

# Ökologische Bilanzierungen für Lehmbaustoffe

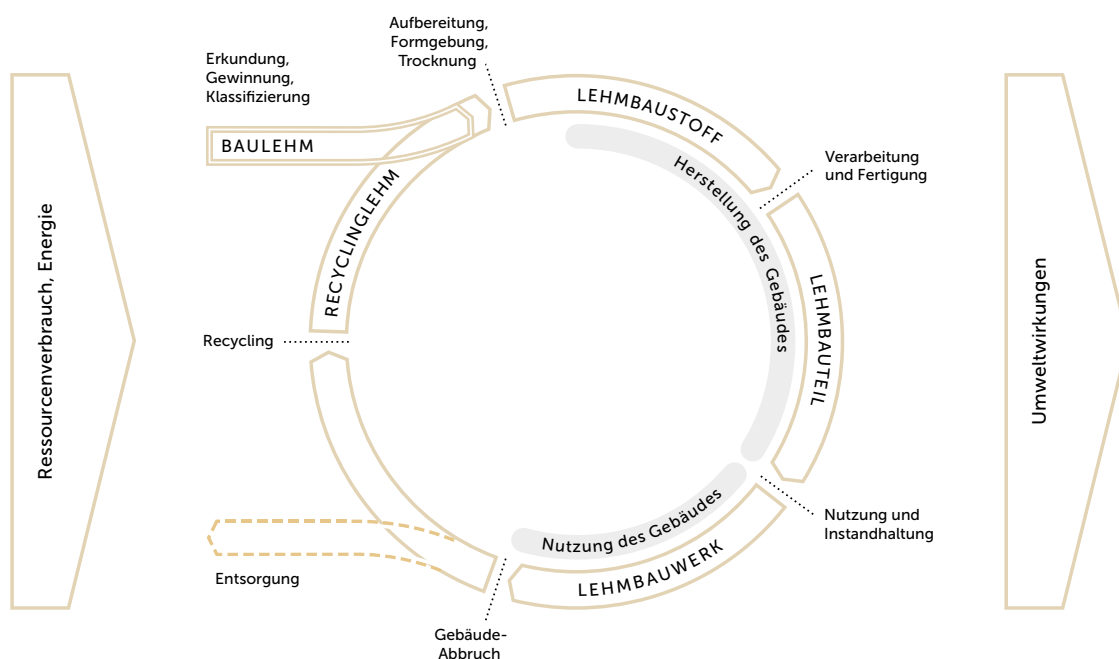
Das im Oktober 2019 von der Bundesregierung beschlossene Klimaschutzpaket fordert in Deutschland bis 2030 eine Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 40% gegenüber 1990. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein Kostenpfad für Verursacher des „Treibhausgas CO<sub>2</sub>“ festgelegt: pro t CO<sub>2</sub> werden ab 2021 10 €, ab 2025 35 € und später bis zu 65 € fällig. Alle mit dem Bauen in Zusammenhang stehenden Prozesse tragen einen erheblichen Anteil zum Ausstoß von sog. Treibhausgasen bei. Die beschriebene Bepreisung wird (auch) die Bauindustrie veranlassen, ihre gesamten Prozessketten in der Baustoffproduktion, der Bauausführung, der Gebäudenutzung und -unterhaltung sowie des Gebäudeabbruchs und Recyclings auf Nachhaltigkeitsaspekte zu überprüfen.

Ökologische Bilanzierungen sind heute ein allgemein anerkannter methodischer Ansatz, der für die quanti-

tative Analyse der Nachhaltigkeit von (Bau)produkten Anwendung findet. Für ökologische Bilanzierungen ist in den zurückliegenden Jahren ein System von DIN-, EN- und ISO-Normen entwickelt worden, die im Kern auf das Modell des *Stoffkreislaufes/Lebenszyklusanalyse* (Life Cycle Assessment, LCA) der im Bauwerk verarbeiteten Baustoffe zurückgehen.

Im Rahmen eines zweijährigen, von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes „UPD Lehm“ hat der Dachverband Lehm e.V. (DVL) 2016–2018 normkonforme Rahmenbedingungen für die Erarbeitung eines Regelwerkes zur ökologischen Bewertung von Lehmbaustoffen erstellt [1] [2]. Die Fortsetzung der Arbeiten in einem Projekt „UPD Lehm.2“ [3a] wird seit April 2020 wiederum von der DBU gefördert.

## 01 Stoffkreislauf des Baustoffes Lehm



**Lebenszyklusanalyse/Ökobilanz von Lehmbaustoffen**

In Abb. 1 wird das Modell eines Bauprozesses als Lebenszyklusanalyse (LCA) für Bauwerke aus Lehm- baustoffen [3] [4] dargestellt. Dabei wird der gesamte Lebensweg eines Bauwerkes von der Rohstofferkun- dung und deren Bereitstellung, über die Aufbereitung zu Baustoffen, deren Verarbeitung zu Bauteilen und Baukonstruktionen, die Bauwerksnutzung einschl. In- standhaltung bis hin zum Gebäudeabriss und Recy- cling mit den jeweils dazwischen liegenden Trans- portwegen und ihren prozessbegleitenden Stoff- und Energieströmen in Form einer Inventarisierung (Öko- bilanz) betrachtet.

Die Bewertung der ökologischen Qualität des Bau- prozesses erfolgt durch Gegenüberstellung der Res- sourcerverbräuche des Produktsystems und den Stoffflüssen, die das System verlassen und dabei ent- sprechende Umweltwirkungen erzeugen (Abb. 1).

Die quantifizierten, umweltbezogenen Informationen über den Lebensweg des Produktes werden nach DIN EN ISO 14025 bzw. DIN EN 15804 in standardisierten Formaten als Produktkategorieregeln (PKR)/Umwelt- produktdeklarationen (UPD) dargestellt. Sie werden von einer (mehreren) Organisation(en) bereitgestellt, beruhen auf unabhängig verifizierten Daten aus Öko- bilanzen (Typ III UPD), enthalten in Normen festge- setzte Parameter und werden von einem Programm- betreiber verwaltet.

Während PKR/UPD für die meisten mineralischen Massenbaustoffe bereits vorliegen, fehlten diese bis- lang für Lehm- baustoffe. Für Hersteller von Lehm- baustoffen erwachsen daraus zunehmend Wettbe- werbsnachteile bei Ausschreibungen. Das Ziel des DVL-Projektes „UPD Lehm“ [1] bestand deshalb darin, durch Erarbeitung von PKR Rahmenbedingungen zur Erstellung von UPD für Lehm- baustoffe zu schaffen und damit die bestehende Lücke zu schließen. Diese Arbeiten können dank der erneuten Förderung durch die DBU in einem Folgeprojekt „UPD Lehm.2“ [3a] bis 2022 fortgeführt werden.

**Normgerechtes Regelwerk für die Erstellung von Ökobilanzen aus Lehm- baustoffen**

Das im Rahmen des DVL-Projektes „UPD Lehm“ ge- schaffene Regelwerk [2] besteht aus

- vier PKR für die Baustoffkategorien Lehmsteine (LS), Lehm- mauer- mörtel (LMM), Lehmputz- mörtel (LPM) und Lehm- platten (LP) nach DIN 18942-1, 18942-100, 18945 – 48,
- einer UPD für LPM (die fehlenden UPD für LMM, LS und LP sind Gegenstand des Folgeprojektes „UPD Lehm.2 [3a]),
- den Allgemeinen Hinweisen für die Erstellung von Öko- bilanzen für Lehm- baustoffe (Teil 2),
- den Allgemeinen Programmanleitungen (Basis- dokument), in dem die spezifischen Aufgaben der einzelnen Akteure und die Organisationsstruktur des Programmbetriebs dargestellt werden.

Tabelle 1 Bilanzierungsschema für die UPD-Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15804

Herstellen			Errichtung		Nutzung					Entsorgung				G / L*
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffherstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau/ Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau/ Erneuerung	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential
					B6 Energieeinsatz im Betrieb					*Gutschriften / Lasten				
					B7 Wassereinsatz im Betrieb									

Module in Ökobilanz DVL-Projekt [1] quantifiziert

Das Regelwerk wendet die relevanten Normen zur Ökobilanzierung (DIN EN 15804, DIN EN ISO 14025, DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044, CEN ISO/TS 14071) auf Lehmbaustoffe an. Diese sind durch die bauaufsichtlich eingeführten Lehmregeln [3b] sowie die DIN 18945 – 48 nachvollziehbar definiert.

### Produktsystem

Das Produktsystem ist eine Zusammenstellung von relevanten Prozessmodulen mit zugehörigen Elementar- oder Produktflüssen, die den grundsätzlichen Lebensweg des Produktes von der Rohstoffbereitstellung bis zur Entsorgung/Recycling in Form von Prozess- oder Informationsmodulen (IM) darstellt. Für Bauprodukte wird dazu das in Tab. 1 dargestellte Bilanzierungsschema nach DIN EN 15804 verwendet, das aus vier zu deklarierenden Lebenszyklusphasen Herstellung (A1 – A3), Errichtung (A4 – A5), Nutzung (B1 – B7) und Entsorgung (C1 – C4) sowie einer Phase D für Gutschriften/Lasten aus Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzialen besteht.

Dieses Schema wurde für die Erarbeitung einer Muster-UPD für Lehmputzmörtel (LPM) im Rahmen des DVL-Projektes „UPD Lehm“ [1] angewendet. Die Datenerhebung bei den beteiligten Produktherstellern ergab in Bezug auf den Lieferzustand der LPM unterschiedliche Herstellungsverfahren (A1 – A3): ein Erdfeucht- und drei verschiedene Trockenverfahren:

Im Lieferzustand „erdfeucht“ bleibt der Wassergehalt des erdfeucht bereitgestellten Baulehms über die gesamte Herstellungsphase (IM A1 – A3) i. w. unverändert. Die Herstellung von LPM umfasst die Prozessmodule „Zerkleinerung des Baulehms“, „Dosierung der Ausgangsstoffe“, „Mischen“ und „Verpackung/Lagerung“.

„Trocken“ gelieferte LPM beinhalten immer eine künstliche Trocknungsphase, die an unterschiedlichen Positionen des Herstellungsprozesses eingeschaltet werden kann. Die Analyse der Produktsysteme bei den im DVL-Projekt [1] beteiligten LPM-Herstellern ergab folgende Trockenverfahren:

- *Nachtrocknungsverfahren*: Herstellung wie „erdfeucht“ mit abschließender Trocknung (z.B. Trommelrockner),
- *Vortrocknungsverfahren*: Alle aufbereiteten Ausgangsstoffe werden künstlich getrocknet bezogen und vom Hersteller nach eigener Rezeptur gemischt und „trocken“ ausgeliefert.

- *Solartrocknungsverfahren*: Herstellung wie „erdfeucht“ mit abschließender passiver Solartrocknung (Treibhauseffekt mit Entlüftung).

Hinsichtlich Energiebilanz und Wirkungsanalyse weichen die einzelnen Verfahren signifikant voneinander ab.

### Systemgrenze

Die Systemgrenze legt fest, welche Prozess-/Informationsmodule (IM) Teil des Produktsystems sind. Für die Zusammenstellung von Prozessmodulen werden in DIN EN 15804 drei verschiedene Möglichkeiten für die Festlegung von Systemgrenzen unterschieden, deren Auswahl mit dem Ziel der Analyse übereinstimmen muss:

- „von der Wiege bis zum Werkstor (from cradle to factory gate)“ (IM A1 – A3),
- „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“ (IM A1 – A3 mit ausgewählten Optionen) und
- „von der Wiege bis zur Bahre/Wiege (from cradle to grave/cradle)“ für den gesamten Lebenszyklus (IM A1 – D).

Entsprechend unterschiedlich kann die Ökobilanz ausfallen.

Tab. 1 zeigt die im DVL-Projekt „UPD-Lehm“ [1] betrachteten Informationsmodule innerhalb der gewählten Systemgrenze „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“ (A1 – A3, C3, D).

Die Phase „Entsorgung“ (C1 – C4) wird in Bezug auf zwei Eigenschaften betrachtet: die Recyclingfähigkeit und die Entsorgungseigenschaften. Ein hinsichtlich der Nachhaltigkeit idealer Baustoff ist recyclebar. Dies setzt die Separierbarkeit der ursprünglichen Baustoffzusammensetzung (z.B. Lehm, Sand) sowie der verbundenen Bauteilschichten voraus. Gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) besitzt die Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Entsorgung. Die Bilanzierung der Phase „Entsorgung“ ist wegen derzeit mangelnder Datengrundlage schwierig und bleibt deshalb innerhalb der Ökobilanzierung oft unberücksichtigt. Für Lehmbaustoffe ist sie aber relevant und wurde deshalb im DVL-Projekt „UPD-Lehm“ [1] in Form von angenommenen Szenarien dargestellt.

Tabelle 2 Funktionale Einheiten für Lehmbaustoffe nach DIN 18945-48

Produktsystem (Lehmbaustoff)	Leistung des Systems	Funktionale Einheit	DIN	DIN Anhang	PKR	UPD
Lehmstein LS	Bereitstellung einer definierten Masse Baustoff	kg LS	18945	A.2	•	
Lehmmauermörtel LMM	Bereitstellung einer definierten Masse Baustoff	kg LMM	18946	A.1	•	
Lehmputzmörtel LPM	Bereitstellung einer definierten Masse Baustoff	kg LPM	18947	A.2	•	•
Lehmplatte LP	Bereitstellung einer definierten Menge eines Bauteils	m <sup>3</sup> LP	18948	A.3	•	

**Funktionale Einheit**

Funktionale Einheiten für Lehmbaustoffe sind in den DIN 18945 – 48 und in den entsprechenden PKR/UPD [2] festgelegt und in Tab. 2 dargestellt.

**Referenz-Nutzungsdauer**

Für das DVL-Projekt „UPD Lehm“ wurden die RSL-Angaben dem Bau-EPD-Katalog der Bau-EPD GmbH [5] entnommen. Beispiele: Lehmmörtel/Lehmputz sowie Lehmsteine: 100 Jahre; Lehmplatten: 50 Jahre.

**Annahmen und Abschätzungen**

Es wurden Angaben aus der betrieblichen Datenerhebung der beteiligten Hersteller ausgewertet. Diese Daten umfassten die Gewinnung aller nach Rezeptur eingesetzten Ausgangsstoffe, den Energieeinsatz für die Produktions- bzw. Trocknungsprozesse, die eingesetzte thermische Energie, den internen Kraftstoffverbrauch für alle Transporte im und zum Werk sowie für Verpackungen. Für die Energieherkunft wurden die an den Produktionsstandorten genutzten Energieträger und Energiequellen berücksichtigt.

*Primärgrubenlehm* wird zielgerichtet für die Herstellung von Lehmbaustoffen abgebaut (Annahme: Umweltwirkung des gesamten Grubenbetriebs nach ECOINVENT 3.2 [10] [11]). *Sekundärgrubenlehm* ist ein Abfallprodukt der Ton-/Sand-/Kiesgewinnung (A1) und wird als Rohstoff bereitgestellt (Annahme: Umweltwirkung des Prozessmoduls „Abbaggern“ nach ÖKOBAUDAT [6]). Alle anderen Prozesse des Grubenbetriebs entfallen auf die Primärrohstoffe Sand bzw. Kies. Für den Lehmabbau (erdfeucht, mittelbindig, steife Konsistenz, Gewinnungsklasse GK 3 – 4 nach DIN 18300:2012-09) wurde eine Feuchtrohdichte des Lehms von  $\rho = 2.000 \text{ kg/m}^3$  angenommen.

**Verpackungen:** Großgebände aus PP-Gewebe und Kraftpapiersäcke (ohne PE-Inlet) werden in der UPD Werkmörtel [7] mit einem Primärenergieinhalt (PET)

von 0,01 MJ/kg Mörtel bewertet. Diese Bewertung wurde in die UPD für LPM übernommen. Die Umweltwirkungskategorien beider Verpackungsarten konnten aus einer LCA-Studie zu LPM [8] abgeleitet werden.

**Pflanzenteile:** Anwendung fand die UPD Baustroh [9]. Die darin enthaltenen Rückgewinnungs-potenziale blieben unberücksichtigt, nicht jedoch das gebundene CO<sub>2</sub>.

**Abfallbewirtschaftung (C3):** Zur Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkungen wurden zwei Szenarien angenommen: ein Nass- und ein Trockenverfahren.

Das *Nassverfahren* zur Rückgewinnung von LPM aus sortenrein zurückgewonnenem Alt-LPM (*Primärrecyclinglehm*) geht aus von der Kieswäsche als Prozessmodul bei der Kiesgewinnung: die in den LPM enthaltenen feinen mineralischen Körnungen werden in einer Waschanlage vom Kieskorn getrennt. Der dabei anfallende Rückstand „Presslehm“ (Sand, Schluff und Ton) wird bisher deponiert. Als Datengrundlage wurde der Prozessmodul „Kiesgewinnung“ nach ÖKOBAUDAT [6] verwendet.

Das Szenario für ein *Trockenverfahren* zur Rückgewinnung von LPM gründet auf der Annahme einer Zerkleinerung des Alt-LPM (*Primärrecyclinglehm*) in Prallmühlen zur Wiederverwendung als LPM. Dieses Verfahren ist im Baustoffrecycling üblich, kann aber auch zur Zerkleinerung von festen Lehmklumpen bei der Aufbereitung von Baulehm angewendet werden. Der erforderliche Energieeinsatz wurde aus Herstellerangaben ermittelt und nach deutschem Strommix (ÖKOBAUDAT [6]) bewertet.

Sortenrein zurückgewonnener LPM kann auch für die Separierung von Sand-/Kieskörnungen nach beiden

Verfahren z.B. für die Betonherstellung weiterverwert werden (*Sekundärrecyclinglehm*).

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

**Rückgewinnungspotenzial (D):** Bewertet die Guttschrift als rechnerisches Einsparpotenzial der mineralischen Ausgangsstoffe Sekundärgrubenlehm und ungetrockneter Sand entsprechend der Daten der in A1 erfassten Rohstoffbereitstellung. Die Bewertung erfolgt mit einem kalkulatorischen Materialverlust von 5 M.-% für beide Szenarien.

**Datenerhebung**

Die Datenerhebung muss der Anleitung in DIN EN ISO 14044, Anhang A folgen. Die erhobenen Daten bilden die Grundlage für die Wirkungsabschätzung.

Die erforderlichen Daten zur Quantifizierung der Ressourcenverbräuche und der entsprechenden Umweltwirkungen entlang des Lebensweges eines Bauproduktes kann man auf zwei Wegen gewinnen:

- als Primär-/Vordergrunddaten durch Datenerhebung bei den Produkthersteller mittels Fragebögen,
- als Sekundär-/Hintergrunddaten durch Nutzung von generischen (in Datenbanken hinterlegten) Datensätzen.

Für die Ermittlung von „Vordergrunddaten“ zur Erarbeitung der Muster- UPD LPM [1] wurde für die Produkthersteller ein normkonformer Fragebogen zu Stoff- und Energieströmen sowie zu Transportwegen in den Werken entwickelt. Die erhobenen Vordergrunddaten (Bezugsjahr 2017) sowie die Hintergrunddaten aus den generischen Datensätzen und anderen Quellen wurden zusammengefasst und berechnet sowie abschließend grafisch dargestellt. Als Hintergrunddatensätze wurden im DVL-Projekt „UPD Lehm“ [1] die in Tab. 3 dargestellten Basismodule verwendet.

Tabelle 3 **Verwendete Hintergrunddatensätze im DVL-Projekt „UPD Lehm“ [1]**

Nr.	Daten	Erdfeucht	Trocken	Hintergrunddatensatz	Bezugsjahr
1	Grubenlehm		•	Ecoinvent 3.2 full pit operation [10]	2015-11
2	Grubenlehm als Sekundärrohstoff	•		ÖKOBAUDAT 09.01.01 [6]	2018-06
3	Trockenlehm		•	ÖKOBAUDAT 1.1.04 [6]	2018-06
4	Sand 0/2 bis 0/4 ungetrocknet	•	•	Ecoinvent 3.2 [10]	2015-11
5	Sand 0/2 bis 0/4 getrocknet		•	ÖKOBAUDAT 1.2.04 [6]	2018-06
6	Stroh		•	EPD FASBA [12]	2014-10
7	Elt. Energie DE Wasserkraft; Flusswasser	•	•	Ecoinvent 3.2 [10]	2015-11
8	Elt. Energie DE Strommix 2015		•	ÖKOBAUDAT 9.2.05 [6]	2018-06
9	Verpackung PE-big bag (1,6 kg/1.200 kg LPM)	•		DIBU IWM und BRE [9] [11]	2008-04
10	Verpackung Kraftpapiersack (90g/25 kg LPM)		•	DIBU IWM und BRE [9] [11]	2008-04
11	Transport zum Werk (35-40 t, EURO 5, 27 t Nutzlast, 85% Auslastung)	•	•	ÖKOBAUDAT 9.3.01 [6]	2018-06
12	Transport im Werk (Diesel)	•	•	ÖKOBAUDAT 9.2.03 [6]	2018-06
13	Abfallaufbereitung	•	•	Ecoinvent 3.2 [10]	2015-11
14	Wiederverwertungspotenzial	•	•	Ecoinvent 3.2 [10]	2015-11

Tabelle 4 Indikatoren Ressourceneinsatz Herstellung LPM (A1 – A3, Verfahrensarten) [1]

Nr.	Indikator (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse)	Einheit	Verfahrensart nach UPD LPM [1]			
			Erdfeucht	Nach-trocknung	Vor-trocknung	Solar-trocknung*
1	Erneuerbare PE als ET (PERE)	MJ	3,58E-02	4,00E-02	8,13E-02	2,73E-02
2	Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	7,23E-09	7,23E-09	1,27E-01	6,34E-02
3	<b>Summe erneuerbarer PE (PERT)</b>	MJ	<b>3,58E-02</b>	<b>4,00E-02</b>	<b>2,08E-01</b>	<b>9,08E-02</b>
4	Nicht erneuerbare PE als ET (PENRE)	MJ	1,14E-01	1,09E+00	8,62E-01	1,35E-01
5	Nicht erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung	MJ	0	0	3,78E-04	1,89E-04
6	<b>Summe nicht erneuerbarer PE (PENRT)</b>	MJ	<b>1,14E-01</b>	<b>1,09E+00</b>	<b>8,62E-01</b>	<b>1,35E-01</b>
7	<b>PERT + PENRT = PET</b>	MJ	<b>1,50E-01</b>	<b>1,13E+00</b>	<b>1,07E+00</b>	<b>2,26 E-01</b>

\*Passive Solartrocknung

Die Datenerhebung bei den Produktherstellern zeigte, dass die Verfahrenstechnik zur Herstellung die entscheidende Größe für Umwelteffekte ist und nicht die Stoffzusammensetzung der LPM entsprechend verschiedener Rezepturen. Allenfalls spielen Rohstofftransporte noch eine größere Rolle. Die erfassten Produkte der an der Befragung teilnehmenden Hersteller deckten alle bekannten Verfahrenstechniken für LPM (wie auch für Lehmmauermörtel LMM) ab.

### Ressourceneinsatz

Der gesamte Primärenergieeinsatz PET (Input/erneuerbar und nicht erneuerbar) und die damit verbundenen Faktoren der Umweltwirkung (Output) setzen sich zusammen aus den Herstellerdaten zu Stoffzusammensetzung, Energiemenge und -art, den Transporten im bzw. zum Werk und zur Verpackung entsprechend der erläuterten Datenqualität. In Tab. 4 sind die Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes für die Herstellung von LPM quantifiziert, unterteilt nach Verfahrensart in Erdfeuchtverfahren, Nachtrocknung (nach Erdfeuchtproduktion), Vortrocknung (Mischung trockener Komponenten) und passive Solarnutzung (belüftetes Treibhaus).

Aufgrund der „grauen“ Energie (für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes benötigte Energiemenge) in den Vorprodukten Trockenlehm und getrocknete Sandkörnung erhöht sich der PET für das *Vortrocknungsverfahren* mit insgesamt 1,07 MJ/kg LPM signifikant im Vergleich mit dem *Erdfeuchtverfahren* (0,15 MJ/kg LPM) und der passiven Solartrocknung (0,23 MJ/kg LPM). Die enthaltene graue Energie für Trockenlehm mit anteilig 0,472 MJ/kg oder 44% ist ÖKOBAUDAT [6]

entnommen. Die Berechnungsgrundlage ist jedoch nicht nachvollziehbar. Sie basiert auf der Homepage eines Berliner Handwerksbetriebes aus dem Jahre 2008. Hier fehlen originäre Datengrundlagen.

Beim *Nachtrocknungsverfahren* (im Anschluss an das Erdfeuchtverfahren) ergibt der Einsatz von Flüssiggas für die Trommeltrocknung einen deutlich erhöhten Gesamtenergieeinsatz PET von 1,13 MJ/kg LPM. Beim *solaren Trocknungsverfahren* im Treibhaus verursachen hauptsächlich Diesel- und Stromverbräuche die Energiemenge von 0,22 MJ/kg LPM.

Alle Produktionsprozesse für LPM benötigen keine Wasserzufuhr. Die Mischungen erfolgen erdfeucht mit einem natürlichen Feuchtegehalt  $w = 4\text{--}13\%$  oder trocken. Der Energieverbrauch der erfassten Verpackungen wird aus der UPD Werkmörtel für gleichwertige Verpackungsarten übernommen und mit 0,01 MJ/kg LPM bewertet.

### Wirkungsabschätzung

Gemäß der Bilanzierungshinweise des DVL [2] wurden die in Tab. 5 dargestellten Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen quantifiziert. Alle Indikatorgrößen wurden nationalen/ausländischen Datenbanken entnommen.

Im Vergleich wird deutlich, dass mit einer Nachtrocknung der Rohstoffe der CO<sub>2</sub>-Ausstoß (GWP) gegenüber dem Erdfeuchtverfahren ansteigt. Dabei sind ökologische Optimierungspotenziale auszumachen, wie das Beispiel der Treibhaustrocknung zeigt. Aufgrund der energieeffizient hergestellten Vorprodukte aus dem Erdfeuchtverfahren bleibt das

Tabelle 5 Indikatoren Umweltwirkungen Herstellung LPM (A1-A3), Verfahrensarten [1]

Nr.	Indikator (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse)	Einheiten	Verfahrensarten nach UPD LPM [1]			
			Erdfeucht	Nach- trocknung	Vor- trocknung	Solar- trocknung*
1	GWP	kg CO <sub>2</sub> Äq.	6,92E-03	1,52E-02	1,24E-01	-1,78E-03
2	ODP	kg R11 Äq.	2,68E-10	2,73E-10	8,52E-11	5,54E-10
3	POCP	kg Ethylen Äq.	3,58E-06	1,21E-05	1,64E-05	6,72E-06
4	AP	kg SO <sub>2</sub> Äq.	1,70E-05	7,91E-05	1,80E-04	5,08E-05
5	EP	kg PO <sub>4</sub> Äq.	4,85E-06	8,70E-06	3,11E-05	1,26E-05
6	ADPE	kg Sb Äq.	3,59E-07	2,89E-06	8,99E-06	2,19E-06
7	ADPF	MJ	1,35E-01	1,16E+00	8,84E-01	1,56E-01

\*Passive Solartrocknung

GWP der Nachtrocknung relativ niedrig (0,0152 kg CO<sub>2</sub> Äq./kg LPM) trotz höherem Energieeinsatz (ADPF: 1,16 MJ/kg LPM).

Die Vortrocknung und Dosierung der Rohstoffe führt zu einem höheren GWP mit 0,124 kg CO<sub>2</sub> Äq. Darin sind bereits enthalten eine Gutschrift für den Strohananteil (1,1%) mit -0,014 kg CO<sub>2</sub> Äq. und die Kraftpapierverpackung (90 g) mit -0,00245 kg CO<sub>2</sub> Äq.

Die passive Solartrocknung nach dem Treibhausprinzip kommt auf ein rechnerisch negatives GWP mit -0,00178 kg CO<sub>2</sub> Äq. An diesem Beispiel wird die ökologische Relevanz des geringen Pflanzenanteils (0,5 M.-%) deutlich. Enthalten sind Gutschriften für den Pflanzenanteil in Höhe von -0,00636 kg CO<sub>2</sub> Äq. Ohne diese Gutschrift steigt der GWP Wert um 360% auf 0,004,58 kg CO<sub>2</sub> Äq. Das Beispiel verdeutlicht die ökologische Bedeutung des Pflanzenanteils in den betrachteten LPM. Deshalb wurden Anteile unter 1 M.-% in die Bilanz einbezogen. LPM nach Erdfeuchtverfahren und Nachtrocknungsverfahren enthalten keine Pflanzenanteile.

#### Bewertung der Projektergebnisse

Die normgerechte Bewertung der Umwelteffekte von Lehmbaustoffen konnte im Rahmen der Ökobilanzstudie für LPM erstmals differenziert und nachvollziehbar durchgeführt werden. Die detaillierte Betrachtung der identifizierten Verfahren zur Herstellung von LPM förderte auch Schwachstellen zu Tage. Ökologische Optimierungspotenziale für zukünftige Investitionsentscheidungen mit einem kalkulierbaren Nutzen wurden aufgezeigt, etwa im Bereich der innerbetrieblichen Transporte (z.B. Radlader, Gabel-

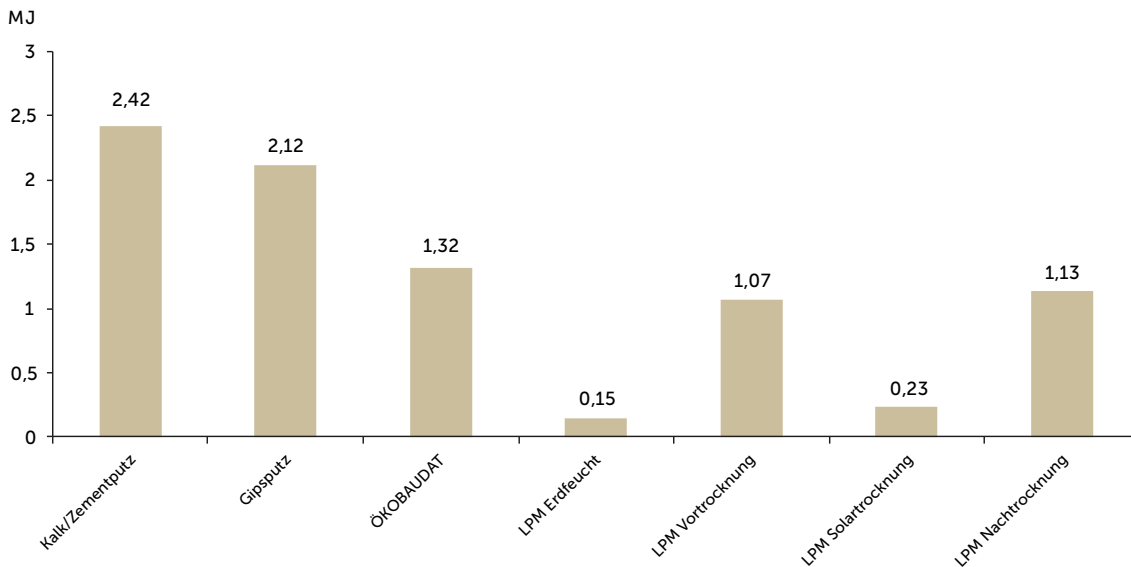
stapler). Ebenso zeigte sich die positive Umweltwirkung innovativer Trocknungsverfahren, z.B. mit passiver Solarenergienutzung.

#### Energie- und Umweltbilanz von Putzmörteln

Um die Energie- und Umweltbilanz von Lehmputzmörteln einordnen zu können, werden der Gesamtenergieeinsatz (PET) und der Treibhauseffekt (CO<sub>2</sub> Äq.) mit den entsprechenden Werten üblicher mineralischer Putzmörtel verglichen. Zusätzlich stehen den im Projekt [1] ermittelten Vordergrunddaten die in der offiziellen Datenbank des Bundesbauministeriums (ÖKOBAUDAT [6]) veröffentlichten generischen Werte gegenüber.

Der Gesamtenergieeinsatz PET (Abb. 2) bezieht sich auf die Herstellungsphase (A1 – A3) unter Einbeziehung der Verpackung. Die Abbildung zeigt die PET-Werte der vier untersuchten Verfahren: Erdfeuchtverfahren, Trockenverfahren mit Dosierung/Mischung vorgetrockneter Rohstoffe (Vortrocknung), Trockenverfahren mit passiver Solarnutzung (Treibhausverfahren) und die Nachtrocknung zuvor erdfeucht hergestellter Lehmputzmörtel (hier: mit Flüssiggas).

Im Vergleich zu den UPD von Kalk-, Zement- und Gipsputz liegt der Energiebedarf des Erdfeucht- und des Solarverfahrens um das 10-fache niedriger. LPM nach Vor- und Nachtrocknungsverfahren verbrauchen ebenfalls ca. 50% weniger Energie als andere Mörtel. Die graue Energie der getrockneten Vorprodukte und der Einsatz von Flüssiggas führen jedoch zu erhöhten Ressourcenverbräuchen im Vergleich zu den anderen beiden Verfahrenstechniken.



02 Vergleich des Gesamtenergieeinsatzes PET üblicher mineralischer mit Lehmputzmörteln

Es besteht ein deutliches Missverhältnis zwischen den offiziellen generischen Werten in der Datenbank ÖKOBAUDAT [6] und den tatsächlich erfassten, berechneten Daten der Muster UPD LPM [2]. Die ÖKOBAUDAT bewertet alle LPM unabhängig vom Herstellungsverfahren mit 1,32 MJ/kg.

Die Treibhauseffekte GWP des Erdfeuchtverfahrens und der Solartrocknung in Abb. 3 liegen bis zu zwei Zehnerpotenzen unter denen anderer Putzmörtel. Beim Erdfeuchtverfahren sind die Ursachen die Nutzung von Sekundärlehm aus der Kiesgewinnung und geringer Strombedarf, gespeist durch Ökostrom aus Wasserkraft. Bei der Solartrocknung reduzieren die passive Nutzung des Treibhauseffektes und geringe Distanzen zur Lehmgrube die GWP-Werte. Die negativen Werte ergeben sich durch Gutschriften für Stroh und Papiersäcke. Ohne diese Gutschriften liegt der GWP-Wert der Solartrocknung in der Größenordnung des Erdfeuchtverfahrens (0,003 kg CO<sub>2</sub> Äq.).

Die Vortrocknung mit 0,12 kg CO<sub>2</sub> Äq. ragt heraus. Dieser Wert basiert jedoch auf einer mangelhaften Datengrundlage aus der ÖKOBAUDAT [6] für Trockenlehm mit 0,14 kg CO<sub>2</sub> Äq./kg. Die Datengrundlage für Trockenlehm ist deshalb nur eine erste Annäherung. Weitere Recherchen bzw. Bewertungen dieses Vorproduktes sind erforderlich.

**Rohstoffverfügbarkeit**

Alle mineralischen Rohstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit als „geologisch gewachsene“ Naturstoffe generell begrenzt. Bei lokalen Erdarbeiten (z.B. Kies- und Sandgewinnung, Kalkabbau, Tiefbau) anfallender, ge-

eigneter lehmhaltiger Bodenaushub wird als Sekundärrohstoff (= Sekundärgrubenlehm) für einen überwiegenden Teil der in dieser Deklaration erfassten LPM verarbeitet.

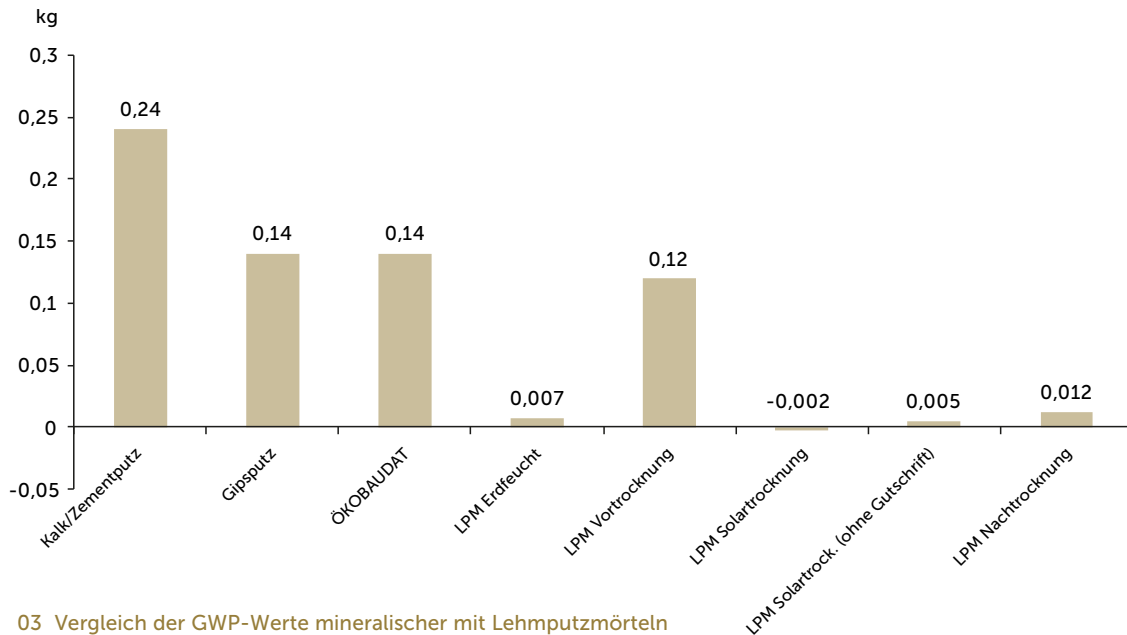
Bodenaushub bildet mit 128 Mio t/a den größten Teil (64%) der gesamten mineralischen Bauabfälle in Deutschland [1]. Die Weiterverwertung von lehmhaltigem Bodenaushub als Sekundärrohstoff für LPM und andere Lehmbaustoffe spart Deponieraum und verlängert die Verfügbarkeit von Primärrohstoffen. Aufgrund der besonderen Eigenschaften des Bindemittels Lehm ist eine Replastifizierung und Wiederverwendung der LPM jederzeit möglich. Daher besteht keine Rohstoffknappheit.

**Wiederverwendbarkeit von Lehmputzmörtel**

Das Projekt [1] hat neue Erkenntnisse zur Wiederverwendung von LPM und anderen Lehmbaustoffen erbracht. Erhärtete Lehmbaustoffe lassen sich jederzeit replastifizieren. Die Wiederverwendbarkeit erwies sich als wichtiges ökologisches Bewertungskriterium. Es geht dabei um die Verfügbarkeit des Rohstoffes Lehm und der im Lehmprodukt gebundenen Bestandteile, z.B. Sand, Leichtzuschläge, Pflanzenteile.

Im Bereich des Um- und Ausbaus von Altbauten (Eingeleistung) ist vor allem das Einsumpfen sortenrein zurückgewonnener LPM übliche Praxis [3]. Nach angemessener Ruhezeit, ggf. Sandzugabe als Magerungsmittel und Einsatz von Rührgerät ist der LPM erneut wiederverwendbar. Die durch die hydraulischen Eigenschaften der Tonminerale begründete Replastifizierbarkeit von Alt-LPM ist ein Alleinstellungsmerk-





03 Vergleich der GWP-Werte mineralischer mit Lehmputzmörteln

mal nicht stabilisierter Lehmabstoffe. Zu diesem Verfahren gibt es bislang keine Daten, weil dabei keine signifikanten Energie- und Stoffströme entstehen.

LPM nach DIN 18947 werden bei der Verarbeitung i. d. R. mit Jute-/Glasfasergewebe bewehrt. Beim Rückbau können diese Gewebe zusammen mit dem anhaftenden LPM manuell leicht vom Putzgrund abgezogen und der LPM vom Gewebe abgetrennt werden.

Zur Aufbereitungstechnik (C3) wurden zwei Szenarien als erste Annäherung entwickelt, dafür die zu erwartenden Umweltwirkungen abgeschätzt und den quantifizierten Rückgewinnungspotenzialen (D) gegenübergestellt. In der Praxis gibt es bisher keine industriellen Rückgewinnungssysteme für Lehmabstoffe. Mit zunehmender Verbreitung der Lehmabstoffe und dem absehbaren Ende der Nutzungsphase vieler Altbauten mit Lehmabteilen wird der Aspekt der Rückgewinnung zukünftig jedoch an Bedeutung gewinnen.

Das Nassverfahren zur Auswaschung der in LPM enthaltenen mineralischen Bestandteile Sand, Schluff und Ton ist mit der Kiesgewinnung vergleichbar. Der dabei anfallende Rückstand wurde bisher als „Presslehm“ [3] deponiert. Als Datengrundlage wurde die Kiesgewinnung nach ÖKOBAU-DAT [6] angenommen. Das Szenario zum Nassverfahren unterstellt, dass durchschnittlich 15% Ton- bzw. Schluffanteile und 85% Sandanteile, jedoch keine Pflanzenanteile zurückgewonnen werden. Ein Verlust von 5 M.-% wird angenommen.

Das Szenario für ein Trockenverfahren zur Rückgewinnung nimmt eine Zerkleinerung der Alt-LPM mittels Prallmühle an. Die Mühlen werden üblicherweise für das Baustoffrecycling eingesetzt, aber auch für die Zerkleinerung von festen Lehmklumpen in der Produktion von LPM. Der notwendige Energieeinsatz (kWh/kg) wurde aus Herstellerangaben ermittelt und nach deutschem Strommix 2015 (ÖKOBAU-DAT [6]) bewertet.

Tab. 6 beschreibt die Indikatoren Ressourceneinsatz (C3) und Rückgewinnung (D) für beide Verfahren. Bei einer Gegenüberstellung des Primärenergieaufwandes PET mit dem Rückgewinnungspotenzial ergibt sich für beide Verfahren ein ökologischer Gewinn in einer Größenordnung von -0,0222 MJ/kg bis -0,0145 MJ/kg als **Verwertungspotenzial** (PET Aufbereitung – Rückgewinnung). Allerdings sind die Transporte zur Aufbereitung nicht berücksichtigt, aber die Szenarien quantifizieren mögliche „ökologische Spielräume“ für die Logistik einer Aufbereitung von LPM. Transporte von der Aufbereitung zum Werkstor würden wiederum in den Modulen A1 bzw. A2 als Rohstofftransporte eines neuen Produktionszyklus Eingang finden.

Tab. 7 stellt die Indikatoren der Umweltwirkungen für beide Verfahren dar. Das Verhältnis von Aufbereitungsaufwand (C3) zum Rückgewinnungspotenzial (D) hängt ab von den gewählten Aufbereitungstechniken und den Annahmen zur Rückgewinnungsquote. Im Nassverfahren sind 5 M.-% Verluste eingerechnet und eine Separierung der Rohstoffe nach typischer

Tabelle 6 Indikatoren Ressourceneinsatz PET (C3) und Rückgewinnung (D) [1]

Nr.	Indikator (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse)	Einheit	Szenarien			
			Nassverfahren		Trockenverfahren	
			Modul C3	Modul D	Modul C3	Modul D
1	Erneuerbare PE (PERE)	MJ	1,07E-02	-4,71E-03	1,18E-02	-3,39E-03
2	Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ	0,00E+00	1,11E-08	0,00E+00	-7,84E-09
3	<b>Summe erneuerbarer PE (PERT)</b>	MJ	<b>1,07E-02</b>	<b>-4,71E-03</b>	<b>1,18E-02</b>	<b>-3,39E-03</b>
4	Nicht-erneuerbare PE als ET (PENRE)	MJ	3,82E-02	-4,64E-02	2,15E-02	-4,44E-02
5	Nicht-erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
6	<b>Summe nicht-erneuerbarer PE (PENRT)</b>	MJ	<b>3,82E-02</b>	<b>-4,64E-02</b>	<b>2,15E-02</b>	<b>-4,44E-02</b>
7	<b>PERT + PENRT = PET</b>	MJ	<b>4,89E-02</b>	<b>-5,11E-02</b>	<b>3,33E-02</b>	<b>-4,78E-02</b>

Siebanalyse, d.h. geschätzte 15 M.-% Ton- und Schluffanteile sowie 85 M.-% Sand- und Kieskörnungen. Beim *Trockenverfahren* wird der sortenrein zurückgewonnenen LPM ohne weitere Trennung bzw. Auswaschung nur zerkleinert und wiederverwertet. Die betrachteten Prallmühlen arbeiten mit durchschnittlich 0,003 MJ/kg elektrischer Energie. Die Ergebnisse dieser ersten, als Annäherung verstandenen Szenarien gaben Anlass für weitere Analysen technischer Möglichkeiten zur Aufbereitung und Aktivierung des Wiederverwertungspotenzials von LPM.

**Experimentelle Untersuchungen zur Wiederverwendbarkeit von Lehmputzmörtel**

Initiiert durch das DVL-Projekt „UPD Lehm“ [1] wurden 2018 experimentelle Untersuchungen zur Wiederverwendbarkeit von LPM im Rahmen einer Diplomarbeit im Fachbereich Bauingenieurwesen (Prof. Dr.-Ing. Klaus Pistol) an der FH Potsdam durchgeführt [13] [14].

**Zusammenfassung**

Dieser Beitrag erläutert die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Entwicklung von normkonformen Rahmenbedingungen für die Erstellung von PKR/UPD für Lehmbaustoffe im Rahmen eines 2016 – 2018 durchgeführten DBU-geförderten Projektes. Dabei hat der Dachverband Lehm e.V. (DVL) auf der Grundlage der vorliegenden DIN 18945 – 48 erstmals Produktkategorieregeln (PKR) für Lehmbaustoffe erarbeitet und damit die normativen und organisatorischen Voraussetzungen für die Erstellung von entsprechenden Umweltproduktdeklarationen (UPD) geschaffen. Für Lehmputzmörtel wurde auf der

Grundlage einer Datenerhebung bei den Produktherstellern eine UPD entsprechend DIN EN 15804 erarbeitet und veröffentlicht. Der DVL tritt dabei als Programmbetreiber auf.

Die Datenerhebung bei den Herstellern von Lehmputzmörteln ergab Aufschluss über die derzeit üblichen Produktionsverfahren „erdfeucht“ und „trocken“. Um die Energie- und Umweltbilanz von Lehmputzmörteln einordnen zu können, wurden der Gesamtenergieeinsatz (PET) und der Treibhauseffekt (CO<sub>2</sub> Äq./GWP) beider Herstellungsverfahren mit den entsprechenden Werten üblicher mineralischer Putzmörtel sowie mit den in der offiziellen Datenbank des Bundesbauministeriums (ÖKOBAUDAT) veröffentlichten generischen Werten für Lehmputzmörtel verglichen. Der Gesamtenergieeinsatz PET der untersuchten Lehmputzmörtel liegt je nach Herstellungsverfahren bis zu einer Zehnerpotenz, der Treibhauseffekt GWP bis zu zwei Zehnerpotenzen unter denen anderer mineralischer Putzmörtel.

Im abgeschlossenen Projekt wurden erstmals Szenarien „trocken“ und „nass“ für die Wiederverwendbarkeit von sortenrein zurückgewonnenem Lehmputzmörtel entwickelt. Für beide Aufbereitungsszenarien ergaben sich rechnerisch ökologische Einsparpotenziale. Die praktische Realisierbarkeit der Szenarien wurde in einer begleitenden Diplomarbeit an der FH Potsdam zumindest im Baustofflabor erfolgreich nachgewiesen. Die Fortsetzung der Arbeiten in einem Projekt „UPD Lehm.2“ [3a] wird seit April 2020 wiederum von der DBU gefördert.

Tabelle 7 Indikatoren Umweltwirkung für die Aufbereitung (C3) und Wiederverwertung (D) [1]

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

## Literatur

- [1] Dachverband Lehm e.V., Schroeder, H., Lemke, M.: *Entwicklung von Rahmenbedingungen zur Erstellung von Muster-UPD für Lehm-Baustoffe*. Kurztitel: *Lehm UPD*. Abschlussbericht über ein Projekt, gefördert unter dem Az: 32985 von der Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Weimar, Dezember 2018
- [2] Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehm-Baustoffe*
- Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (PKR LPM).2018-12
  - Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmmauermörtel (PKR LMM).2018-12
  - Grundregeln für die Produktkategorie Lehmsteine (PKR LS).2018-12
  - Grundregeln für die Produktkategorie Lehmplatten (PKR LP).2018-12
  - Allgemeine Hinweise für die Erstellung von Ökobilanzen für Produktkategorieregeln und Projektberichten (Teil 2).2018-12
  - Allgemeine Programmanleitungen (Basisdokument).2018-12
  - Muster-UPD Lehmputzmörtel. Umwelt-Produktdeklaration nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804.2018-10 Weimar: Dachverband Lehm e.V. 2018
- [3a] Dachverband Lehm e.V.: *Erarbeitung von Datengrundlagen und Muster-Umweltprodukt-deklarationen für Lehmmauermörtel, Lehmsteine und Lehmplatten unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeiten des Recyclings/Kurz: Muster-UPD Lehm.2*. Projekt, gefördert unter dem AZ 35658/01 von der Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Weimar, April 2020
- [3b] Dachverband Lehm e. V (Hrsg.): *Lehmbau Regeln. Begriffe – Baustoffe – Bauteile*. Teubner + Vieweg, Wiesbaden 2009, 3., überarb. Aufl.
- [3] Schroeder, H.: *Lehmbau – Mit Lehm ökologisch planen und bauen*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2019, 3. Aufl.
- [4] Schroeder, H.: *Mauerwerksbau mit Lehmsteinen heute – Konstruktion und Ausführung*. Mauerwerk-Kalender 2009, S. 271 – 290, Berlin: Ernst & Sohn, 2009
- [5] Bau EPD GmbH (Hrsg.): *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD GmbH für die Erstellung von EPDs*. Wien: Bau EPD GmbH, 2015. <http://www.bau-epd.at>
- [6] Bundesinstitut f. Bau-, Stadt- u. Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): *Ökobaudat – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung*. SR Zukunft Bauen – Forschung für die Praxis – Band 09, Bonn 2017
- [7] Deutsches Institut f. Bauen u. Umwelt e.V. (DIBU) (Hrsg.): *DIBU Muster-Umweltprodukt-deklaration f. Mineralische Werkmörtel/Putzmörtel nach DIN EN ISO 14025*. Duisburg, 2008
- [8] Deutsches Institut f. Bauen u. Umwelt e.V. (DIBU) (Hrsg.): *UPD nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804, Mineralische Werkmörtel: Putzmörtel/Normalputz/Edelputz; Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. (VDPM)*. Berlin, 2014
- [9] Deutsches Institut f. Bauen u. Umwelt e.V. (DIBU) (Hrsg.): *UPD nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804, GIPSPUTZ; Bundesverband der Gipsindustrie e.V.* Berlin, 2014
- [10] Building Research Establishment Ltd. BRE (Ed.): *Life Cycle Assessment (LCA) study of CLAYTEC M1 and M3 clay plasters as part of the project "Eco-innovative, Safe and Energy Efficient (ECO-SEE) wall panels and materials for a healthier indoor environment"*, 2017-01
- [11] <https://ecoinvent.org>
- [12] Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (FASBA) (Hrsg.): *Umweltproduktdeklaration UPD für Baustroh nach DIN EN ISO 14025 u. DIN EN 15804*. Wien, 2014

- [13] Sommerfeld, M.: Umweltproduktdeklaration von Lehm-  
baustoffen – Ermittlung des Rückgewinnungspotenzi-  
als. Unveröff. Diplomarbeit, FB Bauingenieurwesen FH  
Potsdam 2019
- [14] Schroeder, H.; Lemke, M.: *Ökologische Bilanzierungen  
für Lehmstoffe*. Mauerwerk Kalender 2020, S.39 –  
62, Ernst & Sohn: Berlin 2020
- DIN 18942-1:2018-12, *Lehmstoffe und Lehmbauproduk-  
te – Teil 1: Begriffe*
- DIN 18942-100:2018-12, *Lehmstoffe und Lehmbaupro-  
dukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*
- DIN 18945:2018-12, *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung  
und Kennzeichnung*
- DIN 18946:2018-12, *Lehmmauermörtel – Anforderungen,  
Prüfung und Kennzeichnung*
- DIN 18947:2018-12, *Lehmputzmörtel – Anforderungen,  
Prüfung und Kennzeichnung*
- DIN 18948:2018-12, *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung  
und Kennzeichnung*
- DIN EN 13914-2:2016-09, *Planung, Zubereitung und Aus-  
führung von Innen- und Außenputzen – Teil 2: Planung  
und wesentliche Grundsätze für Innenputz*
- DIN EN 15804:2014-07, *Nachhaltigkeit von Bauwerken –  
Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die  
Produktkategorie Bauprodukte*
- DIN EN ISO 14025:2011-10, *Umweltkennzeichnungen und  
-deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grund-  
sätze und Verfahren*
- DIN EN ISO 14040:2009-11, *Umweltmanagement – Ökobi-  
lanz – Grundsätze u. Rahmenbedingungen*
- DIN EN ISO 14044:2018-05, *Umweltmanagement – Ökobi-  
lanz – Anforderungen u. Anleitungen*
- CEN ISO/TS 14071:2016-06, *Umweltmanagement – Ökobi-  
lanz – Prozesse der Kritischen Prüfung und Kompeten-  
zen der Prüfer: Zusätzliche Anforderungen und Anlei-  
tungen zu ISO 14044:2006*

### **Kontaktangaben**

Web: [www.dachverband-lehm.de](http://www.dachverband-lehm.de)  
E-Mail: [dvl@dachverband-lehm.de](mailto:dvl@dachverband-lehm.de)  
[lemkemanfred@gmail.com](mailto:lemkemanfred@gmail.com)