

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

Dachverband Lehm e.V.



Muster-Umweltproduktdeklaration

nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804:2022-03

Muster-UPD

Lehmplatten nach DIN 18948

Deklarationsinhaber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Herausgeber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Programmbetreiber	Dachverband Lehm e.V., Postfach 1172, 99409 Weimar
Deklarationsnummer	MUPD_LP_DVL2026001_PKR _{Entwurf} Ü6-DE
Ausstellungsdatum	30.04.2026
Gültig bis	29.04.2031

Umwelt-Produktdeklaration – Allgemeine Angaben

Programmbetreiber

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

www.dachverband-lehm.de

Deklarationsnummer

MUPD_LP_DVL2026001_PKR_{Entwurf}Ü6-DE

Deklarationsbasis

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmplatten
PKR_{Entwurf}LP Ü6_2026_04

Ersteller der Ökobilanz

Dipl.-Ök. Manfred Lemke

Die Europäische Norm EN 15804:2022-03 dient als Kern-PKR

Unabhängige Verifizierung der Deklaration nach DIN EN ISO 14025 in Verbindung mit CEN ISO/TS 14071:2016

intern extern

Ausstellungsdatum

30.04.2026

Gültigkeitsdauer

29.04.2031

Deklarationsinhaber

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

www.dachverband-lehm.de

Deklariertes Bauprodukt / Deklarierte Einheit

Die Muster-Umweltproduktdeklaration (MUPD) gilt für Lehmplatten nach DIN 18948.

Als funktionale Einheit wurde ein Kubikmeter (m³) analog zu DIN 18948 Anhang A.3 für Lehmplatten festgelegt.

Gültigkeitsbereich

Die vorliegende MUPD dient als Vorlage zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen nach DIN EN 15804 für herstellereigenspezifische Lehmplatten. Die angegebenen Orientierungswerte für Umweltparameter beruhen auf veröffentlichten Ökobilanzdaten (Stand: 2026_04).

Eine Haftung des Dachverbandes Lehm e.V. in Bezug auf dieser MUPD zugrunde liegenden Produktinformationen und Ökobilanzdaten ist ausgeschlossen.



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



Dr.-Ing. Horst Schroeder
Prüfgremium



Dr.-Ing. Horst Schroeder
Verifizierer

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe

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

INHALT

1	ALLGEMEINES.....	5
1.1	Normative Grundlagen.....	5
1.2	Nachverfolgung der Versionen	5
1.3	Begriffe / Abkürzungen.....	6
2	PRODUKTDEFINITION	6
2.1	Geltungsbereich.....	6
2.2	Produktbeschreibung.....	7
2.3	Einsatzzweck.....	7
2.4	Produktnorm / Zulassung / Inverkehrbringen / Anwendungsregeln.....	7
2.5	Gütesicherung	8
2.6	Lieferzustand.....	8
2.7	Bautechnische Eigenschaften.....	8
2.7.1	Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften	8
2.7.2	Schallschutz.....	9
2.7.3	Luftdurchlässigkeit.....	9
2.8	Brandschutz.....	9
3	AUSGANGSSTOFFE.....	9
3.1	Auswahl / Eignung.....	9
3.2	Stoffeläuterung.....	9
3.3	Bereitstellung	11
3.4	Verfügbarkeit	11
4	PRODUKTHERSTELLUNG	12
4.1	Herstellungsprozess.....	12
4.1.1	Formgebungsverfahren „Streichen / bandgestrichen“	12
4.1.2	Formgebungsverfahren „Streichen / formgestrichen“	12
4.1.3	Formgebungsverfahren „Pressen / formgepresst“	13
4.1.4	Produktionsschema für LP - Übersicht	13
4.2	Gesundheitsschutz Herstellung	14
4.3	Umweltschutz Herstellung.....	14
4.3.1	Abfall.....	14
4.3.2	Wasser / Boden	14
4.3.3	Lärm	14
4.3.4	Luft.....	15

5	PRODUKTVERARBEITUNG.....	15
5.1	Verarbeitungshinweise.....	15
5.2	Arbeitsschutz / Umweltschutz.....	16
5.3	Restmaterial.....	16
5.4	Verpackung	16
6	NUTZUNGSZUSTAND.....	16
6.1	Inhaltsstoffe.....	16
6.2	Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit.....	17
6.3	Beständigkeit / Nutzungsdauer	17
7	AUSSERGEWÖHNLICHE EINWIRKUNGEN.....	17
7.1	Brand.....	17
7.2	Hochwasser	18
7.3	Havarie Wasserleitungen	18
8	HINWEISE ZUR NUTZUNGSPHASE	18
9	NACHNUTZUNGSPHASE	18
9.1	Recycling von LP.....	18
9.2	Verwertung von Abfällen und Verpackungen	19
9.3	Entsorgung	19
10	NACHWEISE	19
10.1	Produkterstprüfung nach DIN 18942-100.....	19
10.2	VOC, TVOC	19
10.3	Radioaktivität.....	19
TEIL A	ÖKOBILANZ.....	19
A.1	Systemdefinition und Modellierung des Lebenszyklus	19
A.1.1	Funktionale Einheit	19
A.1.2	Biogener Kohlenstoffgehalt	20
A.1.3	Systemgrenzen	20
A.1.4	Abschneidekriterium.....	20
A.1.5	Betrachtungszeitraum.....	20
A.1.6	Referenznutzungsdauer	20
A.1.7	Allokation.....	21
A.2	Sachbilanz LCI.....	21

Teil B	LEBENSZYKLUSANALYSE LCA	23
B.1	Ziel der Analyse	23
B.2	Zielgruppen der Analyse	23
B.3	Annahmen und Abschätzungen.....	23
B.4	Datenerhebung und Datenqualität.....	25
B.5	Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse LCA	26
TEIL C	INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ	26
C.1	Primärenergieeinsatz PEI	26
C.2	Treibhausgaspotenzial GWP	27
C.3	Rückgewinnungsszenarien D.....	28
C.3.1	Szenario D1 (Demontage / Wiederverwendung)	28
C.3.2	Szenario D2 (Nassverfahren)	29
C.3.3	Szenario D3 (trocken / maschinelle Zerkleinerung)	29
C.4	Anmerkungen zu den Rückgewinnungsszenarien	30
TEIL D	TABELLENANHANG	32
D.1	Inputfaktoren	32
D.2	Outputfaktoren	32
D.3	Umweltwirkungsfaktoren.....	34
	Zitierte Standards / Literaturhinweise.....	34

1 ALLGEMEINES

1.1 Normative Grundlagen

Dieses Dokument wurde durch den Programmbetreiber Dachverband Lehm e. V. (DVL) auf der Grundlage folgender Normen sowie der in *Abs. 2.4* genannten Normen und Regeln erstellt:

DIN EN 15804:2022-03, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*,

DIN EN 15942: 2022-04, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Kommunikationsformate zwischen Unternehmen*,

DIN EN ISO 14025:2025-05, *Umweltaussagen und -programme für Produkte – Umweltproduktdeklarationen*

DIN EN ISO 14040:2021-02, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze u. Rahmenbedingungen*,

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

1.2 Nachverfolgung der Versionen

Version	Kommentar	Stand
Ü1	Erster Entwurf ohne Datenerhebung	Sep 2020
Ü2	Datenerhebung und –auswertung	Juli 2021
Ü3	Berechnung und Bilanzierung	Okt 2021
Ü4	Interpretation und Überarbeitung der Darstellung	Jan 2022
Ü5	Überarbeitung UPD LP.03.1 HS05	08.05.2022
Ü6	Überarbeitung UPD LP.03.3 HS05.2	01.07.2022
Ü7	Verifizierung UPD LP.03.04 HS.ML06.2.1	06.08.2022
Ü8	Redaktionelle Überarbeitung UPD LP.03.04 ML06.2.2	31.01.2023
Ü9	Redaktionelle Überarbeitung nach DIN EN 15804:2022-03, DIN EN 15942:2022-04, DIN EN ISO 14040:2021-02 im Projekt Lehm.3	Dezember 2025
Ü10	Interne Verifizierung der redaktionellen Überarbeitung; Änderung der UPD-Struktur und UPD Daten	März 2026
Ü11	Endredaktion der Überarbeitung nach Ü10	April 2026

Version Ü11

Weimar, April 2026

Kontakt:

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

© Dachverband Lehm e.V.

1.3 Begriffe / Abkürzungen

Für Anwender dieses Dokumentes gelten in Verbindung mit den Allgemeinen Regeln zur 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.

Sachbilanz (LCI): Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von In- u. Outputs

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

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

IM Informationsmodul

LS Lehmstein

LMM Lehmmauermörtel

LPM Lehmputzmörtel

LDPM Lehmdünnlagenputzmörtel

LDB Lehmdünnlagenbeschichtung

LKAM Lehmklebe- und Armiermörtel

LP Lehmplatte

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

AVV Europäische Abfallverzeichnis-Verordnung [3]

EBV Ersatzbaustoffverordnung [4]

BBodSchV Bundes-Bodenschutzverordnung [5]

2 PRODUKTDEFINITION

2.1 Geltungsbereich

Diese Umweltproduktdeklaration (UPD) ist eine Musterdeklaration des Dachverbandes Lehm e. V. (DVL) für Lehmplatten (LP). Die Musterdeklaration dient als Vorlage für herstellereigenspezifische Ökobilanzen im Programmbetrieb des DVL. Hersteller geben den Geltungsbereich der nach dieser Muster-UPD deklarierten spezifischen Produkte in *Tab. 2.1* an.

Tab. 2.1 Hersteller, Verfahrensart und Produktbezeichnung

Nr.	Hersteller	Werksanschrift	Verfahrensart n. Kap. 4.1	Produktbezeichnung
x	Xxxx	1234 XXXX	XXXX	XXXX

Diese Muster-UPD ist anwendbar auf im Werk hergestellte, ungebrannte „dünne“ ($t \leq 1/5$ der Plattenbreite b) Lehmplatten (LP) nach DIN 18948 / 18942-1 zum Beplanken und Bekleiden von Bauteilen

im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich. Sie gilt für normierte LP, die nach einem der in *Kap. 4.1* deklarierten Verfahren hergestellt wurden.

LP mit $t > 1/5$ der Plattenbreite b , die ohne Unterkonstruktion für tragende / nicht tragende Wände und Ausfachungen verarbeitet werden können, sowie Hohlkammerplatten, die eine Unterkonstruktion erfordern, sind nicht Gegenstand dieser Muster-UPD. Mit Lehmputzen und Lehmdünnlagenbeschichtungen (LDB) beschichtete Trägerplatten aus anderen Baustoffen fallen ebenfalls nicht in den Geltungsbereich dieser UPD.

Für die Anwendung gelten die DIN 18948, die LR DVL [2] sowie die PKR LP des DVL [6]. Wandbauteile aus Bausystemen unter Verwendung von LP müssen zusätzlich den Anforderungen der DIN 4103-1 entsprechen.

2.2 Produktbeschreibung

Die genannten Produkte sind ungebrannte, ebene Platten aus Lehmbaustoff mit ggf. Zusatzstoffen und Bewehrungen zum Beplanken und Bekleiden von Bauteilen im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich. Die Tonminerale des Baulehms bilden i. d. R. das alleinige Bindemittel im Stoffgemisch.

LP können oberflächennah oder im Kern mit Gittern, Geweben oder Matten bewehrt sein. Als Sonderprodukte deklarierte LP enthalten werkseitig eingearbeitete Temperierungssysteme. Sie sind auch als „Leerplatten“ mit eingepprägter Rillenstruktur zur nachträglichen Komplettierung mit dem Temperierungssystem beim Hersteller / auf der Baustelle verfügbar [7].

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

- streichen,
- pressen,
- stampfen.

Praktische Anwendung erfahren zwei Streichverfahren: formgestrichene und bandgestrichene LP (*Abs. 4.1*). Gestampfte LP sind nicht bekannt.

2.3 Einsatzzweck

LP werden für die Beplankung von Ständerkonstruktionen für Trennwände und Vorsatzschalen sowie zur Bekleidung von Wänden, Decken und Dachschrägen im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich eingesetzt. LP sind für eine Anwendung in Spritzwasserbereichen von Küchen und Bädern sowie in Räumen mit dauerhaft stark erhöhter Luftfeuchte (Schwimmbäder, gewerbliche Küchen) nicht geeignet.

Als Sonderprodukte deklarierte LP werden zur Temperierung von Innenräumen eingesetzt [7].

Entsprechend der Art der Anwendung unterscheidet man folgende Plattentypen, die gemäß *Tab. 2.2* zu deklarieren sind.

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, *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe*,

- DIN 18942-100, *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*,

- DIN 18948 *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*,
- Lehmbau Regeln des Dachverbandes Lehm e. V. (LR DVL) [2].

Weiterhin gelten die PKR Lehmplatten (LP) des DVL [6] und damit im Zusammenhang das Dokument „Teil 2“ mit den entsprechenden Begriffsbestimmungen und Abkürzungen [1] sowie das Technische Merkblatt TM 05 des DVL [8]. Darüber hinaus müssen die AVV [3], die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) [9] 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 von LP müssen ein Rechteck bilden. Ihre Ränder können stumpf oder mit Nuten / Federn ausgebildet werden, die Seitenflächen l x w mit Oberflächenprofilierung versehen oder mit Geweben oberflächennah bewehrt sein. Bewehrungen aus Matten können auch als Kernbewehrung werkseitig in die LP eingearbeitet werden. LP können auch längs gelocht sein.

LP mit werkseitig eingearbeiteten, im Betriebszustand wassergefüllten Rohrschlangen dienen zur Temperierung von Innenräumen und sind als Sonderprodukte zu deklarieren.

Tab. 2.3 Beispiel für Lieferformate der LP

Nr.	max. Format l x w [mm]	Dicke t [mm]	Maßhaltigkeitsklasse MHK (I – III)	Art der Bewehrung	Lochung	Sonderprodukt
LP 1	1250 x 625	22	II	Jute	Keine	nein
LP 2	1000 x 625	25	II	Glasfaser	Keine	nein

Die bautechnischen Eigenschaften der deklarierten Produkte im Lieferzustand sind entsprechend den Vorgaben der zutreffenden Produktnorm anzugeben (z. B. deklarierte Werte, Klassen oder Kategorien, genormte Bezeichnungen etc.).

2.7 Bautechnische Eigenschaften

2.7.1 Mechanische / bauphysikalische Eigenschaften

Tab. 2.4 zeigt die Bandbreiten der mechanischen und bauphysikalischen Eigenschaften nach technischen Datenblätter der untersuchten LP.

Tab. 2.4 Bandbreite mechanischer / bauphysikalischer Eigenschaften der untersuchten LP

Nr.	Ausgewählte Eigenschaft nach DIN 18948	Von	Bis	Dimension
1	Trockenrohddichte ρ_d / 9.3	680	1.800	kg/m ³
2	Festigkeitsklassen / 9.4			
2.1	• Oberflächenhärte / 9.4.1	15	12	mm
2.2	• Oberflächenzugfestigkeit / 9.4.2	0,1	0,1	N/mm ²
2.3	• Biegezugfestigkeit (quer) / 9.4.3	1,2	1,35	N/mm ²
3	Wärmeleitfähigkeit λ_R / 9.5.2	0,35	0,59	W/mK
4	Wärmespeicherkapazität c / 9.5.3	1,1	1,0	kJ/kgK
5	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ / 9.5.1	5/10	5/10	-
6	Feuchtetoleranz MHK, Tab. 1 / 9.2	II	III	
6.1	• Ebenheit (Krümmung, Schüsselung) / 9.2.4	3	3	mm
6.2	• Rechtwinkligkeit / 9.2.1	3	3	mm
6.3	• Längenänderung (Länge, Breite, Dicke) / 9.2.2 / 9.2.3	+/-2	+/-2	mm
7	WasserdampfadSORPTIONSKLASSE ¹ WS / A.2.2	13 / < WS I	60 / WS III	g/m ²

¹optional

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 bei einfacher Beplankung unterschiedlicher Konstruktionen liegen zwischen 40 und 64 dB

2.7.3 Luftdurchlässigkeit

Konstruktionen aus LP mit vollflächigen Lehmputzen bzw. LDB mit ≥ 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.

LP sind je nach Zusammensetzung der Rezepturen der Baustoffklasse A1 oder A2 nach DIN EN 13501-1 zugeordnet. Einzelne LP erreichen in spezifischen Bauteilkonstruktionen Feuerwiderstandsklassen EI45 bis EI90 nach DIN EN 1364-1.

3 AUSGANGSSTOFFE

3.1 Auswahl / Eignung

LP bestehen aus Baulehm mit unterschiedlichen mineralischen und pflanzlichen Zusätzen entsprechend der DIN 18948.

Zulässig nach DIN 18948 sind Pflanzenanteile z. B. aus Stroh, Hanf oder Miscanthus und unbehandelte Holzspäne mit Restfeuchte.

Die Ausgangsmischung kann bis zu 1 M.-% stabilisierende Zusatzmittel (z. B. Stärke) enthalten, wenn deren stabilisierende Eigenschaften durch Wasserzugabe reversibel sind.

Zusätzlich werden in die LP werkseitig Bewehrungsmatten und –gewebe und für Sonderformate spezielle Vorrichtungen zur Temperierung eingearbeitet. Diese Komponenten müssen im Falle einer Entsorgung (Kap. 9.3) nach AVV [3] / Deponierichtlinie EU zumindest als inerte Abfälle behandelt werden können.

Es gelten die Stoffverbote und -beschränkungen der DIN 18948 und natureplus VR 1006 [10].

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 Tonmineralen. Baulehm wird unterschieden nach Lehmaushub, Trockenlehm / Tonmehl und Recyclinglehm. Tensidfreier Presslehm kann ebenfalls als Baulehm weiterverwertet werden [1].

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

Lehmaushub 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 Lehmaushub und Sand werden Belange des Naturschutzes beachtet (nature-plus RL 5003 [11]). Je nach weiterer Verwendung wird unterschieden [1]:

Primärlehmaushub wird zielgerichtet für die Herstellung von Lehmbaustoffen abgebaut.

Sekundärlehmaushub fällt bei Erdarbeiten (z. B. Kiesgewinnung) oder Tiefbauarbeiten als Bodenaushub an und kann als Sekundärstoff im Lehmbau weiterverwendet werden. Er verliert dadurch seine Abfalleigenschaft.

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

Recyclinglehm ist aus Abbruchbauteilen rückgewonnener Lehmbaustoff [2]. Er liegt i. d. R. als Bestandteil von Baumischabfall (Bauschutt / Baustellenabfälle) vor und muss durch geeignete Trennverfahren von anderen Abfällen separiert werden. Er kann trocken zerkleinert oder durch Zugabe von Wasser replastifiziert werden. Je nach Verwertung wird unterschieden [1]:

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

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

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 sind von einer Weiterverwertung als Baulehm ausgeschlossen.

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

Mineralische Zusatzstoffe / künstlich: Ziegelmehl aus mörtelfreien Ziegeln, rezyklierte Gesteinskörnungen (aus Ziegel-, Kalksandstein- und Porenbeton-Mauerwerksabbruch), thermisch expandierte mineralische Produkte (Bläherlit, Blähton sowie Blähglas und Schaumglas (Umweltverträglichkeit ggf. durch allg. bauaufsichtliche Zulassung nachzuweisen), Blähschiefer und Naturbims (DIN EN 13055)) als leichte Zusatzstoffe. *Perlit* ist vulkanisches Glas, das durch einen thermischen Prozess bei ca. 1.000 °C stark zu einem Granulat (Expandierte Perlite EP) aufgebläht wird. Dabei entsteht ein nicht brennbarer Dämmstoff ($\lambda = 0,04 - 0,07 \text{ W/mK}$).

Organische Zusatzstoffe / natürlich: landwirtschaftliche Nebenprodukte (z. B. Stroh, Hanfschäben, Miscanthus) ohne relevante Rückstände aus Herbiziden, Tierhaare sowie zerkleinertes, chemisch unbehandeltes Holz / -späne (keine Holzwerkstoffe). Durch organische Zusatzstoffe können die bauphysikalischen Eigenschaften des Endprodukts beeinflusst werden. Faserartige Zusatzstoffe dienen der inneren Armierung der LP und wirken einer Rissbildung der LP bei Austrocknung / Erhärtung entgegen.

Natürliche organische Zusatzstoffe sind biologisch abbau- / kompostierbar und können problemlos in biogene Kreisläufe zurückgeführt werden. Sie werden dabei durch Bakterien und Pilze unter Energiefreisetzung wieder vollständig zu CO₂ und H₂O umgebaut.

Organische Zusatzmittel: chemisch behandelte Zellulosefasern (Methylzellulose(fasern) / Stärke): Stärke wird aus Getreidekorn oder Kartoffeln durch chemische Reaktion industriell extrahiert. Sie verleiht der Arbeitsmasse zur Herstellung von LP eine dickflüssige Konsistenz und verbessert dadurch den Formgebungsprozess. Nach DIN 18948 ist ein Stärkezusatz von ≤ 1 M.-% zulässig. Die stabilisierenden Zusatzmittel sind wasserlöslich.

Werkseitig eingearbeitete **Bewehrungen** (industriell hergestellte Matten, Gitter, Gewebe) aus Jute oder Glasfasergewebe dienen der mechanischen Stabilität der LP bei Transport, Lagerung und Verarbeitung.

Glasfasergewebe / -gitter sind abrollbare Glasfaser-Gittergewebe, Kett- / Schussfäden ca. 16/16 Fäden pro 10 cm, lichte Maschenweiten ca. 6 x 6 mm zur Oberflächen- bzw. zur Fugenarmierung von LP und an Materialübergängen. Glasfasergarn ist mit Polymerappretierung ausgestattet, alkalibeständig, unverrottbar und nach Nutzung als Abfall stofflich oder thermisch zu verwerten.

Jutegewebe sind Spezialgewebe aus biologisch abbaubarem Jute-Naturgarn, Kett- / Schussfäden ca. 20 / 20 Fäden je 10 cm, lichte Maschenweite ca. 5 x 5 mm zur Oberflächen- bzw. zur Fugenarmierung von LP und an Materialübergängen. Jutegarn ist mit Stärkeappretierung ausgestattet und biologisch abbaubar.

Werkseitig eingearbeitete Wärmeübertragungssysteme bestehen aus industriell hergestellten Kunststoff-Metall-Verbundrohren, Ø 16 x 2 mm (PE-RT/Aluminium/PE-RT), ca. 0,11 kg/m, sowie Zahnschienen aus Aluminium zur Fixierung der Rohre in der LP. Nach Ende der Nutzung als inerter Abfall zu deponieren.

Anorganische Pigmente: Erden oder Mineralien (DIN EN 12878) bzw. Pflanzenfarben zur Erzielung einer bestimmten Farbgebung der Bauteiloberfläche.

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 Baulehm-kategorien [1] sind Ausgangsstoffe für die Herstellung von Lehmbaumstoffen. Sekundärrecyclinglehm verlässt den Lehm-Stoffkreislauf und wird zum Ausgangsstoff in einem anderen Produktsystem oder als Abfall deponiert. Die Baulehm-kategorien werden im IM A1 hinsichtlich der Art ihrer Bereitstellung klassifiziert. Dabei sind vertragsrechtliche Aspekte bzgl. Bereitstellung / Verwertung / Entsorgung zu beachten, um die weitere Verwertung rechtssicher durchführen zu können [3].

3.4 Verfügbarkeit

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

Die Verwendung von lehmhaltigem Bodenaushub als *Sekundärlehmaushub* für die Herstellung von Lehmbaustoffen spart Deponieraum, ersetzt Primärrohstoffe und verlängert dadurch deren Verfügbarkeit [1].

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 [12][13].

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, Jutegewebe sowie Holzteile sind nachwachsende Rohstoffe.

Die Rohstoffe für die industrielle Herstellung von Stärke werden aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen.

Glasfasergewebe / -gitter: Rohstoffe für industrielle Herstellung ausreichend vorhanden.

Werkseitig eingearbeitete Wärmeübertragungssysteme: Rohstoffe für industrielle Herstellung ausreichend vorhanden.

4 PRODUKTHERSTELLUNG

4.1 Herstellungsprozess

Für die Herstellung von LP nach DIN 18948 sind die Formgebungsverfahren „Streichen“, „Stampfen“ und „Pressen“ definiert. Im Rahmen der für diese Muster-UPD durchgeführten Recherche konnten keine deutschen Hersteller ermittelt werden, die LP nach dem Verfahren „Stampfen“ oder „stranggepresst“ herstellen. Für das Verfahren „Pressen“ wurden dagegen die Variante „formgepresst“ bei zwei Herstellern nachgewiesen. Drei Hersteller fertigen LP nach dem „Streichverfahren“, zwei nach der Variante „bandgestrichen“ und einer nach der Variante „formgestrichen“.

Der Bildsamkeitsbereich der Arbeitsmassen für die Formgebung wird entspr. DIN EN ISO 17892-12 verfahrensabhängig mit den Konsistenzformen I_c „steif“ bis „weich / breiig“ angenommen.

4.1.1 Formgebungsverfahren „Streichen / bandgestrichen“

Das Prinzip dieses *Streichverfahrens* besteht in der Pressung und Trocknung einer zu einem Endlosstrang geformten weich-breiigen Vormischung aus Baulehm mit mineralischen Zusätzen und armierenden Pflanzenfasern / -teilen, teilweise mit Stärkezusätzen. Die weich-breiige Masse wird auf ein Trägermaterial (z. B. gespannte Jutebahn) oder ein Endlosband schichtweise aufgebracht („gestrichen“). Diese Unterbahn verbleibt als Armierungsgewebe auf der Unterseite der fertigen LP.

Eine von einem Jutfaser-Ballen abgerollte Oberbahn wird mit leichtem Andruck in die weich-breiige Masse eingefügt. Die „Sandwich-ähnlich“ aufgebaute Rohplatte wird auf die beabsichtigte Dicke (14 – 22 mm) unter leichtem Walzendruck verdichtet, im Endlosstrang durch einen beheizten Trockentunnel geführt und nach Längenvorgabe abgeschnitten. Temperatur, Feuchtegehalt und Durchlaufgeschwindigkeit des Stranges im Trockentunnel sind die relevanten Stell- bzw. Kontrollgrößen des Verfahrens.

Nach einer automatisierten Kalibrierung werden die LP auf Holzpaletten gestapelt und mit einer Schutzfolie transportfertig verpackt bzw. gesichert.

4.1.2 Formgebungsverfahren „Streichen / formgestrichen“

Die Herstellung von LP nach dem Formgebungsverfahren „streichen/formgestrichen“ (DIN 18948 „Streichen“) erfolgt in Formkästen (z. B. aus Stahl), die dem gewünschten Format der LP entsprechen. Die Formkästen werden auf einem Transportband so hintereinander aufgereiht, dass sie eine zusammenhängende Befüllung mit der breiigen Arbeitsmasse aus Baulehm, mineralischen Zusätzen und

Pflanzenteilen / -fasern ermöglichen. Aus einer trichterförmigen Füllstation werden die Formkästen mit der breiigen Arbeitsmasse flächig befüllt und ohne Verdichtung abgestrichen. Überschüssiges Material wird in die Füllstation zurückgeführt. Die Formkästen haben die Abmessungen der „fertigen“ LP. Vor und nach Befüllung mit der Lehmmasse können Gewebeamierungen oder Rohrleitungen zur Temperierung in die breiige Masse eingebettet werden.

Danach werden die feuchten Plattenformlinge einzeln in Stellagen luftdurchlässig gestapelt und in Trockenkammern getrocknet. Es gibt unterschiedliche Trocknungsverfahren mit Kraft-Wärme-Kopplung, Holzscheitfeuerung oder passiver Solarnutzung. Nach diesem Verfahrensprinzip entstehen auch Sonderformen, insbesondere LP mit integrierten Heiz- / Kühlrohren. Andere LP haben vorgefertigte Vertiefungen zur bauseitigen Montage von Heiz- / Kühlschlangen.

4.1.3 Formgebungsverfahren „Pressen / formgepresst“

Beim *Pressverfahren* wird die steife Arbeitsmasse mit einer Restfeuchte von max. 10 – 15 M.-% in Formrahmen gefüllt, einzeln hydraulisch zu LP gepresst und anschließend getrocknet.

Die angewandten Trocknungsverfahren sind unterschiedlich, ebenso die Trocknungszeiten und -temperaturen. Die Hersteller nutzen unterschiedliche Energieträger und technische Verfahren zur Bereitstellung der benötigten Trocknungswärme. Ein Beispiel ist die Nutzung der Überschusswärme aus dem Betrieb einer Kraft-Wärme-Kopplung, die zugleich den benötigten Strombedarf im Werk deckt. Andere nutzen Holzhackschnitzel zur Wärmeerzeugung.

Einige untersuchte LP enthalten zur Verbesserung der Bindekraft Polysaccharide als Zusatzmittel, z. B. Stärke bis zu 1 M.-%.

Die Rezepturen gepresster LP können armierende Holzspäne, Pflanzenfasern oder -teile enthalten. Einige gepresste LP nutzen trockene Gesteinskörnungen als Zusatz. Die gepressten LP sind entweder mit Glasgewebe- oder Jutematten bewehrt. Nach Fertigstellung werden die LP auf Holzpaletten gestapelt und mit Schrumpffolie transportfertig verpackt.

4.1.4 Produktionsschema für LP - Übersicht

Bild 4.1 fasst die Produktionsverfahren für LP zusammen. Abweichungen ergeben sich durch unterschiedliche Rezepturen der jeweiligen Hersteller (*Abs. 3.1*). So werden Stärke und Ziegelmehl nicht bei allen bekannten LP zugeführt. Dagegen sind natürliche Faseranteile fester Bestandteil der meisten Rezepturen für LP. Das Produktsystem umfasst die nachfolgenden Prozesse:

- Aufbereitete Ausgangsstoffe werden über Transportbänder dem Intensivmischer gravimetrisch dosiert zugeführt.
 - Baulehm wird mechanisch zerkleinert (z. B. Kollergang) und gesiebt
 - Zerkleinerte Pflanzenfasern aus Stroh, Hanf und Miscanthus oder Holzspäne werden aus einem Vorratsbehälter volumetrisch dosiert dem Intensivmischer zugeführt.
 - Kartoffel- oder Maisstärke wird in Säcken trocken angeliefert. Die Stärke wird in einem Behälter mit Wasser aufgelöst und über Schlauchpumpen dem Mischprozess gravimetrisch dosiert zugeführt.
 - Mineralische Zusätze entsprechend den Vorgaben der DIN 18948. Einige Hersteller nutzen aufgemahlene, ungebrannte Ziegeleiabfälle zur Abmagerung der Mischungen.
- Der Mischvorgang wird über die Drehgeschwindigkeit des Mixers und die Mischzeit geregelt.
- Aus einem Zwischenspeicher wird die Arbeitsmasse in entsprechender Konsistenz direkt auf das Band bzw. Transportgewebe oder über die Füllstation in Formkästen gefüllt und abgestrichen. Überschüssige Masse geht zurück in den Vorratsbehälter. Beim Pressverfahren erfolgt die Formgebung

über den regelbaren Anpressdruck auf die eingefüllte Arbeitsmasse. Die Arbeitsmasse hat einen geringeren Feuchtegehalt (I_c steif) als bei den Streichverfahren (I_c weich - breiig).

- Der feuchte Endlosstrang (bandgestrichen) wird kontinuierlich durch einen beheizten Trockentunnel gefahren. Die feuchten Rohlinge aus der Formgebung nach den Verfahren „formgestrichen“ und „formgepresst“ werden einzeln aufgestapelt und auf Stellagen in Trockenkammern geschoben. Die Trocknung kann durch Temperaturregelung, Trocknungsdauer und Wärmerückgewinnungssysteme optimiert werden.
- Die Kalibrierung der bandgestrichenen LP erfordert einen Zuschnitt nach Durchlauf des Endlosstranges durch den Trockentunnel. Manche LP erfordern noch eine Nachbehandlung zur Sicherstellung der Plattendicke (Maßhaltigkeit).
- Nach Aufstapeln der getrockneten LP auf Holzpaletten wird das Paket mit Folie umspannt, mit Pappstreifen an den Kanten geschützt und witterungsgeschützt gelagert.



Bild 4.1 Allgemeines Herstellungsschema für Lehmplatten

4.2 Gesundheitsschutz Herstellung

Staubemissionen von pflanzlichen oder mineralischen Zusatzstoffen während des Produktionsprozesses werden durch Filter begrenzt. Ausgefilterte Zusatzstoffe werden wiederverwendet. Die Grenzwerte der TA Luft [14] 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 Lufttrocknung der LP entsteht ausschließlich unschädlicher Wasserdampf.

Bei künstlicher Trocknung der LP (Trockenkammern) entstehende Emissionen liegen unter den Grenzwerten der TA Luft [14]. Maßnahmen des Umweltschutzes sind ausgerichtet auf möglichst geringen Energieverbrauch und schadstoffarme Abluft.

Staubemissionen während des Produktionsprozesses werden durch Zyklone, Filter oder Sprühwasser begrenzt. Ausgefilterte Stäube von pflanzlichen und trockenen mineralischen Zusatzstoffen werden dem Herstellungsprozess erneut zugeführt. Luftemissionen durch den Betrieb von Dieselfahrzeugen im Werk werden im Rahmen der Ökobilanz als Output des spezifischen Einsatzes von Diesel erfasst und bewertet.

5 PRODUKTVERARBEITUNG

5.1 Verarbeitungshinweise

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

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

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

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

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

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

LP des Typs A, die zur Beplankung von Decken und Dachschrägen eingesetzt werden, müssen über eine ausreichende Formstabilität verfügen. Dabei dürfen im vom Hersteller angegebenen Unterkonstruktionsraster im System keine relevanten *Verformungen unter Dauerlast* eintreten (bei Eigenlasten und zusätzlichen Flächenlasten von $0,10 \text{ kN/m}^2 \leq 1$ 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 sind die Herstellerangaben zur Wahl der Befestigungspunkte entsprechend des vorgegebenen Systemrasters der Unterkonstruktion einzuhalten. Vom Systemanbieter sind weiterhin geeignete Befestigungsmittel an die Unterkonstruktion sowie für Konsollasten zu benennen. Die Platten werden versetzt befestigt und auf den Ständern der Unterkonstruktion (entsprechend bei Decken und Dachschrägen) gestoßen.

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

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

5.2 Arbeitsschutz / Umweltschutz

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

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 [14]. Vorsorglich werden Atemschutzmasken verwendet.

Die Einzelgewichte der LP liegen im Rahmen der Empfehlungen der Bauberufsgenossenschaft von 25 kg. Die LP können deshalb von Hand nach den Regeln des Trockenbaus versetzt werden.

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.

PE-Folien werden sortenrein durch duale Entsorgungssysteme dem Recyclingprozess zugeführt (Folienhersteller, AVV Abfallschlüsselnr. 15 01 02 [3] Verpackungen aus Kunststoff).

Die Hersteller sind verantwortlich für den Nachweis des Entsorgungssystems und der Verwertung.

6 NUTZUNGSZUSTAND

6.1 Inhaltsstoffe

Bei der Produktion von LP werden die natürlichen Rohstoffe Baulehm und ggf. organische (pflanzliche Fasern und weitere Zusatzstoffe mit >1 M.-% nach Abs. 3 verwendet. Diese Inhaltsstoffe sowie die ggf. eingesetzten Bewehrungsgewebe sind im Nutzungszustand durch die Tonminerale des Baulehms als feste Stoffe im Bauteil gebunden. Dieser Verbund ist wasserlöslich.

6.2 Wirkungsbeziehungen Umwelt / Gesundheit

LP der beteiligten Hersteller enthalten keine schädlichen Stoffe wie z. B. flüchtige organische Komponenten (VOC, TVOC), Formaldehyd, Isocyanate usw. [10]. Entsprechende schädigende Emissionen sind deshalb auch nicht zu erwarten. LP sind im verarbeiteten Zustand geruchsneutral.

Die Mikroporenstruktur der Tonmineralien des Baulehms ermöglicht eine rasche, besonders hohe Adsorption / Desorption von überschüssigem Wasserdampf im Innenraum. Bauteile aus LP tragen deshalb zu einem ausgeglichenen Innenraumklima bei. LP der beteiligten Hersteller können den in *Tab. 2.4* ausgewiesenen Wasserdampfadsorptionsklassen WS II und 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 LP ist sehr gering und gesundheitlich unbedenklich. Die deklarierten LP weisen einen Aktivitätskonzentrationsindex $I < 1$ gemäß DIN 18948 auf.

6.3 Beständigkeit / Nutzungsdauer

Tonminerale sind nicht hydraulische Bindemittel, d. h. sie erhärten nur an der Luft und werden bei Wiederbefeuchtung erneut plastisch. Die Anwendung von LP ist deshalb auf den Bereich des deklarierten Plattentyps nach *Tab. 2.2* beschränkt. Bauteile mit Beplankungen / Bekleidungen aus LP sind über den gesamten Nutzungszeitraum vor stehendem und fließendem Wasser oder dauerhafter Durchfeuchtung zu schützen. LP sind darüber hinaus für eine Anwendung in Spritzwasserbereichen von Küchen und Bädern sowie in Räumen mit dauerhaft stark erhöhter Luftfeuchte (z. B. Schwimmbäder, gewerbliche Küchen) ungeeignet.

LP mit werkseitig eingearbeiteten Temperierungssystemen enthalten wassergefüllte Rohrschlangen. Um Beschädigungen der Rohrleitungen beim Anbringen von Befestigungsmitteln während der Nutzungsphase zu vermeiden, wird eine von Produktherstellern angebotene Temperaturfolie zur Identifizierung der Lage der Rohrleitungen in der Wand empfohlen.

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 eine der Feuchtetoleranzklassen FTK I-III 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. Eine der untersuchten LP ist der Baustoffklasse A1 zugeordnet, eine andere der Baustoffklasse B2.

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

Zur Brandbekämpfung eingesetztes Löschwasser kann Schäden an Bauteilen aus LP erzeugen. Abgeschwemmtes Material von LP im Löschwasser erzeugt keine Umweltrisiken.

7.2 Hochwasser

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

7.3 Havarie Wasserleitungen

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

8 HINWEISE ZUR NUTZUNGSPHASE

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

Die dynamische Luftfeuchtesorption von 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 *Abs. 6.2* 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 von LP liegt i. a. über dem Nutzungszeitraum der errichteten Gebäude. Bauteile, in denen LP verarbeitet wurden, können i. d. R. in einfacher, manueller Weise zurückgebaut werden. Nach Entfernung anhaftender mitverarbeiteter Baustoffe (z. B. Fugenbewehrungen) können LP 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 den LP als Ausgangsstoffe für andere Baustoffe (Sekundärrecyclinglehm).

Durch Demontage (Abschrauben) oder bei Gebäudeabbruch sortenrein und frei von Reststoffen (z. B. Altanstriche) gewonnene LP ohne synthetische / pflanzliche Bewehrungsgewebe 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 Sand oder Ergänzung von pflanzlichen Zusätzen erforderlich.

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

Der Ersatz von Primärlehmaushub durch Sekundärlehmaushub 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 Gebäudeabbruch gewonnene LP ohne synthetische / pflanzliche Bewehrungsgewebe mit natürlichen mineralischen Zusatzstoffen und einem homogen verteilten Gehalt an natürlichen organischen Zusatzstoffen ≤ 1 M.-% nach Aufbereitung zu rezyklierter Körnung wie Bodenaushub weiterverwertet werden, z. B. im Landschaftsbau, zur Rekultivierung, zur Trassierung von Verkehrswegen oder in der Land- und Forstwirtschaft. Dabei sind die Anforderungen der Bundes-Bodenschutzverordnung BBodSchV [5] und der Ersatzbaustoffverordnung EBV [4] zu beachten.

9.2 Verwertung von Abfällen und Verpackungen

Die Verwertung von Holz, Papier- und Kunststoffverpackungen wird bei individuellen UPD durch einen zertifizierten Entsorger gemäß Abfallwirtschaftsgesetz (KrW-/AbfG) [13] von den jeweiligen Herstellern nachgewiesen. Bei der Herstellung von LP entstehen keine Produktionsabfälle.

9.3 Entsorgung

Bei Gebäudeabbruch zurückgebaute, nicht sortenrein gewinnbare LP, die für eine Weiterverwertung ungeeignet sind, können auf Grund ihres chemisch neutralen und inerten Verhaltens auf Deponien der Deponiekategorie A eingelagert werden (AVV Abfallschlüssel 17 09 04 [3]). Sie stellen keine außergewöhnlichen 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.

10.2 VOC, TVOC

LP werden nach DIN EN 16516 und Prüfkammerbedingungen nach DIN EN ISO 16000-9 geprüft. Die Mustertabelle *Tab. 10.1* beschreibt verschiedene zu prüfende organische Verbindungen als Emissionen aus LP.

Tab. 10.1 Mustertabelle für VOC u. TVOC von LP

Prüfparameter	Konzentration nach 3 Tagen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Grenzwert
VOC (inkl. VVOC u. TVOC)		
TVOC (Summe flüchtige organische Verbindungen incl. SVOC)		
VOC	flüchtige organische Verbindungen	
VVOC	leicht flüchtige organische Verbindungen	
SVOC	schwerflüchtige organische Verbindungen	
TVOC	Summe flüchtiger organischer Verbindungen	

10.3 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 $I < 1$.

TEIL A ÖKOBILANZ

A.1 Systemdefinition und Modellierung des Lebenszyklus

A.1.1 Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit für die Herstellung von LP ist in DIN 18948, A.3 sowie in der entsprechenden PKR [6] geregelt und wird volumenbezogen mit einem Kubikmeter [1 m^3] festgelegt. *Tab. A.1* enthält Umrechnungsfaktoren zur deklarierten Einheit.

Tab. A.1 Umrechnung der deklarierten Einheit für alle LP (Tab. 2.1)

Deklarierte Einheit	1	m ³
Rohdichten (Bandbreite)	680 – 1.800	kg/m ³
Flächengewichte (Bandbreite)	13 – 34	kg/ m ²

A.1.2 Biogener Kohlenstoffgehalt

Nach DIN EN 15804 muss der im Produkt und Verpackung enthaltene biogene Kohlenstoffgehalt C gesondert ausgewiesen werden (Tab. A.2).

Tab. A.2 Enthaltener biogener Kohlenstoffgehalt in kg C pro m³ LP

Produkte nach Tab. 2.1	Bandbreite von/bis [kg C / m ³ LP]
Biogener Kohlenstoff im Produkt	26,2 bis 105,8
Biogener Kohlenstoff in der Verpackung	0

Aus dem biogenen Kohlenstoffgehalt, z. B. in Holzfasern oder Pflanzenteilen der LP, lässt sich der gebundene biogene CO₂-Gehalt errechnen. Nach DIN EN wird eine stöchiometrische Formel nach Molgewichten des CO₂ mit einem Verhältnis 44/12 angewendet (2x16 O zu 1x12 C).

A.1.3 Systemgrenzen

Die gewählten Systemgrenzen entsprechen der UPD –Art: von der Wiege bis zum Werkstor (IM A1 – A3) mit den Modulen C1 – C4 und D [1]. Innerhalb dieses Systemrahmens wird das Produktsystem „Lehmplatte (LP)“ bilanziert. Wiederverwendbare und –verwertbare LP verbleiben im bilanzierten Produktsystem LP (DIN EN 15804, Abs. 6.4.3.3). Die Aufbereitung wiederverwertbarer LP erfolgt im Nass- oder Trockenverfahren (IM C3). Wiederverwendbare und –verwertbare LP werden nicht deponiert, in der Ökobilanz wird IM C4 mit Null bewertet.

IM C1 kann den Wert Null annehmen, wenn keine quantifizierbaren Energie- und Stoffströme mit entsprechenden Umweltwirkungen entstehen, z. B. bei manueller Demontage.

Die Transporte von LP nach einem Gebäudeabbruch oder einer Demontage in IM C2 liegen außerhalb der Systemgrenze und gehen in die Umweltbilanz des jeweiligen Gebäudes ein. IM C2 kann mit Null bilanziert werden.

A.1.4 Abschneidekriterium

Entsprechend DIN 18948, A.3 werden alle Stoffflüsse berücksichtigt, die in das Produktionssystem fließen (Inputs) und > 1 % der Gesamtmasse der Stoffflüsse oder > 1 % des Primärenergieverbrauchs betragen. Das betrifft z. B. die Holzpaletten, Pappzwischenlagen und Verpackungsfolien.

Abweichend davon werden alle Stoffflüsse erfasst, deren Umweltauswirkungen >1 % der gesamten Auswirkungen einer in der Bilanz berücksichtigten Wirkungskategorie darstellen. Das trifft z. B. auf organische, natürliche Zusätze und Jutegewebe zu.

A.1.5 Betrachtungszeitraum

Die verwendeten Daten beziehen sich auf ein ganzes Geschäftsjahr. Die eingesetzten Mengen an Rohstoffen, Energien, Hilfs- und Betriebsstoffen werden als Jahresmittelwerte für das jeweilige Werk berücksichtigt.

A.1.6 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 [15] wird eine RSL für LP von 50 Jahren zugrunde gelegt.

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

A.1.7 Allokation

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

Sekundärlehmaushub 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, Abs. 4.3.2 zugrunde gelegten physikalischen Allokation der Kiesgewinnung als Hauptprodukt zugewiesen.

Wird Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genutzt, entstehen Wärme und Strom gleichzeitig am selben Produktionsstandort. Zur Trocknung der LP sind die BHKW wärmegeführt. Der Stromüberschuss nach Eigenverbrauch für die Herstellung von LP wird in anderen Prozessen am Produktionsstandort eingespeist. Die Sachbilanz weist die überschüssige Strommenge als exportierte elektrische Energie in MJ/m³ LP aus (EEE, Tab. B.4). Die Allokation von Wärme und Strom aus gekoppelten Prozessen wird nach verschiedenen Methoden berechnet [16] und das worst case Szenario zugrunde gelegt.

In den Werken eingesetzte Energien, Hilfs- und Betriebsstoffe, die nicht eindeutig einem der im Werk hergestellten Produkte zuordenbar sind, werden nach Gewichtsanteil dem bilanzierten Produkt (*massebezogene Allokation*) zugerechnet.

A.2 Sachbilanz LCI

Die Sachbilanz nach DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044 bzw. DIN EN 15804 dient der Quantifizierung der In- und Outputströme des Produktsystems LP auf Basis der Datenerhebung und des Berechnungsverfahrens des Programmbetreibers. Die Durchschnittswerte in Tab. A1 beziehen sich auf das jeweilige Herstellverfahren – pressen, gestrichen/formgestrichen und gestrichen/bandgestrichen (Abs. 4.1). Die untersuchten Trocknungsverfahren unterscheiden sich nach Anteil regenerativer Energieträger und technischer Verfahren, z. B. Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmerückgewinnungssysteme, Netzbandtrockner mit fossilen und regenerativen Energieträgern sowie passive Solartrocknung.

Der Input quantifiziert mineralische, pflanzliche und sonstige Ausgangsstoffe nach DIN 18948 (IM A1), Energieträger, Wärmebedarf, Strom- und Wassereinsatz (IM A3). Hinzu kommen Transporte in das Werk (IM A2).

Der Output ist 1 m³ des Produktes, Abfälle aus dem System und den Vorketten. Zu den Outputfaktoren zählen auch exportierte elektrische Energie EEE aus der Wärme-Kraft-Kopplung oder werkseigener Photovoltaikanlagen. Die Datengrundlagen für die Sachbilanz sind dem Prüfgremium für eine gesonderte Verifizierung [6] zur Verfügung zu stellen und bleiben beim DVL hinterlegt.

Tab. A.1 ist die Vorlage zur Abbildung der Inputfaktoren für die deklarierten LP.

Tab. A.1 Muster für Inputfaktoren der deklarierten LP

Deklarierte Einheit m ³		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	MJ H _u	kg	MJ H _u	MJ H _u	m ³
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1										
	Transporte ins Werk	A2										
	Herstellung	A3										
	Summe (cradle to gate)	A1-A3										

*hier werden Berechnungsdaten aus individuellen Herstellerangaben eingesetzt

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 Primärenergieressourcen ausgenommen nicht erneuerbare Energieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden

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

PENRT = Gesamtnutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen (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

Inputfaktoren in IM A1 sind die Einträge durch mineralischen und pflanzlichen Ausgangsstoffe der LP in die Sachbilanz, einschließlich der Sekundärstoffe (*SM in Tab. A.1*). Darin enthalten sind der Sekundärlehmaushub und RC-Gesteinskörnungen. Der Baulehm stammt je nach Hersteller bis zu 100% als Sekundärlehmaushub aus der Kiesgewinnung oder anderen Erdaushüben. Die für die Bereitstellung der Ausgangsstoffe (A1) außerhalb des Systems entstandenen Inputfaktoren und die Transporte der Ausgangsstoffe (A2) in Werk ergeben die spezifischen Werte der Inputfaktoren.

Die Trocknungsenergie und der Strombedarf zur Herstellung (A3) bestimmen den Haupt-Energieeintrag in das Produkt. Die Verfahren unterscheiden sich nach Anteil der erneuerbaren Energieträger im Energiemix. Der Anteil erneuerbarer Energien beträgt bei Verfahren mit Holzfeuerung bei über 50 %, während anderen Verfahren bis zu 90 % der Primärenergie für die Trocknung aus nicht-regenerativen Energieträgern beziehen. Eine Ausnahme ist die experimentelle Solartrocknung, die sich zu 100 % aus regenerativer Energie speist.

Der Gesamtenergieeinsatz hängt vom jeweiligen Trocknungsverfahren und von der notwendigen Konsistenz zur Formgebung der Lehmmischungen ab. Die formgebundenen Streichverfahren benötigen eine weich-breiige Konsistenz mit deutlich mehr Anmachwasser (Frischwasser in *Tab. A1*) als trocknere Pressverfahren. Dementsprechend beträgt der Energieinput für Pressverfahren mit geringerem Wasseranteil in der Mischung bis zu 3.000 MJ/m³ LP gegenüber knapp 5.000 MJ/m³ LP für stärker wasserhaltige Mischungen der form- bzw. bandgestrichenen LP.

Tab. A.2 ist die Vorlage zur Darstellung der Outputfaktoren für LP.

Tab. A.2 Muster für Outputfaktoren der deklarierten LP

Funktionale Einheit m ³		Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET
		IM/Einheit	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1								
	Transport ins Werk	A2								
	Herstellung	A3								
	Summe (cradle to gate)	A1-A3								

**hier werden Berechnungsdaten aus individuellen Herstellerangaben eingesetzt*

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 elektrische Energie

EET = Exportierte thermische Energie

Die Abfälle HWD, NHWD und RWD in IM A1 – A3 stammen hauptsächlich aus den Vorketten der Ausgangsstoffe (z. B. Glasfaserarmierungen), dem Strommix und der Bereitstellung von fossilen Energieträgern. Die Produktion der LP läuft bei allen Verfahrensarten abfall- und abwasserfrei. Bei manueller Demontage in IM C1 verbleiben als Output 95 M.-% der Rohdichte pro m³ LP im System (CRU in Tab. A.2) und 5 M.-% als Recyclingmaterial (MFR in Tab. A.2). Aus der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) verbleiben Stromüberschüsse nach Abzug des Eigenverbrauchs, die als Outputfaktor EEE (exportierte elektrische Energie) in die Sachbilanz eingehen. Gleiches gilt für Stromüberschüsse aus eigenen Erzeugungsanlagen, z. B. Photovoltaik. Bei formgestrichenen Verfahren mit KWK sind Stromüberschüsse in Höhe von 265 MJ/m³ LP bis 920 MJ/m³ LP bekannt. Diese Stromexporte relativieren die im Vergleich zu Pressverfahren (bis zu 3.000 MJ/m³ LP) mit bis zu rund 5.000 MJ/m³ LP höheren Primärenergieeinträge dieser Verfahrenstechnik.

TEIL B LEBENSZYKLUSANALYSE LCA

Die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN ISO14044 zur Erstellung einer Typ III UPD nach DIN EN 15804 beruht auf einer Sachbilanz (LCI) und einer Lebenszyklusanalyse (LCA), bei der für jede deklarierte Zyklusstufe die potenziellen Umweltwirkungen der Ressourceneinsätze und Outputfaktoren bewertet werden.

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.

B.2 Zielgruppen der Analyse

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

B.3 Annahmen und Abschätzungen

Die Annahmen und Abschätzungen betreffen Lehmaushub als Primär- bzw. Sekundärrohstoff, Verpackungen, Pflanzenanteile, die Abfallaufbereitung (IM C1 u. C3) sowie das Rückgewinnungspotenzial (IM D).

Lehmaushub (Abs. 3.2): Die Angaben der Hersteller zur Bereitstellung des Ausgangsstoffes Lehmaushub (Erdaushub) werden getrennt nach Primär- und Sekundärlehmaushub erfasst:

Bei *Primärlehmaushub* wird der gesamte Abbauprozess mit Rekultivierungsmaßnahmen bewertet. Der Ressourceneinsatz und die Umweltwirkungen der Prozesse des Grubenbetriebes entfallen auf die Lehmbaumprodukte.

Sekundärlehmaushub 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.

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

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.

PE-Folien schützen die pallettierten LP. Die Folie umschließt eine Palette mit 40 LP ($t = 20 \text{ mm}$). Der Masseanteil der Folie und deren anteilige Primärenergiegehalte liegen unterhalb des Abschneidekriteriums und werden nicht berücksichtigt.

Pflanzenteile: Für *Hanf*-, *Miscanthus*- und *Strohfasern* fand die UPD Baustroh [17] Anwendung. Die darin enthaltenen energetischen Rückgewinnungspotenziale blieben unberücksichtigt, nicht jedoch das gebundene CO_2 in Höhe von $1,27 \text{ kg/kg}$ Stroh. Für Pflanzenteile (z. B. Hanfschäben, Schilfrohr) können auch andere, spezifische Ökobilanzen hinzugezogen werden.

Gebundenes CO_2 : Die Berechnung des gebundenen CO_2 in Pflanzenteilen und Holz erfolgt über die in Pflanzen bzw. Holz enthaltenen Kohlenstoffmengen als Verhältnis stöchiometrischen Molmassen von CO_2 zu Kohlenstoff C:

$$\text{O}_2 = 2 \times 16 \text{ g/mol}$$

$$\text{C} = 1 \times 12 \text{ g/mol}$$

$$\text{CO}_2 / \text{C} = 44/12$$

Holzfasern: Der C-Gehalt im Holz wird für alle Holzarten mit 50 % der absolut trockenen Holzmasse angenommen. Somit entspricht 1 kg absolut trockene Holzmasse etwa $1,832 \text{ kg CO}_2$ [18]. Die verwendeten Holzfasern sind nicht absolut trocken, sie entstehen bei der Verarbeitung von unterschiedlichen Hölzern mit nicht definierten Restfeuchten. Die angelieferten Holzfasern werden im Werk nicht weiter getrocknet, zumal sie zusammen mit Baulehm und Wasser vermischt werden. Angenommen wird ein Sicherheitsabschlag auf die CO_2 -Speicherung einer absolut trockenen Holzmasse von z. B. -30 % durch die in den Holzfasern enthaltene Restfeuchte von bis zu $w = 30 \%$ (fasergesättigt).

Während des Baumwachstums wird der Atmosphäre durch die Photosynthese CO_2 entzogen und in Form von C in das Holz einlagert. Am Ende des Lebenszyklus eines Holzproduktes wird dieser C nur bei energetischer Verwertung wieder in die Atmosphäre entlassen. LP werden am Lebensende nicht energetisch, sondern als Produkt wiederverwendet oder stofflich für neue Lehmprodukte wiederverwertet.

Demontage (IM C1): LP finden ausschließlich Anwendung im Trockenbau als Decken- und Wandbekleidung. Die LP werden entsprechend der Herstellerangaben auf einem Ständerwerk verschraubt oder

verklammert (*Abs. 5.1*). Die LP lassen sich weitgehend zerstörungsfrei und einfach manuell demontieren, etwa bei Umbauten in Gebäuden. Ein Gebäudeabbruch ist nicht erforderlich. Einige Hersteller bieten die Rücknahme demontierter LP an. Auf eine Quantifizierung des Demontageaufwandes wurde verzichtet, da es sich überwiegend um manuelle Arbeit ohne bilanzierbare Energie- und Stoffströme handelt.

Abfallaufbereitung (IM 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) [19][20][21]. 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 Lehm- baustoffe labortechnisch analysiert.

Rückgewinnungspotenzial (IM D): Eine direkte Wiederverwendung demontierter LP ersetzt den gesamten Produktionsdurchlauf und verschafft rückgebauten LP einen weiteren Lebenszyklus (IM D1).

Die Realisierung der Szenarien zu den Rückgewinnungspotenzialen (*IM D2 – D3*) für LP ist abhängig von der Entwicklung betriebswirtschaftlich sinnvoller, praxistauglicher Rückbautechniken und Aufbereitungsverfahren für sortenrein zurückgewonnene LP. 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, Sand) zur Wiederverwertung für andere trocken hergestellte Lehm- baustoffe (*IM D3*).

B.4 Datenerhebung und Datenqualität

Die verwendeten Daten beziehen sich auf Durchschnittswerte eines Geschäftsjahres im untersuchten Werk. Die Ökobilanzen werden für den Bezugsraum Deutschland erstellt. Die Datenerfassung für die untersuchten Produkte und Verfahren erfolgte durch Befragung mittels eines strukturierten Erfassungsbogens. Alle Daten und Berechnungen werden beim Programmbetreiber DVL hinterlegt. Die Modellierung der Umweltwirkungen stützt sich auf die in *Tab. B.1* aufgeführten Hintergrunddatensätze auf der Grundlage der in der ÖKOBAUDAT [22] veröffentlichten GaBi Datenbankeinträge, entsprechenden Veröffentlichungen, relevanten UPD nach DIN EN 15804 und Studienergebnisse.

Tab. B.1 Empfehlungen für Datengrundlagen¹

Nr.	Daten	Hintergrunddatensätze
1	Primärlehmaushub	UBA ProBas Abbau Ton, 2000 [23]; Zum Vergleich Sandgewinnung: ÖKOBAUDAT 01.2.01, 10/2024 [22]
2	Sekundärlehmaushub	Bodenabfall aus der Kiesgewinnung (ohne Aufbereitung außerhalb der Systemgrenze)
3	Trockenlehm	UPD LPM DVL [24]; Nachhaltigkeitsbericht des Herstellers 2024 [27]
4	Stroh, Hanf, Miscanthus	FASBA EPD Baustroh [17]; Hanffaser Uckermark [26]
5	Holzfasern	Diedrich/Rüter [18]; Forschungszentrum Karlsruhe/ BFH [25]
6	Elt. Energie regenerativ (z. B. Wasserkraft)	ÖKOBAUDAT, 10/2024 [22];
7	Elt. Energie DE Strommix	ÖKOBAUDAT [22] 09.02.05, 10/2024; zum Vergleich: UBA 04/2025 [23]
8	Erdgas	ÖKOBAUDAT [22] 09.02.01, 10/2024
9	Transport zum Werk (35-40 t, EURO 5, 27 t Nutzlast, 85 % Auslastung)	ÖKOBAUDAT [22] 09.03.01, 10/2024
10	Transport im Werk (Diesel)	ÖKOBAUDAT [22] 09.02.03, 10/2024
11	Abfallaufbereitung	FH Potsdam [20]; Schroeder/Lemke [21]
12	Rückgewinnungspotenzial	FH Potsdam [20]; Schroeder/Lemke [21]; MUPD LPM DVL [24]

¹ Bei Vorliegen mehrerer Datenquellen wurde die worst-case Variante übernommen. Zusätzlich zu Datenbanken und originären Daten wurden Normen und Fachliteratur herangezogen

B.5 Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse LCA

Für das Produkt „Gebäude“ sind alle IM A – D zu berücksichtigen. In der Produktebene „Baustoff“ entstehen in der Errichtungs- und Nutzungsphase mit LP i. d. R. keine Ressourcenverbräuche mit entsprechenden Umweltauswirkungen. Nach DIN EN 15804 ist die Deklaration der *IM A1 – A3, C* und *D* für alle zu untersuchenden Bauprodukte verpflichtend. Diese Auswahl entspricht der UPD-Art „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“. Verbleiben wiederverwendbare LP nach Ende der Nutzungsphase innerhalb des Produktsystems „Lehmplatten“, entfallen die Module C3 und C4.

Die Bilanzdaten zu den Input-, Output- und Umweltwirkungsfaktoren befinden sich zusammengefasst im Tabellenanhang Abs. D. Als Tabellenformat für die Darstellung der Ergebnisse wird die *Informationstransfermatrix ITM* nach DIN EN 15942 genutzt. Die Rückgewinnungspotenziale IM D1 – D3 werden im Teil C in Form von Balkendiagrammen dargestellt und interpretiert.

Aus der Sachbilanz und den Hintergrunddaten ergeben sich die Indikatoren der Umweltwirkung von der Bereitstellung der Ausgangsstoffe bis zum Werkstor (IM A1 bis A3). Die Umweltwirkungen werden in Tab. B.3 dargestellt und nachfolgend in Teil C interpretiert.

TEIL C INTERPRETATION DER ÖKOBILANZ

Im *Teil C* werden ausgewählte Ergebnisse der Ökobilanz für die zentralen Parameter PEI, GWP sowie für die *IM C1, C3* und *D1 – D3* dargestellt und interpretiert.

C.1 Primärenergieeinsatz PEI

Die Durchschnittswerte für den Primärenergieeinsatz basieren auf bekannten Verbrauchsangaben von Herstellern mit unterschiedlichen Herstellungs- und Trocknungsverfahren. Die Hersteller *pressen* die steife Arbeitsmasse hydraulisch in Formkästen, tragen die weiche Arbeitsmasse auf ein Transportband auf (*bandgestrichen*) oder befüllen Formkästen mit der weich-breiigen Arbeitsmasse (*formgestrichen*). Die anschließende Trocknung nutzt die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) von mit Erdgas betriebenen BHKW, oder sie wird aus der Abwärme eines mit Holzscheiten betriebenen Ofens bereitgestellt. Die Trocknung kann auch mit passiver Solarnutzung erfolgen.

Der jeweilige Trocknungsprozess und der Wassergehalt der Arbeitsmassen (Konsistenzform) stellen die entscheidenden Einflussgrößen für den Primärenergieverbrauch dar. Nach dem KWK-Prinzip entsteht dabei elektrische Energie, die bei den untersuchten wärmegesteuerten BHKW zu einem Stromüberschuss führen. Die Verteilung der Wärme- / Stromenergie wurde anhand der Leistungsdaten einer in Betrieb befindlichen Gasturbine überprüft und berechnet. Der Wirkungsgrad bezogen auf die Verstromung wird nach Herstellerdaten mit einem Drittel des Energieeinsatzes angegeben.

Zur Allokation der gekoppelten Energieströme wird ein Exergieansatz gewählt [16]. Ausgehend vom durchschnittlichen Wärmebedarf für die Trocknung und dem dafür notwendigen bekannten Gasverbrauch (ca. 11 kWh/m³ Erdgas) errechnet sich der daran gekoppelte Netto-Stromüberschuss nach Abzug des Eigenverbrauchs. Der unterstellte elektrische Wirkungsgrad beträgt 33 % bei einem Umwandlungsverlust von ca. 13 %.

Die Übersicht *Tab. C.1* zeigt die bekannten Verfahrensarten, die auch in Kombination (Holz/Erdgas) vorkommen können.

Tab. C.1 Übersicht der Herstell- und Trocknungsverfahren für LP

Verfahren/Trocknung	KWK-Trocknung (Gas)	Holzhack- schnittzel	Solartrocknung	Kombinationen
Formgestrichen	X		X	
Bandgestrichen	X	X		X
Gepresst	X	X		

Aufgrund dieser heterogenen Verfahrenstechniken ergibt sich eine große Bandbreite des Primärenergieeinsatzes zwischen 2.786 MJ/m³ LP und 4.969 MJ/m³ LP. Der Anteil regenerativer Primärenergie-träger an dem Gesamtenergieinput variiert zwischen ca. 10 % und 54 %. Bei passiver Solartrocknung in Kombination mit Ökostrom erreicht der Anteil regenerativer Primärenergie 100 %.

Die Bereitstellung des Baulehms, die Vorketten zur Gewinnung von RC-Gesteinskörnung, Pflanzenfasern, Holzfasern, Stärke und Armierungsgewebe, einschließlich Transporte ins Werk tragen mit 23 – 53 % zum Energieinput bei. Dabei fiel auf, dass ein zur Bewehrung verwendetes Glasgewebe (ca. 160 g/m²) allein schon 18 % des genannten Primärenergieeinsatzes für Ausgangsstoffe dieses einzelnen Herstellers ausmachte.

Dem Primärenergieinput für KWK steht die exportierte elektrische Energie (EEE) in Höhe von durchschnittlich 2.060 MJ/m³ LP gegenüber. Der Eigenverbrauch ist dabei bereits heraus gerechnet, die EEE ist der Netto-Stromüberschuss.

C.2 Treibhausgaspotenzial GWP

Die für LP technisch notwendigen Pflanzenteile oder Holzfasern binden Kohlenstoff durch Umwandlung von CO₂ aus der Luft in gespeichertem C und freigesetztem O₂. Dieser fotokatalytische Effekt geht als inhärente CO₂-Senke der Rezepturen in die Berechnung des Moduls A1 ein. Je nach Aufbau und Rezeptur der LP gibt es signifikante Unterschiede. Bei geringen Beimischungen pflanzlicher Fasern gibt es LP mit einem negativen biogenen CO₂_{equiv.} zwischen -20kg und -30kg CO₂_{equiv.}/m³ LP. Bei anderen Rezepturen mit höheren Pflanzen- oder Holzanteilen erreicht das negative biogene CO₂_{equiv.} Werte von -133 kg bis -348 kg CO₂_{equiv.}/m³ LP.

In Abhängigkeit vom Herstellverfahren, der Trocknungstechnik und der negativen biogenen CO₂-Anteile ergeben sich in Summe Treibhausgaspotenziale (GWP) vom Ausgangsstoff bis zum Werkstor (*IM A1 – A3*) zwischen -50 kg und +193 kg CO₂_{equiv.}/m³ LP (Tab. C.2). Diese große Bandbreite der CO₂_{equiv.} pro m³ LP deutet auf eine sehr heterogene Produktpalette herstellerspezifischer LP hin, die sich nicht sinnvoll als Durchschnittswerte für LP allgemein abbilden lassen. Die passive Solartrocknung formgestrichener LP befindet sich noch in der Experimentalphase [11]. Vorläufige Berechnungen ergeben ein negatives GWP von -267 kg CO₂_{equiv.}/m³ LP aufgrund der Anteile an Miscanthusfasern in der Mischung.

Tab. C.2 Übersicht der Treibhausgaspotenziale (GWP) nach Herstell- und Trocknungsverfahren der LP

Verfahren/Trocknung	KWK-Trocknung (Gas)	Holzhack- schnittzel	Solartrocknung	Kombinationen
GWP	kg CO ₂ _{equiv.} /m ³ LP			
Formgestrichen	193		-267	
Bandgestrichen	X	X		-50
Gepresst	51	15		

Die weiteren Interpretationen klammern die experimentelle Solartrocknung aus und konzentrieren sich auf bekannte industrielle Standardverfahren.

Mit 31 – 268 kg CO_{2equiv.} / m³ LP entstehen bis zu 91 % der Treibhausgaspotenziale (GWP) bei Herstellung und Trocknung der LP (ohne Solartrocknung). Den dabei einberechneten Strombedarf decken die Hersteller aus exportierter elektrischer Energie der KWK des BHKW oder Bezug von Ökostrom. Enthalten sind auch die Dieserverbräuche im Werk, z. B. für Gabelstapler oder andere Nutzfahrzeuge.

Transporte zum Werk tragen mit bis zu 3,6 kg CO_{2equiv.} pro m³ LP zu den Treibhausgaspotenzialen bei. Die meisten Hersteller haben Zulieferer in einem Umkreis zwischen 10 und 40 km.

Im Mix der Ausgangsstoffe trägt Baulehm mit 3 – 13 kg CO_{2equiv.}/m³ LP zum GWP bei. Pflanzliche Komponenten wie Stroh, Hanf, Miscanthus oder Holzspäne sind in einem Bereich von 4 – 12 M.-% pro m³ LP enthalten.

Zur Bewertung des gebundenen CO₂ in Pflanzenteilen wurde die Umweltbilanz von Baustroh herangezogen [17]. Darin wird die Speichermasse mit 1,27 kg CO₂/kg Stroh ausgewiesen. Am Ende des Lebenszyklus werden LP stofflich verwertet. Deshalb verbleibt das gebundene CO₂ auch danach im Stoffkreislauf.

Die untersuchten LP sind 20 – 25 mm dick und wiegen 15 – 34 kg/m². Andere Trockenbauplatten, z. B. aus Gips, sind 12,5 mm dick und haben ein Gewicht von 10 kg/m². Zur besseren Vergleichbarkeit empfiehlt sich eine massebezogene Umrechnung des GWP von LP auf CO₂/kg. Beispiel: bei einer Rohdichte der LP von im Mittel 1.450 kg/m³ und einem GWP von 51 kg CO_{2equiv.}/m³ LP ergibt sich ein massenbezogenes GWP total von 0,035 kg CO_{2equiv.} / kg LP.

C.3 Rückgewinnungsszenarien D

Nachfolgend werden drei Rückgewinnungsszenarien *D1* – *D3* für LP betrachtet [20][21]:

D1: zerstörungsfreie Demontage von LP vor Gebäudeabbruch zur Wiederverwendung,

D2: Replastifizierung von LP-Bruch („Einsumpfen“) zur Wiederverwertung als LP,

D3: Schreddern von LP-Bruch zu Lehm-Rezyklat als Ersatz für Trockenlehm bei anderen Lehmprodukten (z. B. LPM) (*Tab. C.3.1*).

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 wurden mit Gewebeflächen aufgebracht. Der alte LPM kann mit dem Gewebe manuell abgelöst werden [20][21][24]. Diese Anwendungspraxis vorausgesetzt, wird das Rückgewinnungspotenzial der Wiederverwendung in *IM D1* mit einem angenommenen Demonteverlust von 10 M.-% berechnet.

C.3.1 Szenario D1 (Demontage / Wiederverwendung)

Tab. C.3.1 veranschaulicht die Rückgewinnungspotenziale im *IM D1* unter der Annahme, dass bei einer Demontage von LP ein Verlust von 10 M.-% entsteht, der durch nachträgliche Reparatur ersetzt werden muss. Bei der Berechnung der Rückgewinnungspotenziale in *D1* werden die negativen CO₂-Werte nicht nochmals eingerechnet, sondern nur die Einsparung bei anderen Ausgangsstoffen einbezogen. Unter dieser Voraussetzung kann die Wiederverwendung einen großen Teil des sonst erforderlichen Energieinputs (regenerativ und nicht-regenerativ) zwischen 2.449 MJ/m³ LP (Pressverfahren) und 4.413 MJ/m³ LP (Bandstrichverfahren) einsparen. Ohne den energetisch aufwändigen Trocknungsprozess und neue Ausgangsstoffe vermeidet die Wiederverwendung zwischen 97 kg CO_{2equiv.} / m³ LP (Pressverfahren) und 265 kg CO_{2equiv.} / m³ LP (Bandstrichverfahren) der Treibhausgasemissionen.

Die Berechnungsgrundlage ergibt sich aus den Umweltbilanzdaten der jeweils spezifischen LP abzüglich einer Annahme zum Demontageverlust (hier 10 M.-%).

C.3.2 Szenario D2 (Nassverfahren)

Die Rückgewinnungspotenziale des Nassverfahrens zur Wiederverwertung für neue LP in IM D2 ergeben sich aus der Substitution der originären Ausgangsstoffe durch rückgewonnene Ausgangsstoffe. Insbesondere die Verfahren „formgestrichen“ und „bandgestrichen“ setzen eine steife bis weich-breiige, formbare Masse mit entsprechenden Arbeitsfeuchten voraus. Deshalb bietet sich hier das Nassverfahren zur Replastifizierung der trockenen LP an. Die dadurch eingesparten Prozessschritte zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe (ohne Transporte) reduzieren den Primärenergieeinsatz zwischen 794 MJ / m³ LP (formgestrichen) und 2.667 MJ / m³ LP (bandgestrichen) und vermeiden Treibhausgas-emissionen in Höhe von 26 - 57 kg CO_{2equiv.} / m³ LP.

C.3.3 Szenario D3 (trocken / maschinelle Zerkleinerung)

Trockene-Aufbereitungstechniken sind maschinelle Zerkleinerungsprozesse mit stationär oder mobil einsetzbaren Maschinen, deren Leistungsdaten für eine Bilanzierung in IM C3 genutzt werden können. Diese Aufbereitungstechnik eröffnet zusätzliche Rückgewinnungspotenziale zur Wiederverwertung für andere Lehmbaumstoffe im System Lehm oder Weiterverwertung außerhalb des Systems Lehm [20][21]. Zur Bewertung des Nettoeffektes dieses Rückgewinnungsverfahrens werden der Primärenergieeinsatz sowie die Umweltwirkung der Aufbereitungstechnik ermittelt, um diese dem Einsparpotenzial bei einer Wiederverwertung für andere Lehmbaumstoffe gegenüberzustellen.

Ausgewählt wurde eine für das Baustoffrecycling typische Prallmühle mit 0,23 l/t Dieserverbrauch 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 pro t Materialdurchsatz.

Die betrachtete Schredderanlage verbraucht rund 0,01 MJ PE / kg LP zur Wiederverwertung der LP-Ausgangsstoffe. Bei einer hier angenommenen durchschnittlichen LP mit 1.140 kg/m³ ergibt das rechnerische 11,4 MJ PE / m³ LP. Die Treibhausgasemissionen bei einem Betrieb mit dem angegebenen Dieserverbrauch betragen 9,52E-05 kg CO_{2equiv.}/kg LP. Bei angenommenen durchschnittlichen Rohdichten von 1.140 kg/m³ ergibt sich ein GWP von rund 0,11 kg CO_{2equiv.}/m³ LP. Zum einen beträgt der Primärenergieeinsatz PE bei einem Diesetriebetrieb der unterstellten Aufbereitungstechnik 1,14E+01 MJ/m³ LP. Dabei entstehen Treibhausgasemissionen als von 1,10E-01 kg CO_{2equiv.} / m³ LP.

Einige der untersuchten LP bestehen zu 73 bis 87 % aus Baulehm, andere zu 42 % aus Baulehm und 54 % Sand. Der Rest sind Pflanzenteile oder Holzfasern. Sofern diese nicht vollständig durch trockene Separationstechniken (z. B. Windsichter) aussortiert wurden, ist die Beimengung von Pflanzenteilen oder Holzfasern z. B. bei LPM häufig Teil der Rezeptur und ein zulässiger Zusatz nach DIN 18947. Die Entfernung etwaiger Armierungsgewebe ist Teil der manuellen Demontage und wird hier nicht weiter betrachtet oder quantifiziert.

Die trockene mineralische Fraktion der zerkleinerten LP hat das Potenzial, um im Trockendosierverfahren nach Muster UPD-LPM [24] ansonsten künstlich getrockneten Baulehm oder Baulehm/Sandgemische zu substituieren (Wiederverwertung im Lehmbau). Im Trockendosierverfahren entstehen z. B. LPM und farbige LPM. Die Wiederverwertung in einem anderen Herstellungsprozess im System Lehm bedingt entsprechende Eingangskontrollen (z. B. nach Ersatzbaustoffverordnung) und kann Anpassungen für spezifische Rezepturen der Trockendosierung von neuen Lehmbaumstoffen erfordern. Ebenso sind abfallrechtliche Vorgaben zu beachten [4][5][13].

Tab. C.3.1 zeigt beispielhaft die Umweltkennzahlen zum Primärenergieeinsatz und zur Wirkung auf das Treibhausgaspotenzial GWP bei einer Wiederverwertung der in einer LP enthaltenen Baulehmannteils als Substitut für Trockenlehm im *IM D3*.

Tab. C.3.1 Rückgewinnungspotenziale *IM D3*: Substitution von Trockenlehm für LPM, Beispielrechnung

Szenario D3: Wiederverwertung demontierter LP im Trockendosierverfahren für LPM					
pro m ³ LP					
Annahme: 1.140 kg/m ³	Parameter Einheiten	PERT MJ H _u	PENRT MJ H _u	PEI MJ H _u	GWP kg CO ₂ equiv.
Rückbau/Demontage; manuell	C1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Abfallbehandlung/ Trockenverfahren	C3	6,94E-02	1,06E+01	1,06E+01	1,03E-01
Wiederverwertung in Trockendosierverfahren für LPM	D3	-1,84E+01	-9,11E+02	-9,29E+02	-6,90E+01
Netto-Rückgewinnungspotenzial	D3 - C3	-1,83E+01	-9,00E+02	-9,18E+02	-6,89E+01

PERT = Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen

PENRT = Gesamtnutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen

PEI = Primärenergieinput gesamt

GWP = Globales Erwärmungspotenzial

Zur beispielhaften Berechnung der Rückgewinnungspotenziale wurde der durchschnittliche Anteil von Baulehm in der Mischung der untersuchten LP angenommen. Eine durchschnittliche LP enthält nach Zerkleinerung rund 80 M.-% Baulehm bei einer angenommenen Rohdichte von 1.140 kg / m³ LP. Diese Stoffzusammensetzung wurde bei experimentellen Laboruntersuchungen der FH Potsdam mit LP festgestellt [19].

Die pulvrigen Massen der trocken rückgewonnenen mineralischen Bestandteile einer LP eignen sich für gravimetrische, trockene Dosierverfahren, wie sie z. B. für LPM [24] angewendet werden. Die Substitution des Trockenlehms als Ausgangsstoffe für trockene Lehmbaumstoffe, insbesondere LPM, durch wiederverwertete LP spart Primärenergieinput in Höhe von 9,29E+02 MJ/ m³ Alt-LP. Grund dafür ist die Vermeidung der originären Bereitstellung und notwendigen Trocknungsenergie für Trockenlehm (1,13E+00 MJ/kg Trockenlehm). Verglichen mit dem dafür angenommenen Energieaufwand zur Aufbereitung demontierter Alt-LP rund 11 MJ/ m³ LP bleibt eine Netto-Energieeinsparung von 9,18E+02 MJ/ m³ Alt-LP des Substitutionseffektes.

Der Substitutionseffekt nach *IM D3* vermeidet 69 kg CO₂equiv. / m³ Alt-LP Treibhausgasemissionen. Ursächlich dafür ist die Vermeidung von Treibhausgasemissionen für originär bereitgestellten, künstlich getrockneten Baulehm (0,084 kg CO₂equiv./m³ Trockenlehm). Unter Berücksichtigung der Aufbereitung mit 0,11 kg CO₂equiv. / m³ Alt-LP reduziert sich der Netto-Einspareffekt von Treibhausgasemissionen nur marginal < 1%.

C.4 Anmerkungen zu den Rückgewinnungsszenarien

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

Die Wiederverwertung 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.

Im Baustofflabor der FH Potsdam wurden zwei mögliche Aufbereitungsverfahren zur Rückgewinnung von demontierten LP erprobt. Das „*Nassverfahren*“ durch einfaches „Einsumpfen“ der LP in Wasser löst die Bindung der Inhaltsstoffe durch die Tonbestandteile des Lehms. Das „*Trockenverfahren*“ zerschreddert den LP-Abbruch mechanisch mit variabel, einstellbaren Korngrößen.

Beim *Nassverfahren* wird die lehmspezifische Eigenschaft der Replastifizierbarkeit ausgenutzt [19] [20][21]. Das *Nassverfahren* zeigt den Herstellern einen Weg auf, wie alte LP zurückgenommen und im Werk zu neuen LP wiederverwertet werden können. Damit lassen sich alle Ausgangsstoffe, außer dem Armierungsgewebe, durch Einsumpfen aus der LP lösen. Es entsteht eine weich-breiege Masse zur Befüllung der Formkästen für neue LP (Formstrichverfahren). Die Materialprüfung der wiederverwerteten LP nach DIN 18948 bei den experimentellen Untersuchungen an der FH Potsdam ergab keine Qualitätseinbußen beim Kernparameter Biegezugfestigkeit im Vergleich zu originären LP [20].

Das *Trockenverfahren* zur Aufbereitung demontierter LP eignet sich gut zur Wiederverwertung für andere Lehmbaumstoffe und stellt eine Alternative zum Nassverfahren dar. Der in den geschredderten LP enthaltene trockene Lehmaushub eignet sich als Substitut für Produkte bzw. Verfahren, die im Trockendosierverfahren hergestellt werden, z. B. LPM. Allein die sonst erforderliche Vortrocknung Lehm erfordert nach Herstellerangaben [21] 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 $1,65 \cdot 10^{-2}$ 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 $109 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{m}^3$ Alt-LP.

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen an der FH Potsdam fanden auch Rückgewinnungsexperimente statt, die diese sog. Kreuzkompatibilität [21] erprobten. So wurden LP geschreddert und als LPM wieder verwertet, ohne signifikante Einbußen hinsichtlich der geprüften Kernparameter (Druckfestigkeit, Abrieb) der LPM nach DIN 18947.

Die Rückgewinnungspotenziale der Wiederverwendung von demontierten LP in *IMDI* sind in allen Input- und Wirkungskategorien am höchsten (*Tab. B.2* u. *B.3*). Trockenverfahren und Wiederverwertung der mineralischen Bestandteile als trockene Recyclingkomponenten sind höher als beim Nassverfahren zur Wiederverwertung der Ausgangsstoffe für neue LP. Die Energieersparnis im beschriebenen Nassverfahren beträgt 618 MJ/m^3 weiterverwerteter LP, im Trockenverfahren 694 MJ/m^3 weiterverwerteter LP. Die Reduktion von Treibhausgasemissionen im Nassverfahren beträgt $26,7 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{m}^3$ LP, im Trockenverfahren sind es $87,8 \text{ kg CO}_{2\text{equiv.}} / \text{m}^3$ LP.

Unabhängig vom Aufbereitungsverfahren und der Verwertungskette bieten LP (wie auch andere Lehmbaumprodukte) aufgrund der Replastifizierbarkeit der bindigen Ausgangsstoffe ideale Voraussetzungen für die Rückgewinnung in Form einer Wiederverwendung bzw. Weiterverwertung im System Lehm-bau.

Die praktische Umsetzung dieser Eigenschaft im Baustoffkreislauf stößt aber auf logistische und abfallrechtliche Hürden. Die sortenreine, fremdkörperfreie Sammlung und Lagerung der LP erfordert besondere Sorgfalt auf den Baustellen. Hinzu kommen abfallrechtliche Hürden. Sobald eine Abfalleigenschaft vorliegt, hier bei Wiederverwertung im Nass- oder Trockenverfahren, greifen einschlägige Rechtsvorschriften zum Betrieb einer Aufbereitungsanlage (auch low-tec). Hinzu kommen offene rechtliche Fragen zur Einordnung der beschriebenen Rückgewinnungsszenarien im Rahmen der Ersatzbaustoffverordnung [4]. Die wissenschaftlich begleiteten Rückgewinnungsszenarien und deren Quantifizierung in der Ökobilanz der LP belegen den Nutzen für den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft

mit Lehmbaustoffen und ermuntern zu praktikablen Lösungen der logistischen und rechtlichen Probleme.

TEIL D TABELLENANHANG

Der *Abs. D* dieser Muster-UPD dient als Formatvorlage nach DIN EN 15824 für die Input-, Output- und Wirkungsfaktoren für die nach den jeweiligen Formgebungs- und Trocknungsverfahren deklarierten, herstellereinspezifischen LP. im Format tabellarisch dargestellt.

Die Tabellen enthalten auch Hinweise zu im Bericht enthaltenen Beschreibungen (MB), nicht relevanten Modulen (NR) und nicht deklarierten Modulen (ND).

D.1 Inputfaktoren

Im *Abs. D.1* werden in der *Tab. D.1* die Inputfaktoren für die deklarierten LP tabellarisch dargestellt.

Tab. D.1 Mustertabelle für Inputfaktoren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCI												
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM												
Lehmplatten [herstellerspezifische Bezeichnung]												
Deklarierte Einheit in kg/m³		Parameter	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT	SM	RSF	NRSF	FW
		IM/Einheit	MJ H _e	MJ H _e	MJ H _e	MJ H _e	MJ H _e	MJ H _e	MJ H _e	kg	MJ H _e	MJ H _e
Produktstadium	Ausgangsstoffe	A1										
	Transport	A2										
	Herstellung	A3										
	Summe (cradle to gate)	A1-A3										
Nutzungsstadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungsstadium	Rückbau manuell	C1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	C2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Abfallaufbereitung, Nass-/Trocken-verfahren	C3										
	Deponierung	C4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungspotenziale	Wiederverwendung LP	D1										
	Wiederverwertung Nassverfahren, neue LP	D2										
	Wiederverwertung im Trockendosierverfahren, z.B. LPM	D3										

PERE = Erneuerbare Primärenergie (PE)
 PERM = Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung
 PERT = Summe erneuerbarer PE
 PENRE = Nicht-erneuerbare PE als Energieträger
 PENRM = Nicht-erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung
 PENRT = Summe nicht-erneuerbarer PE
 SM = Einsatz von Sekundärstoffen
 RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe
 NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe
 FW = Einsatz von Süßwasserressourcen
 MB = Modul beschrieben
 MNR = Modul nicht relevant
 ND = nicht deklariert

D.2 Outputfaktoren

Im *Abs. D.2* werden in den *Tab. D.2* die Outputfaktoren für die deklarierten LP tabellarisch dargestellt.

Tab. D.2 Mustertabelle für Outputfaktoren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA										
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM										
Lehmplatten [herstellerspezifische Bezeichnung]										
Funktionale Einheit in kg/m ³		Parameter	HWD	NHWD	RWD	CRU	MFR	MER	EEE	EET
		IM/Einheit	kg	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
Produkt-stadium	Ausgangsstoffe	A1								
	Transport	A2								
	Herstellung	A3								
	Summe (cradle to gate)	A1-A3								
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 Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungs-stadium	Rückbau, Abriss; manuell	C1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	C2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Aufbereitung, Nass-/Trockenverfahren	C3								
	Deponierung	C4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwendung LP	D1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Wiederverwertung Nassverfahren, neue LP	D2								
	Wiederverwertung im Trockendosierverfahren, z.B. LPM	D3								

HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie

NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall

RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall

CRU = Komponenten f. die Wiederverwendung

MFR = Stoffe zum Recycling

MER = Stoffe für die Energierückgewinnung

EEE = Exportierte elektr. Energie

EET = Exportierte thermische Energie

MNR = Modul nicht relevant

MB = Modul beschrieben

ND = nicht deklariert

D.3 Umweltwirkungsfaktoren

Im Abs. D.3 werden in der Tab. D 3 die Umweltwirkungsfaktoren für die deklarierten LP tabellarisch dargestellt.

Tab. D.3 Mustertabelle für Umweltwirkungsfaktoren

Deklaration der Umweltparameter, abgeleitet aus der LCA															
Darstellung gemäß DIN EN 15942 Anhang A Muster ITM															
Lehmplatten [herstellerspezifische Bezeichnung]															
Funktionale Einheit kg/m³		Parameter	GWP total	GWP-biogenic	GWP-luluc	GWP-fossil	ODP	POCP	AP	EP-terrestrial	EP-freshwater	EP-marine	WDP	ADPE	ADPF
		IM/Einheit	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CO2 eq.	kg CFC-11 eq.	kg NMVOC eq.	Mole of H+ eq.	Mole of N eq.	kg P eq.	kg N eq.	m³ world eq.	kg Sb eq.	MJ Hu eq.
Produkt-stadium	Ausgangsstoffe	A1													
	Transport	A2													
	Herstellung	A3													
	Summe (cradle to gate)	A1-A3													
Nutzungs-stadium	Nutzung	B1	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Instandhaltung	B2	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Reparatur	B3	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Ersatz	B4	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Erneuerung	B5	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	Betriebliche Energienutzung	B6	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
	Betriebliche Wassernutzung	B7	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--	MNR--
Entsorgungs-stadium	Demontage, Abriss; manuell	C1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Transport	C2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Aufbereitung, Auflösung GWP bionic	C3													
	Deponierung	C4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rückgewinnungs-potenziale	Wiederverwendung LP	D1													
	Wiederverwertung Nassverfahren, neue LP	D2													
	Wiederverwertung im Trockendosierverfahren, z.B. LPM	D3													

GWP total = Globales Erwärmungspotenzial
 GWP-biogenic = Globales Erwärmungspotenzial - biogen
 GWP-luluc = Globales Erwärmungspotenzial - luluc
 GWP-fossil = Globales Erwärmungspotenzial - fossil
 ODP = Abbaupotenzial der stratosphär. Ozonschicht
 POCP = Bildungspotenzial für troposphär. Ozon
 AP = Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung
 EP-terrestrial = Eutrophierungspotenzial - Land
 EP-freshwater = Eutrophierungspotenzial - Süßwasser
 EP-marine = Eutrophierungspotenzial - Salzwasser
 WDP = Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer)
 ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen
 ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe
 MNR = Modul nicht relevant
 MB = Modul beschrieben
 ND = nicht deklariert

ZITIERTER STANDARDS / LITERATURHINWEISE

DIN 4102-1:1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

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

DIN 18942-1:2024-03: Lehmabbaustoffe und Lehmabbauprodukte – Teil 1: Begriffe

DIN 18942-100:2024-03: Lehmabbaustoffe und Lehmabbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis

DIN 18948:2024-03: Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

DIN EN 1364-1:2015-09: Feuerwiderstandsprüfungen für nicht tragende Bauteile – Teil 1: Wände

DIN EN 4103-1:2015-06: Nicht tragende Trennwände – Teil 1: Anforderungen und Nachweise

DIN EN 12620:2008-07: Gesteinskörnungen für Beton

DIN EN 12878: 2014-07: Pigmente zum Einfärben von zement- und oder / kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren

DIN EN 13055: 2016-11: Leichte Gesteinskörnungen

DIN EN 13139 (E):2015-07: Gesteinskörnungen für Mörtel (zurückgezogen)

DIN EN 13501-1:2019-05: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten 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 16516:2010-10: Bauprodukte: Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft

DIN EN ISO 354:2003-12: Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen

DIN EN ISO 717-1:2021-05: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung

DIN EN ISO 14025:2025-05: Umweltkennzeichnungen u. –deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen; Grundsätze u. Verfahren

DIN EN ISO 14040:2021-02: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze u. Rahmenbedingungen

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

DIN EN ISO 16000-9:2024-08: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen – Emissionskammer-Prüfverfahren

DIN EN ISO 17892-12: 2022-08: Geotechnische Erkundung u. Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 12: Bestimmung der Fließ- u. Ausrollgrenzen

- 1 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Allgemeine Hinweise für die Erstellung von Ökobilanzen und Projektberichten (Teil 2)*. Weimar: 2025-12
- 2 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Lehmbau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage, 4., überarbeitete Aufl., Wiesbaden 2026
- 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 Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV). BGBl. I S.2598 (Nr. 43) v. 09.07.2021, gültig ab 01.08.2023
- 5 Bundes-Bodenschutz- u. Altlastenverordnung (BBodSchV) (BGBl. I S. 2598, 2716 v. 09.07.2021)
- 6 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Grundregeln für die Produktkategorie Lehmplatten (LP)*. Weimar: 2025-12
- 7 Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen (BVF) e. V. (Hrsg.): *Kühlen und Heizen mit Deckensystemen: Lehmdeckensysteme*. Richtlinie 15.12. BVF, Dortmund: 2021
- 8 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaumstoffe – Richtlinie*. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 05, Weimar: 2011
- 9 Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV) v. 18.04.2017 (BGBl.I, S.896), letzte Fassung v. 09.07.2021 (BGBl. I, S.2598)
- 10 Natureplus e. V.: *Vergaberichtlinie 1006 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Lehmplatten*. Neckargemünd: 2015-06
- 11 Natureplus e. V.: *Vergaberichtlinie 5003 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Naturschutz beim Abbau mineralischer Rohstoffe*. Neckargemünd: 2015-04

- 12 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
- 13 Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und zur Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG), BGBl. I, 06.10.1994, S. 2705, letzte Neufassung BGBl. I, S.1324 – 1346 v. 22.05.2013)
- 14 Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft v. 24.07.2002 (GMBl. S.511), BM f. Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Berlin:2002, Entwurf Neufassung v. 17.12.2020
- 15 Bau-EPD (Hrsg.): *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von UPDs*. Bau-EPD GmbH, Wien 2014
- 16 Mauch, M.; Corradini, R.; Wiesemeyer, K.; Schwentzek, M.: *Allokationsmethoden für spezifische CO₂-Emissionen von Strom und Wärme*. KWK-Anlagen in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 55.Jg. (2010) Heft 9
- 17 Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) (Hrsg.): *Umweltproduktdeklaration für Baustroh nach DIN EN ISO 14025 u. DIN EN 15804*. Wien 2014
- 18 Diederichs, S.; Rüter, S.: *Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz*. Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1
- 19 Sommerfeld, M.: *Umweltproduktdeklaration von Lehmbaumstoffen – Ermittlung des Rückgewinnungspotenzials*. Unveröff. Diplomarbeit, FB Bauingenieurwesen, FH Potsdam 2019
- 20 Zohlen, F.; Pistol, K. (Hrsg.) *Baustoffrecycling & Lehmbaumstoffe – Perspektiven für eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen*. FH Potsdam 2022. Springer Vieweg, Wiesbaden 2025
- 21 Schroeder H., Lemke, M.: *Lehm im Baustoffkreislauf*. Springer Vieweg, Wiesbaden 2025
- 22 www.oekobaudat.de; Oktober 2024
- 23 Umweltbundesamt (UBA): Probas Umweltdatenbank; <https://www.probas.umweltbundesamt.de>
- 24 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Musterumweltproduktdeklaration für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (Muster-UPD LPM)*. Weimar 2025-12
- 25 Forschungszentrum Karlsruhe Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (Hrsg.): Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), *Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten - Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung*
- 26 Hanffaser Uckermark: *Klimaschutz durch Kohlendioxidbindung*; <https://www.hanf-akademie.de/>; Abfrage Dez. 2025
- 27 https://www.schmidt-tone.de/fileadmin/zertifikate/StephanSchmidt_Nachhaltigkeitsbericht_DE_2024.pdf