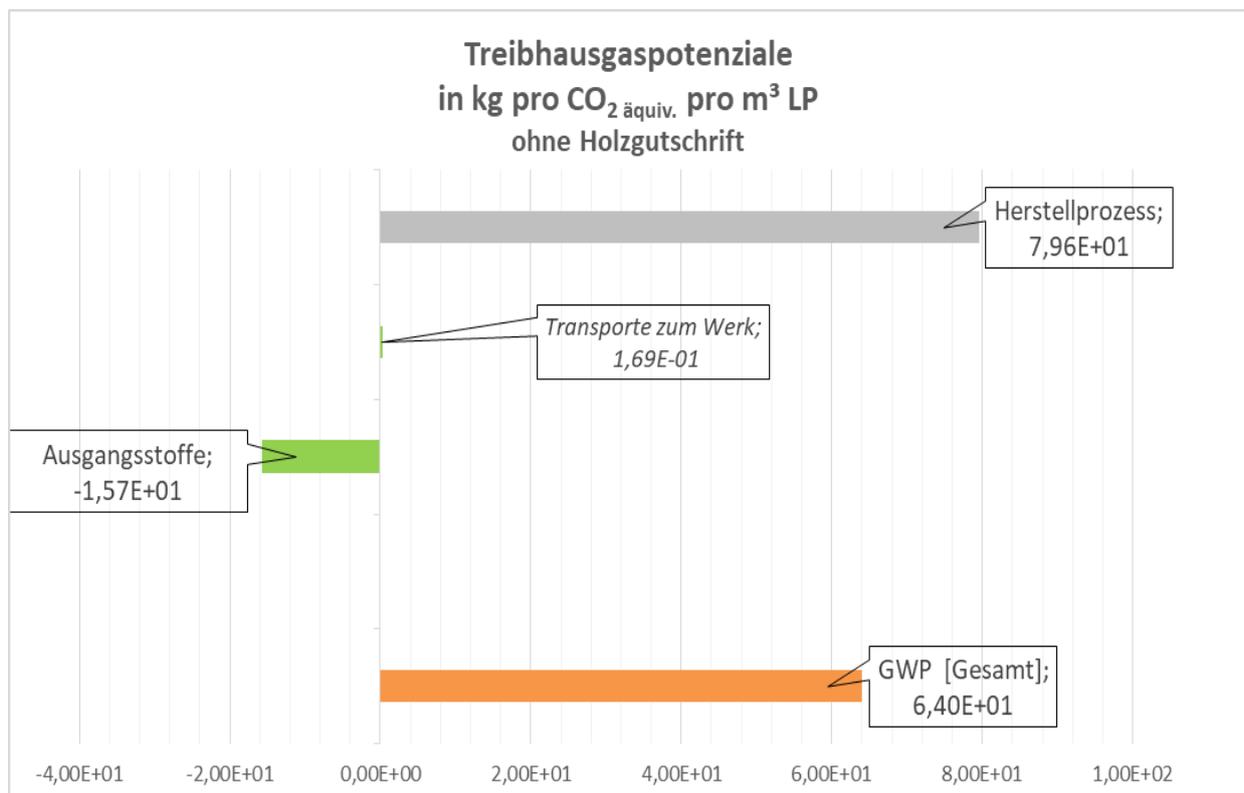


Abb. C.2.2 Treibhausgaspotenziale der LP ohne CO<sub>2</sub>-Gutschrift für die Holzmasse im Herstellungsprozess (Trocknung)

### C.3 Aufbereitung und Rückgewinnungspotenzial

Nachfolgend werden drei Rückgewinnungsszenarien D1 – D3 für LP betrachtet [15]:

D1: zerstörungsfreie Demontage von LP vor Gebäudeabriss zur Wiederverwendung (Abb. C.3.2),

D2: Replastifizierung von LP-Bruch („Einsumpfen“) zur Wiederverwertung (Abb. C.3.3),

D3: Schreddern von LP-Bruch zu Lehm-Rezyklat als Ersatz von Trockenlehm (Abb. C.3.4),

Demontierte LP können grundsätzlich ohne erneute Produktionsschritte wiederverwendet werden. Wie alle Lehmbaustoffe 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.

Sobald ein zerstörender Rückbau erfolgt oder rückgewonnenes LP-Bruchmaterial wiederverwertet wird (IM D2 und D3), ist eine Aufbereitung erforderlich.

In IM C3 wird die Aufbereitung des rückgewonnenen LP-Bruchmaterials 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 Lehmbaustoffe 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 Lehmbaustoffe gegenüberzustellen (*Abb. C. 3.1*).

Ausgewählt wurde eine für das Baustoffrecycling typische Prallmühle (Modell: SBM Remax 200 [22]) mit 0,23 l/t Dieselverbrauch einschließlich Stromgenerator. 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 leichter Pflanzen- und 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/m<sup>3</sup> LP zur Wiederverwertung. Die Treibhausgasemissionen bei einem Betrieb mit dem angegebenen Dieselverbrauch betragen 1,5 g CO<sub>2</sub>equiv./m<sup>3</sup> LP. *Abb. C. 3.1* zeigt zwei Kenngrößen der Bilanzierung des IM C3. Zum einen beträgt der Primärenergieeinsatz bei einem Dieselbetrieb der unterstellten Aufbereitungstechnik 1,65E-02 MJ/m<sup>3</sup> LP. Zum anderen entstehen Treibhausgasemissionen als GWP 100 mit 1,47E-04 kg CO<sub>2</sub>equiv./m<sup>3</sup> LP.

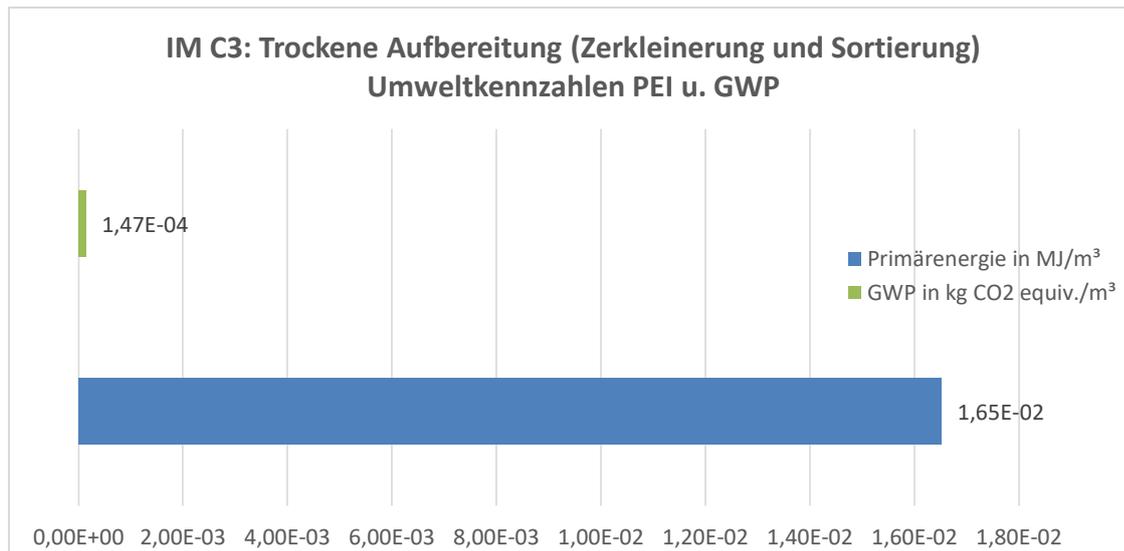


Abb. C.3.1 Aufbereitung IM C3: Schreddern von Lehmplatten - Trockenverfahren

Die untersuchten LP bestehen zu 85 M.-% aus mit Ton angereichertem Baulehm und 14 M.-% zermahlenem Ziegelbruch. Der Rest sind Miscanthusfasern. Diese, sowie die in Abs. 3.2 genannten organischen Faserstoffe, sind als Zusatzstoffe für die Herstellung neuer LP sowie LPM zulässig, ihre vollständige Entfernung aus dem Lehm-Rezyklat durch den Einsatz von Windsichtern ist deshalb nicht zwingend erforderlich. Durch Eingangskontrollen des Rezyklats können Anpassungen für spezifische Rezepturen für neue LP / Lehmbaustoffe vorgenommen werden.

Abb. C.3.2 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 2.260 MJ/m³ LP einsparen. Die Abschätzung der eingesparten Treibhausgasemissionen bezieht sich bei den Ausgangsstoffen auf die tatsächliche Mengeneinsparung ohne rechnerische Gutschriften. Dadurch lassen sich 31,4 kg CO<sub>2</sub>äquiv./m³ wiederverwendete LP substituieren.

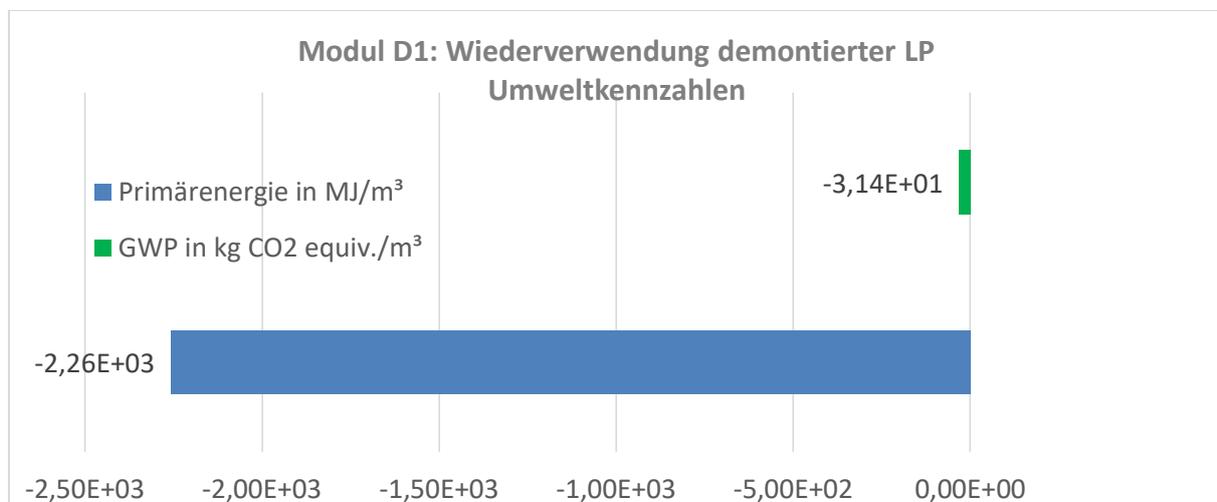


Abb. C.3.2 Rückgewinnungspotenziale IM D1 – Wiederverwendung demontierter LP

Für eine Wiederverwertung nach IM D2 kommt neben dem Trockenverfahren zur Aufbereitung (Abb C.3.3) auch das Nassverfahren in Frage.

Die Rückgewinnungspotenziale durch Wiederverwertung für neue LP in IM D2 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 dadurch eingesparten Prozessschritte zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe (IM A1) reduzieren den Primärenergieeinsatz um 63,4 MJ/m<sup>3</sup> LP. Bezogen auf die in Abb. C.3.3 dargestellte Wirkungskategorie GWP werden 34,9 kg CO<sub>2</sub> equiv./m<sup>3</sup> LP vermieden. Gegenüber dem ursprünglichen Herstellungsprozess in den IM A1 – A3 erbringt die Rückgewinnung eine Energieeinsparung von 2,5 %. Die Treibhausgasemissionen für die sonst neu abzubauenen mineralischen Komponenten werden durch Wiederverwertung der Ausgangsstoffe rückgewonnener LP für neue LP eingespart.

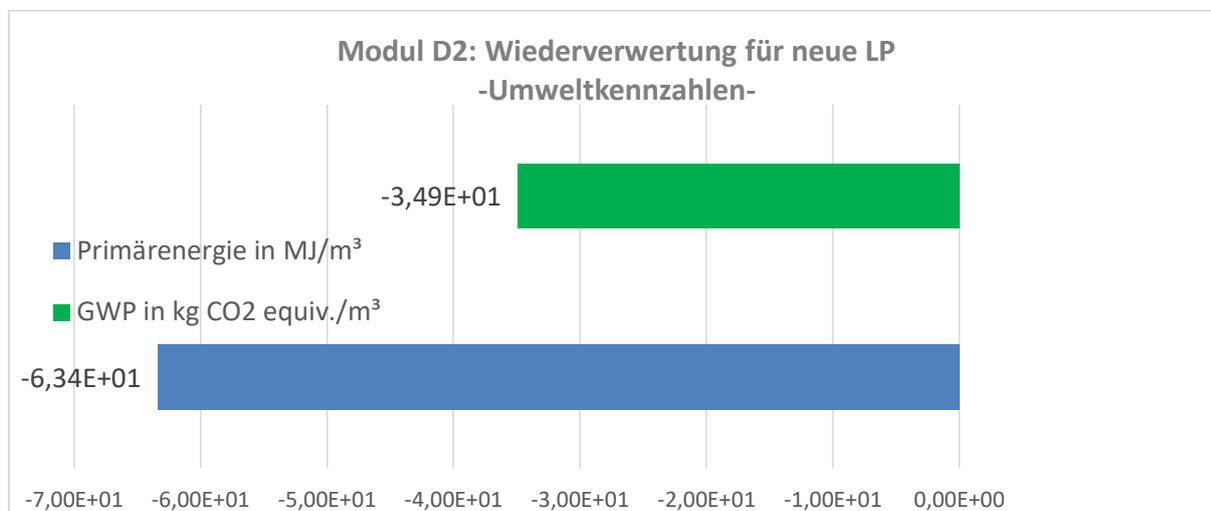


Abb. C.3.3 Rückgewinnungspotenziale IM D2– Wiederverwertung für neue LP (Nassverfahren)

Abb. C.3.4 zeigt die Umweltkennzahlen zum Primärenergieeinsatz und zur Wirkung auf das Treibhausgaspotenzial GWP bei einer Wiederverwertung des in einer LP enthaltenen Lehms / Tons als Substitut für Trockenlehm im IM D3 für andere Lehmbauprodukte als LP, z. B. Lehmputzmörtel.

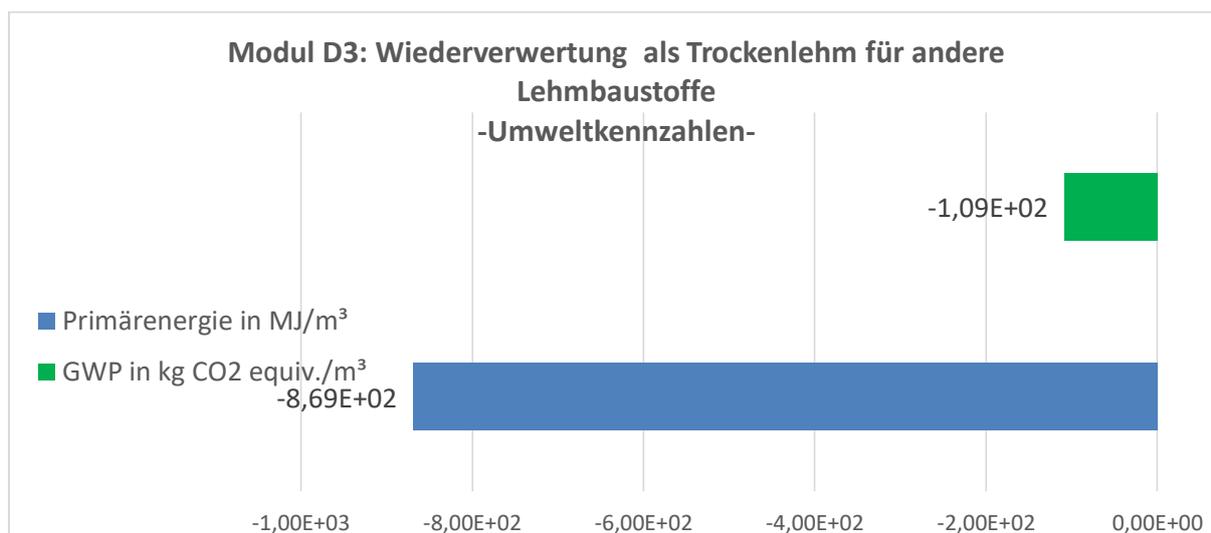


Abb. C.3.4 Rückgewinnungspotenziale IM D3: Substitution von Trockenlehm

Zur Berechnung der Rückgewinnungspotenziale wurde der durchschnittliche Anteil von mit Ton angereichertem Baulehm in der Mischung der deklarierten LP angenommen. Eine durchschnittliche LP dieser Ökobilanz enthält nach Zerkleinerung 85 M.-% Lehm-Tongemisch. Das Ziegelmehl ist für viele andere Lehmprodukte nach DIN zulässig und ersetzt andere mineralische Abmagerungen. Das Ziegelmehl kommt aus Ziegeleibbruch und wird in der Bewertung des IM D3 nicht nochmals einbezogen, sondern nur die Lehm/Tonmischung in den deklarierten LP. Zu letzteren liegen Umweltbilanzdaten eines Herstellers für diese Trockenbestandteile vieler Lehmprodukte vor.

Die pulverigen Massen der trocken rückgewonnenen und zerkleinerten mineralischen Bestandteile einer LP eignen sich für gravimetrische Dosierverfahren, wie sie z. B. für LPM [17] angewendet werden. In *Abb. C.3.4* sind zwei Kerngrößen zur Quantifizierung der Rückgewinnungspotenziale dargestellt: der Primärenergieeinsatz PEI und die Treibhausgasemissionen GWP 100. Die Substitution des Trockenlehms als Ausgangsstoff für trockene Lehmbaustoffe, insbesondere LPM, durch wiederverwertete LP spart Primärenergieinput in Höhe von  $8,69E+02$  MJ/m<sup>3</sup> Alt-LP. Grund dafür ist die Vermeidung der originären Bereitstellung und notwendigen Trocknungsenergie für Baulehm/Ton ( $8,67E+02$  MJ/m<sup>3</sup> Trockenlehm).

Der Substitutionseffekt nach IM D3 vermeidet 109 kg CO<sub>2equiv.</sub>/m<sup>3</sup> LP Treibhausgasemissionen (*Abb. C.3.4*). Ursächlich dafür ist die Vermeidung von Treibhausgasemissionen für originär bereitgestellten, künstlich getrockneten Baulehm (85 M.-% im Abbruchmaterial). Unter Berücksichtigung der Aufbereitung (*Abb. C.3.3*) mit 0,00015 kg CO<sub>2equiv.</sub>/m<sup>3</sup> LP reduziert sich der Netto-Einspareffekt von Treibhausgasemissionen nur marginal auf < 1%.

Im Vergleich zum Primärprodukt fällt auf, dass die Vermeidung von GWP mit 109 kg CO<sub>2equiv.</sub>/m<sup>3</sup> LP die Summe der nicht durch CO<sub>2</sub>-Gutschriften reduzierten Emissionen einer neu hergestellten LP in den IM A1 – A3 vollständig kompensiert.

#### **C.4 Zusammenfassende Kommentierung**

Bei den fünf LP des Typs S handelt es sich um ein System gleich groß dimensionierter Platten mit Einprägungen für die bauseitige Einbindung von Rohrleitungen oder elektrischen Heizkabeln zur Temperierung. Die fünf deklarierten LP durchlaufen dasselbe automatisierte Herstellungsverfahren mit Trocknung durch Verbrennung von Holzhackschnitzeln in einem 200 kW-Ofen. Die Trocknung erfolgt in speziellen Trockenkammern, die eine Wärmerückgewinnung ermöglichen, zur Optimierung des Prozesses beitragen und die erforderliche Holzmasse auf 190 m<sup>3</sup>/a. reduzieren. Der Strom und Dieselverbrauch für die 25 mm dicken und 38 – 47 kg/m<sup>2</sup> schweren LP ist der bestimmende Inputfaktor der IM A1 – A3 dieser Ökobilanz. Dabei kommt es auf den Strommix an, der hier nach dem deutschen Mix des Jahres 2020 bemessen worden ist. Eine Umstellung auf 100% Ökostrom könnte zur Verbesserung der Ökobilanz beitragen.

Die resultierenden Treibhausgasemissionen (GWP 100) der Trocknungsenergie in den IM A1 – A3 werden durch gebundene biogene Kohlenstoffe des Ausgangsstoffes Miscanthus und durch den Energieträger Holz vermindert. Am Ende des Lebenszyklus werden die LP nicht energetisch verwertet, sondern demontiert und wiederverwendet oder stofflich wiederverwertet. Damit verbleiben die gespeicherten Kohlenstoffe der Miscanthusfasern in der stofflichen Verwertungskette gebunden und werden nicht wieder durch energetische bzw. thermische Verwertungsprozesse freigesetzt. Die Beimischung von Pflanzen ist typisch für den Lehmabau, die in der Geschichte des Lehmabaus bis hin zum modernen Leichtlehmabau beobachtet werden kann. Für die Umweltbilanz ist von größter Bedeutung, dass keine Freisetzung des einmal gespeicherten CO<sub>2</sub> erfolgt. Das ist bei den in der Bilanz dargelegten Rückgewinnungsszenarien IM D1 – D3 dargelegt und quantifiziert.

Das abiotische Abbaupotenzial nicht fossiler Rohstoffe (ADPE) weist mit  $1,45E-04$  kg Sb<sub>äquiv.</sub>/m<sup>3</sup> LP (*Tab. B.3*) auf eine effiziente Ausnutzung von mineralischen Rohstoffen hin. Die Hauptkomponenten der deklarierten LP sind Grubenlehm, Tonmineralien und Ziegelbruch, dessen Bereitstellung nur teilweise durch primären Abbau oder primäre Erzeugung erfolgt. Sekundärlehm als Bodenaushub von Erdarbeiten hat einen Anteil von 10 M.-% an der Zusammensetzung der Ausgangsstoffe der untersuchten LP. Ein höherer Anteil des Sekundärgrubenlehms würde zu einer weiteren Vermeidung von primären Ressourcenverbräuchen beitragen

Das Rückgewinnungspotenzial wird durch die homogene Struktur der Materialmischung von LP begünstigt. Die enthaltenen Komponenten sind kompatibel mit den Vorgaben über zulässige Ausgangsstoffe der jeweiligen DIN für LPM, LS, LMM und LP (DIN 18945-18948).

Die Wiederverwendung von LP nach IM D1 ersetzt den gesamten Produktionsdurchlauf in den IM A1-A3 und vermeidet bei einem Demontageverlust von 10 M.-% rechnerisch auch 90 % des Primärenergieeinsatzes und der Umweltwirkungen. Dieses Szenario setzt eine effiziente Baustellenlogistik voraus, um die LP möglichst verlustarm zurückzubauen. Die Entfernung von Anhaftungen, z. B. LPM, ist möglich, erfordert aber zusätzlichen manuellen oder mechanischen Aufwand, der hier nicht quantifiziert wurde. Der Hersteller garantiert für alle fünf deklarierten LP eine Rücknahme.

Das *Trockenverfahren* zur Aufbereitung demontierter LP eignet sich gut zur Wiederverwertung für neue LP und andere Lehnbaustoffe (IM D2 und D3). Der in den geschredderten LP enthaltene trockene Grubenlehm mit hohen Tonanteilen eignet sich als Substitut für Produkte bzw. Verfahren, die künstlich getrockneten Grubenlehm bzw. Ton verwenden. Allein der Trocknungsprozess von Ton und Lehm erfordert nach Angaben von Lieferanten einen Energieinput aus Erdgas von bis zu 918 MJ (255 kWh)/t. Der Anteil des trockenen Baulehms aus einer zerkleinerten LP substituiert diesen Energieaufwand bei minimalem Aufbereitungsaufwand von 1,65E-02 MJ/t fast vollständig. Der Einsatz von trockenem Recyclinglehm aus wiederverwerteten LP vermeidet Treibhausgasemissionen aus der sonst erforderlichen technischen Lehm-/Trocknung in einer Größenordnung von 109 kg CO<sub>2äquiv</sub>/m<sup>3</sup> Alt-LP.

Die Rückgewinnungspotenziale der Wiederverwendung von demontierten LP in IM D1 sind in den Input- und Wirkungskategorien geringer als in IM D3 (*Tab. B.2 u. B.3*), weil der maximale Substitutionseffekt nicht höher sein kann als die primäre Produktion. Aufgrund des effizienten Trocknungsverfahrens und der Verwendung von Sekundärstoffen (Lehm und Ziegelbruch) kann die maximale Energieeinsparung nicht höher als 2.510 MJ/m<sup>3</sup> LP sein, und die maximale Vermeidung von Treibhausgasemissionen kann nicht mehr als 3,49 kg CO<sub>2äquiv</sub>/m<sup>3</sup> LP betragen.

Unabhängig vom Aufbereitungsverfahren und der Verwertungskette behalten LP (wie auch andere Lehmbauprodukte) durch ihre homogene Zusammensetzung, den strikten normgerechten (DIN 18948) Verzicht auf künstliche bindende Zusätze die jederzeit aktivierbare Eigenschaft der Replastifizierbarkeit als ideale Voraussetzungen für die Rückgewinnung in Form einer Weiterverwertung (IM D2 und D3) im System Lehm- und Ziegelbau.

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: von der Demontage zurück zum Werk für die Produktion neuer LP oder hin zu Herstellern anderer Lehm- und Ziegelbaustoffe.

## ZITIERTER 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 4726-2017-10: Warmwasser-Flächenheizungen und Heizkörperanbindungen – Kunststoffrohr- und Verbundrohrleitungssysteme

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

DIN 18942-1:2018-12: Lehm- und Ziegelbaustoffe und Lehm- und Ziegelbauprodukte – Teil 1: Begriffe

DIN 18942-100:2018-12: Lehm- und Ziegelbaustoffe und Lehm- und Ziegelbauprodukte – 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: 2018-03
- 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, Oktober 2022*
- 5 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehm-baustoffe – Grundregeln für die Produktkategorie Lehmplatten (LP)*. Weimar: 2018-03
- 6 Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen (BVF) e. V. (Hrsg.): *Kühlen und Heizen mit Deckensystemen: Lehmdeckensysteme*. Richtlinie 15.12. BVF, Dortmund: 2021
- 7 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehm-baustoffe – Richtlinie*. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 05, Weimar: 2011
- 8 Natureplus e. V.: *Vergaberichtlinie 1006 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Lehmplatten*. Neckargemünd: 2015-06
- 9 Natureplus e. V.: *Vergaberichtlinie 5003 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Naturschutz beim Abbau mineralischer Rohstoffe*. Neckargemünd: 2015-04
- 10 Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.): *Kreislaufwirtschaft Bau - Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018, Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018*. Berlin 2021
- 11 Landesarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) (Hrsg.): *Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen*. Berlin: LAGA Mitteilung, Heft 20, 2004, 5. Aufl.
- 12 Bau-EPD (Hrsg.): *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von UPDs*. Bau-EPD GmbH, Wien 2014
- 13 EMAS D-146-00004: *2. Aktualisierte Umwelterklärung der Stephan Schmidt KG, 2008*
- 14 Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) (Hrsg.): *Umweltproduktdeklaration für Baustroh nach DIN EN ISO 14025 u. DIN EN 15804*. Wien 2014
- 15 <https://www.fh-potsdam.de/aktuelles-medien/news/symposium-baustoffrecycling-und-lehm-baustoffe>
- 16 <https://www.ecoinvent.org>
- 17 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehm-baustoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (UPD LPM) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2018-10
- 18 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.oeko-baudat.de](http://www.oeko-baudat.de)
- 19 [www.gemis.de](http://www.gemis.de)

- 20 Diederichs, S.; Rüter, S.: *Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz*. Institut für Holztechnologie, Hamburg April 2012
- 21 Zimmer, B.: *Ökobilanz Waldhackschnitzel*, in: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) aktuell 74/2010
- 22 <https://www.sbm-mp.at/de/produkte/aufbereitungsanlagen-mobil/mobile-prallbrecher/remax-200.html>