

Dachverband Lehm e.V.

**Entwicklung von Rahmenbedingungen zur Erstellung von Muster UPD für
Lehmbaumstoffe
Kurztitel: Lehm UPD**

**Abschlussbericht über ein Projekt,
gefördert unter dem Az: 32985 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

**Erstellt von
Dr.-Ing. Horst Schroeder & Dipl.-Ök. Manfred Lemke**

**Weimar
Dezember 2018**

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	32985	Referat	Fördersumme	33.730 Euro
Antragstitel	Entwicklung von Rahmenbedingungen zur Erstellung von Muster UPD für Lehmbaumstoffe			
Stichworte	Lehmbaumstoffe, Produktkategorieregeln, Umweltproduktdeklaration			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
23	01.11.2016	30.09.2018	1	
Zwischenberichte	2			
Bewilligungsempfänger	Dachverband Lehm e.V. Friedrich-Naumann-Str. 16 99423 Weimar		Tel	03643 778349
			Fax	
			Projektleitung	Dr. Horst Schroeder
			Bearbeiter	Dipl.Ök. Manfred Lemke
Kooperationspartner	keine			

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Mit dem Erscheinen der DIN 18945 – 18948 für Lehmmauermörtel, Lehmputzmörtel, Lehmsteine und Lehmplatten stellen sich Lehmbaumstoffe dem Wettbewerb mit anderen industriell hergestellten mineralischen Baustoffen. Industrieverbände aus den Bereichen der mineralischen Baustoffe (Kalk, Zement, Gips, Ziegel, Beton, Mörtel) werben mit der Nachhaltigkeit ihrer Produkte, für die entsprechende Produktkategorieregeln (PKR) und Umweltproduktdeklarationen (UPD) auf der Basis der DIN EN 15804 vorgelegt werden. Für Lehmbaumstoffe existieren derartige Dokumente bei Projektbeginn nicht. Obwohl Hersteller und Verbraucher Lehmbaumstoffe häufig positiv als „ökologisch“ bewerten, kann diese Eigenschaft im Vergleich mit den genannten Bauprodukten nicht quantitativ belegt werden. Entsprechende Basisdaten fehlen oder sind bei Nachprüfung in einschlägigen Datenbanken nicht belastbar. Hersteller von Lehmbaumstoffen haben dadurch zunehmend einen Wettbewerbsnachteil. Das Projekt

soll nachvollziehbare Informationsgrundlagen über Umweltqualitäten von Lehmbaustoffen erstellen und den Herstellern mögliche Schwachstellen und ökologische Optimierungspotenziale aufzeigen.

Die Zielrichtung des Projektes besteht in der Entwicklung von Rahmenbedingungen und Musterdokumenten für die Datenerfassung und Bewertung der Nachhaltigkeit von Lehmbaustoffen. Ausgehend von einer für die Umweltbilanzierung von Baustoffen normkonformen, mehrstufigen Vorgehensweise entsteht eine auf Dauer ausgeglichene dynamische Kommunikationsstruktur durch Einrichtung eines Fachbeirates, eines Sachverständigengremiums und die Publikation der Umweltinformationen über Lehmbaustoffe. Dies schließt eine Muster-Umweltproduktdeklaration als Vorlage für weitere Deklarationen mit ein. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse, neue Verfahren und Produkte können mit Hilfe der im Projekt zu entwickelnden Instrumente und Strukturen in Zukunft systematisch und nachvollziehbar bewertet werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Am Anfang des Projektes stand eine Bestandsaufnahme der Daten zu Umweltqualitäten von Lehmbaustoffen und deren Komponenten. Datenlücken und nicht nachvollziehbare Angaben in einschlägigen Datenbanken konnten aufgedeckt werden. Es wurden Nachhaltigkeitskriterien für Lehmbaustoffe als Grundlage der Produktkategorie-regeln (PKR) und Vorgabe für die Muster Umweltproduktdeklaration (Muster UPD) entwickelt. Im zweiten Arbeitsschritt entstanden PKR für vier Lehmbaustoffe: Lehmputzmörtel, Lehmputzmörtel, Lehmsteine und Lehmplatten. Die PKR sind entsprechend der Normenreihe EN DIN 14025, EN DIN 14040, EN DIN 14044 und EN DIN 15804 entwickelt worden und mit den vier Lehm-Baustoffnormen DIN 18945-18948 in Einklang gebracht worden. Parallel dazu hat der Dachverband Lehm e.V. (DVL) die organisatorischen Rahmenbedingungen für einen auf Dauer angelegten Kommunikationsprozess zu Fragen der Ökobilanzierung von Lehmbaustoffen geschaffen. Ein Fachbeirat mit Experten aus verschiedenen Bereichen (u.a. Architektur, Bauforschung, Hochschulen, Ingenieurwesen, Hersteller) wurde gebildet. Im Projektverlauf richtete der DVL ein unabhängiges Sachverständigengremium nach EN DIN 14025 zur Prüfung und Weiterentwicklung des Regelwerkes für UPD von Lehmbaustoffen ein. Mehrere Entwürfe der vier PKR wurden dem Fachbeirat zu Kommentierung vorgelegt und schließlich der interessierten Öffentlichkeit zur Diskussion bereitgestellt. Nach diesem normgerechten Durchlauf verabschiedete das Prüfungsgremium die endgültigen PKR-Versionen der vier Lehmbaustoffe im März 2018.

Auf Basis des entwickelten Regelwerkes konnte erstmals eine Muster-UPD für Lehmbaustoffe erstellt werden. Der Fachbeirat empfahl, die Lehmputzmörtel exemplarisch zu analysieren, weil es eine ausreichende Zahl an Herstellern gibt und Putzmörtel ein Hauptumsatzträger im Lehm-bau sind. Die Ökobilanzierung wurde nach dem zuvor entwickelten Regelwerk unter Berücksichtigung der allgemeinen Hinweise zur Ökobilanzierung von Lehmbaustoffen und der DIN EN 15804 durchgeführt. Die Muster UPD für Lehmputzmörtel basiert auf Herstellerdaten zu allen relevanten Energie- und Stoffströmen, ergänzt durch generische Daten aus einschlägigen Datenbanken (ÖKOBAUDAT) und anderen Baustoff UPD (z. B. UPD Baustroh). Die Ergebnisse wurden den beteiligten Herstellern, dem Fachbeirat und dem Prüfungsgremium vorgelegt. Nach eingehender Verifizierung wurde die Muster UPD Lehmputzmörtel als erste Deklaration für Lehmbaustoffe nach dem Regelwerk des DVL im September 2018 fertiggestellt.

Im Projekt wurde in mehreren Szenarien herausgearbeitet, dass die Wiederverwendbarkeit alter Lehmbaustoffe in gleicher Funktion ein enormes ökologisches Potenzial birgt. Die Wiederverwendung als neue Lehmbaustoffe und die Rückgewinnbarkeit mineralischer Rohstoffe als Bestandteil alter Lehmbaustoffe machen diesen Baustoff zu einer „schlummernden“ Rohstoffreserve. Wie aber die physikalisch unstrittigen Rückgewinnungseigenschaften (nicht chemisch abbindend, wasserlöslich und jederzeit replastifizierbar nach Aushärtung) effizient aktiviert werden können, bedarf weiterer vertiefender Untersuchungen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Projektergebnisse lassen sich entsprechend der Zielsetzung zusammenfassen:

- Die Analyse vorhandener Daten über Lehm und Lehmbaustoffe in Ökodatenbanken ergab erhebliche Mängel und Lücken.
- Mit der Erhebung von Vordergrunddaten bei Herstellern konnten diese Defizite teilweise abgebaut werden.
- Produktkategorie-regeln für Lehmputzmörtel, Lehmputzmörtel, Lehmsteine und Lehmplatten nach EN DIN 14025 und EN DIN 14040 wurden in einem öffentlichen Fachdiskurs entwickelt und veröffentlicht.
- Die organisatorischen Strukturen für die Verifizierung zukünftiger UPD nach dem im Projekt erstellten Regelwerk konnten beim Dachverband Lehm eingerichtet werden.
- Die erste Muster-Umweltproduktdeklaration (UPD) für Lehmputzmörtel (LPM) nach EN DIN 15804 enthält ei-

nen umfangreiche Ökobilanzstudie der bekannten Herstellungsverfahren und erstmals Szenarien zur Wiederverwendung alter Lehmputzmörtel.

Im Vergleich zu den UPD anderer Putzmörtel liegt der Energiebedarf des untersuchten Erdfeuchtverfahrens und des Solarverfahrens (0,15 MJ/kg bzw. 0,23 MJ/kg) um das 10-fache niedriger. LPM nach Vortrocknungs- und Nachrocknungsverfahren verbrauchen rund 50% weniger Energie als andere Putzmörtel. Die graue Energie der getrockneten Vorprodukte (Vortrocknungsverfahren) und der Einsatz von Flüssiggas (Nachrocknungsverfahren) führen zu den erhöhten Ressourcenverbräuchen gegenüber den anderen beiden Verfahrenstechniken für LPM. Die Optimierungspotenziale hinsichtlich Rohstoffauswahl, Gasart und Brennertechnik wurden den beteiligten Herstellern erläutert. Das Erdfeuchtverfahren, bei dem ungetrocknete Rohstoffe energieeffizient gemischt werden, ist die dominierende Verfahrenstechnik.

Es gibt ein eklatantes Missverhältnis zwischen den offiziellen generischen Werten in der ÖKOBAUDAT des Bundesbauministeriums und den tatsächlich erfassten, berechneten Daten der Muster UPD. Die ÖKOBAUDAT bewertet alle LPM unabhängig von der Verfahrenstechnik pauschal mit 1,32 MJ/kg. Die Quellen der ÖKOBAUDAT aus 2008 erwiesen sich als nicht mehr nachvollziehbar.

Die Treibhauseffekte nach CO₂-Äq.-Kennwert des Erdfeuchtverfahrens und der Solartrocknung liegen mit 0,007 kg/CO₂-Äq. bzw. 0,005kg/ CO₂-Äq. um mehrere Faktoren unter denen anderer Putzmörtel (1,4-2,4kg/CO₂-Äq.). 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 CO₂-Äq.-Kennwerte.

Mit zunehmender Verbreitung der Lehmbaustoffe und dem absehbaren Ende der Nutzungsphase vieler Altbauten mit Lehmbauteilen gewinnt der Aspekt der Rückgewinnung zukünftig an Bedeutung. Zur Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkungen wurden zwei Szenarien unterstellt. Das Nassverfahren zur Auswaschung der in LPM enthaltenen mineralischen Bestandteile Sand, Schluff und Ton ist mit der Kiesgewinnung vergleichbar. Der dabei anfallende Rückstand bisher deponiert und als „Presslehm“ bezeichnet. Das Szenario für ein Trockenverfahren zur Rückgewinnung nimmt eine Zerkleinerung der Alt-LPM mittels Prallmühle o.ä. 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 bewertet. Bei einer Gegenüberstellung des Primärenergieaufwandes mit dem Rückgewinnungspotenzial ergab sich für beide Verfahren ein rechnerischer ökologischer Gewinn in einer Größenordnung von -2,22E-02 MJ/kg bis -1,45E-02 MJ/kg als Verwertungspotenzial. Allerdings sind die Transporte zur Aufbereitung nicht berücksichtigt,

Die Frage der Rückgewinnbarkeit alter Lehmbaustoffe und deren Komponenten (z.B. Sand) wird in Folge des Projektes im Rahmen einer Diplomarbeit zur Baustoffkunde an der FH Potsdam näher untersucht.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Der Dachverband Lehm richtete im Projekt Kommunikationsstrukturen ein, die auch nach Projektende dauerhaft zu Ökobilanzen von Lehmbaustoffen informieren und zur Diskussion einladen sollen. Das gesamte, im Projekt entwickelte Regelwerk und die erste Muster-UPD stehen der interessierten Öffentlichkeit auf der Homepage des DVL zur Verfügung (www.dachverband-lehm.de/wissen/lehm-upd-umweltproduktdeklarationen). Die ökologische Bewertung von Lehmbaustoffen in UPD ist zusätzlicher Inhalt des HWK/DVL-Ausbildungsprogramms „Fachkraft Lehmbau“ geworden (Modul 7 „Nachhaltigkeit und Denkmalschutz“). Während der Projektlaufzeit konnten Dr. Horst Schroeder und Manfred Lemke auf zwei DVL-Mitgliederversammlungen den Stand der Entwicklung und die Ergebnisse erläutern. Die Mitgliederinformation diente auch dazu, die anwesenden Hersteller für die Erstellung weiterer UPD für Lehmbaustoffe zu motivieren. Nach den Regeln zur Aufnahme von Daten in die ÖKOBAUDAT ist mit der im Projekt entstandenen und verifizierten Muster-UPD die Möglichkeit gegeben hier Einfluss zu nehmen. Die Intervention beim Betreiber der ÖKOBAUDAT lässt eine breiter angelegte Diskussion in der Fachöffentlichkeit erwarten.

Die Projektergebnisse und alle nachfolgenden Anpassungen, Änderungen und UPD für weitere Lehmbaustoffe lassen sich zukünftig über das Portal auf der Internetseite des DVL verbreiten.

Fazit

Die normgerechte Bewertung der Umwelteffekte von Lehmbaustoffen nach dem entwickelten Regelwerk konnte modellhaft im Rahmen der Ökobilanzstudie für LPM erstmals differenziert und nachvollziehbar durchgeführt werden. Die detaillierte Betrachtung der bekannten Verfahren zur Herstellung von LPM förderte auch Schwachstellen zu Tage. Ökologische Optimierungspotenziale wurden aufgezeigt, etwa im Bereich der Trocknungstechnik und innerbetrieblichen Transporte (z.B. Radlader, Gabelstapler). Daraufhin haben beteiligte Hersteller innerbetriebliche

Fahrzeuge auf Elektroantrieb mit Ökostrom umgestellt. Ebenso zeigte sich die positive Umweltwirkung innovativer Trocknungsverfahren, z.B. mit passiver Solarnutzung. Das sind ökologische Potenziale, die erstmals mit Vordergrunddaten quantifiziert werden konnten und für zukünftige Investitionsentscheidungen einen kalkulierbaren Nutzen beisteuern. Das Projekt hat zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Lehmbaustoffen beigetragen. Mit den geschaffenen Strukturen und Regelwerken können Hersteller von Lehmbaustoffen zukünftig die Umweltwirkungen der Energie- und Stoffströme in einer mit anderen Baustoffen vergleichbaren Umweltbilanz nachweisen.

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung.....	2
3. Hauptteil	2
3.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte	2
3.2 Diskussion der Ergebnisse	4
3.2.1 Organisations- und Kommunikationsstrukturen.....	4
3.2.2 Normgerechtes Regelwerk für Lehm-UPD.....	6
3.2.3 Erstellen einer ersten Muster UPD.....	7
3.2.3.1 Hintergrunddaten.....	8
3.2.3.2 Verfahrenstechniken	9
3.2.3.3 Lebenszyklusphasen	12
3.2.3.4 Ressourceneinsatz	13
3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Projektergebnisse	14
3.3.1 Energie- und Umweltbilanz von Putzmörteln –ein Vergleich	15
3.3.2 Bewertung der Rohstoffverfügbarkeit	16
3.3.3 Wiederverwendbarkeit von Lehmputzmörtel	17
4 Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse	19
5 Fazit	20
Literatur- und Normenverzeichnis.....	20

Verzeichnis von Abbildungen, Bilder und Tabellen

Bild 1 Organisationsstruktur des Programmbetriebs für UPD.....	5
Bild 2 Deckblatt UPD Fragebogen.....	8
Bild 3 Produktionsschema LPM nach Erdfeuchtverfahren.....	9
Bild 4 Herstellung von LPM mit dem Nachrocknungsverfahren.....	10
Bild 5 Herstellung von LPM unter Verwendung vorgetrockneter Rohstoffe..... (Vortrocknungsverfahren)	11
Bild 6 Passive Solartrocknung von LPM (Treibhausverfahren).....	11
Bild 7 Gebinde für Lehmputzmörtel.....	14
Bild 8 Vergleich des Gesamtenergieeinsatzes PET von Putzmörteln.....	15
Bild 9 Global Warming Potential (GWP) von Putzmörteln.....	16
Tabelle 1: Übersicht Datengrundlagen.....	8
Tabelle 2: Lebenszyklusphasen und Module nach DIN EN 15804.....	12
Tabelle 3: Indikatoren Ressourceneinsatz für die Herstellung von LPM (A1 –A3) nach Verfahrensarten.....	13
Tabelle 4: Indikatoren Umweltwirkungen bei der Herstellung von LPM (A1-A3) nach Verfahrensarten (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse).....	14
Tabelle 5: Indikatoren Verwertungspotenzial u. sonstige Umweltinfos.....	18
Tabelle 6: Indikatoren Umweltwirkung für die Aufbereitung und Wiederverwertung.....	18

Verzeichnis von Abkürzungen

DVL - Dachverband Lehm e.V.

PKR - Produktkategorieregeln

UPD - Umweltproduktdeklaration(en)

LS – Lehmsteine

LMM - Lehmmauermörtel

LPM – Lehmputzmörtel

LP – Lehmplatten

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V.

ÖKOBAUDAT - Informationsportal Nachhaltiges Bauen

BBR - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (zuständig für ÖKOBAUDAT)

1. Zusammenfassung

Im Projekt konnten Organisations- und Kommunikationsstrukturen nach europäischen Normen zur Ökobilanzierung von Lehmstoffen aufgebaut werden. Alle Strukturen sind auf Dauer angelegt, mit einem ständigen Fachbeirat beim DVL, einem unabhängigen Sachverständigenrat und einem Programmbetrieb für Umweltproduktdeklarationen von Lehmstoffen.

Unter diesen Rahmenbedingungen und mit Einbeziehung externer interessierter Kreise entwickelte der DVL das Regelwerk für UPD von Lehmstoffen. Es entstanden vier normkonforme Produktkategorieregeln (PKR) für Lehmsteine (LS), Lehmputzmörtel (LMM), Lehmputzmörtel (LPM) und Lehmplatten (LP). Allgemeine Hinweise zur Erstellung von Ökobilanzen von Lehmstoffen enthalten weitere Regeln zur Quantifizierung von UPD. Auf Basis dieser von einem im Projekt initiierten Sachverständigenrat geprüften Regeln wurde nach Abstimmung mit dem Fachbeirat eine Muster-UPD für LPM erstellt. Die Datengrundlagen lieferten mehrere Hersteller nach einem im Projekt entwickelten Fragenkatalog zu tatsächlichen Energie- und Stoffströmen in ihren Betrieben.

Die beispielhafte Umsetzung dieser ersten UPD für Lehmstoffe überhaupt hat zusätzliche Erkenntnisse ergeben. Es stellte sich heraus, dass die generischen Daten über Lehmstoffe in der wichtigen Datenbank des Bundesbauministeriums ÖKOBAUDAT auf nicht nachvollziehbaren Quellen basieren, z. B. die Homepage eines Berliner Handwerksbetriebes aus dem Jahre 2008. Die nun vorgelegte, auf Basis von Herstellerangaben berechnete Ökobilanzstudie zur Erstellung der Muster UPD weist signifikant niedrigere Werte für den Energie- bzw. Stoffeinsatz und die Umweltwirkungen aus (z. B. Treibhauseffekt) als in den einschlägigen Datenbanken. Das Projektergebnis gibt Anlass dazu, diese fehlerhaften Angaben zu hinterfragen und zu ändern. Damit wird die ökologische Wettbewerbsfähigkeit der Lehmstoffe gegenüber anderen vergleichbaren Baustoffen wieder hergestellt bzw. Verzerrungen korrigiert.

Schon zu Beginn des Projektes kristallisierte sich ein wichtiger Zusammenhang zwischen Baustoffqualitäten und Entsorgung als Schlüssel zur Nachhaltigkeit der Lehmstoffe heraus. Die Definition der Inhaltstoffe und –qualitäten unter dem Aspekt der Wiederverwendbarkeit hat sich als primärer Nachhaltigkeitsindikator herausgestellt. Diese Erkenntnis führte bereits in dieser frühen Projektphase zu konkreten Anpassungen: Zusatzstoffe, die eine Wiederverwendung bzw. Entsorgung von Lehmstoffen verhindern oder erschweren, wurden im Rahmen der Überarbeitung der DIN 18945 – 47 für Lehmsteine und Lehmputzmörtel bzw. der neuen DIN 18948 für Lehmplatten (2018-12) ausgeschlossen.

Im Rahmen der Muster UPD LPM wurden folgerichtig erstmals mehrere Szenarien zur Wiederverwendung sortenrein zurückgewonnener Lehmstoffe quantifiziert. Diese erste Annäherung bedarf weiterer Untersuchungen. Mit Unterstützung des im Rahmen des Projektes eingerichteten Sachverständigenrats wurde eine Diplomarbeit zu diesem Thema vergeben (Prof. Dr. Klaus Pistol, FH Potsdam, Institut für Baustoffkunde).

Die Ergebnisse des Projektes sind als Ausbildungsinhalt im HWK/DVL-Weiterbildungskurs „Fachkraft Lehmputz“ im Lehrmodul 7 „Nachhaltigkeit und Denkmalschutz“ verankert. Der zukünftige Diskurs in der Fachöffentlichkeit und neue Erkenntnisse zur Umweltwirkung von Lehmstoffen können auf der Internetseite des DVL www.dachverband-lehm/Wissen/LehmUPD nachvollzogen werden. Bei Projektabschluss sind folgende Ergebnisse veröffentlicht:

- PKR für vier Lehmstoffe (LS, LMM, LPM, LP)
- Allgemeine Hinweise zur Ökobilanzierung von Lehmstoffen
- Programmanleitung des Programmbetreibers DVL
- Die Muster UPD LPM folgt nach Überarbeitung des Layouts und Unterzeichnung durch das Prüfungsgremium.

Dieses Portal auf der Internetseite des DVL publiziert zukünftige UPD der Hersteller und kommuniziert neue Erkenntnisse zur Ökobilanzierung von Lehmstoffen.

2. Einleitung

Das Projekt „Lehm UPD“ steht im Zusammenhang mit vorangegangenen und laufenden Maßnahmen des DVL zur Standardisierung von Lehmbaustoffen und deren Anwendung. Die Maßnahmen bzw. Projekte besitzen Modellcharakter für den Bereich des Lehmbaus, beginnend mit den von der DBU geförderten Lehmbau-Regeln, über die DIN 18945 – 48 für LS, LMM, LPM und LP und den in diesem Projekt entwickelten Grundlagen zur Erstellung von UPD für alle genormten Lehmbaustoffe entsprechend der relevanten Normen (DIN EN 14025, 14040, 14044 bzw. 15804). Mehrere Zielsetzungen sollten in diesem Projekt umgesetzt werden: In einem normkonformen, mehrstufigen Diskurs schafft der DVL die Rahmenbedingungen, Instrumente und Organisationsstrukturen für Bewertung der Nachhaltigkeit von Lehmbaustoffen.

Die Dauerhaftigkeit des komplexen Prozesses wird durch die Einrichtung eines Fachbeirates, eines Sachverständigen-Gremiums und regelmäßige Publikation über Umweltinformationen von Lehmbaustoffen in Form von UPD gewährleistet. Alle für diesen Prozess notwendigen Inhalte und Strukturen werden gemäß DIN EN ISO 14025 aufgebaut.

Diese Organisations- und Kommunikationsstrukturen bilden die normativen Voraussetzungen für die Verabschiedung von vier Produktkategorie-Regeln (PKR). Die PKR betreffen vier Produktkategorien: LS, LMM, LPM und LP. Damit umfassen die PKR alle relevanten, industriell gefertigten und genormten Lehmprodukte am Markt. Es entstehen gesicherte, nachvollziehbare, mit anderen Baustoffen vergleichbare Umweltinformationen nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN 15804.

Im Rahmen der Erstellung einer Muster-UPD werden die methodischen Grundlagen für die Ökobilanzierung entwickelt, quantifiziert und bewertet. Die entwickelte Muster-UPD bietet den Herstellern von Lehmbaustoffen die Möglichkeit einer ökologischen Evaluierung der Energie- und Stoffströme sowie Handlungsempfehlungen für ökologische Optimierungspotenziale. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Wiederverwendung sortenrein zurückgewonnener Lehmbaustoffe. Das Alleinstellungsmerkmal aller nicht chemisch stabilisierten Lehmbaustoffe ist ihre Replastifizierbarkeit durch Wässerung. Daher wurden die Rückgewinnungspotenziale erstmals näher analysiert und in einem Szenario quantifiziert.

Parallel zu den strukturellen und inhaltlichen Entwicklungen sorgt der DVL für eine dauerhafte Einbindung der Ergebnisse des UPD-Kommunikationsprozesses in bestehende Informations- und Qualifikationsstrukturen des DVL.

3. Hauptteil

3.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte

Arbeitspaket 1: Datengrundlagen

Ausgangspunkt war die Analyse der allgemeinen Grundlagen von UPD für Baustoffe. Einschlägige Datenbanken, wie ÖKOBAUDAT, ecoinvent und GABI wurden hinsichtlich der Angaben zu Lehmbaustoffen und deren Grundstoffen sowie Zusatzstoffen gesichtet. Neben generischen Daten konnten auch Daten von Rohstofflieferanten herangezogen werden. Ebenso wurden in Arbeitsschritt 1.2 UPD anderer vergleichbarer Baustoffe des Instituts für Bauen und Umwelt (IBU) in Struktur und Inhalt verglichen, um daraus Erkenntnisse für den systematischen Aufbau vom UPD für Lehmbaustoffe abzuleiten.

Die Natureplus-Richtlinien für Lehmbaustoffe RL0803, RL1006 und RL5003 trugen zur Definition von Nachhaltigkeitskriterien für Lehmbaustoffe bei (Arbeitsschritt 1.3).

Das Ergebnis war eine Datensammlung zur Vorbereitung der PKR und Muster-UPD.

Bei der Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren (Arbeitsschritt 1.3) kristallisierte sich der Zusammenhang zwischen Baustoffqualitäten und Entsorgung (End-of-life Kriterium), einschließlich Einnormung in Abfallklassen als Schlüssel zur Nachhaltigkeit der Lehmbaustoffe heraus. Die Definition der Inhaltstoffe und -qualitäten unter dem Aspekt der Nachnutzung hat sich als primärer Nachhaltig-

keitsindikator herausgestellt. Diese Erkenntnis führte bereits in dieser Projektphase zu entsprechenden Anpassungen des DIN-Entwurfs für Lehmplatten.

Arbeitspaket 2: Produktkategorieregeln

Die Entwürfe der vier Produktkategorieregeln (PKR) für LS, LMM, LPM und LP sowie allgemeine Hinweise zur Ökobilanzierung von Lehmstoffen entstanden im Arbeitsschritt 2.1. Das erforderte eine umfangreiche und zeitlich aufwändige Zusammenführung aller normativen Anforderungen aus DIN EN 14025, DIN EN 14040, DIN EN 15804 und spezifische Anpassungen an die vier Baustoffnormen für Lehmstoffe DIN 18945 – 18948. Nachträglich musste noch die übergeordnete neue DIN 18942-1 für alle Begriffsdefinitionen für Lehmstoffe zwecks Abgleich hinzugezogen werden.

Im Arbeitsschritt 2.2 richtete der DVL einen ständigen Fachbeirat zur Überprüfung, Verifizierung bzw. Anpassung der UPD Regeln für alle vier Produktkategorien ein. Teilnehmer des ersten Treffens des Beirates im Juni 2017 in Weimar waren Hersteller, Hochschuldozenten, Architekten und Ökobilanzierer. Alle Beiräte zeichnen sich durch ausgewiesene Fachkompetenzen im Lehm aus. Ebenso wurde ein Mitarbeiter der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) einbezogen. Dieser neu gebildete Fachbeirat beriet über die vorgelegten PKR. Der Diskussionsprozess unter Einbeziehung weiterer interessierter Kreise wurde vom Vorstand und Sekretariat des DVL moderiert (Arbeitsschritt 2.3).

Die schriftlichen Änderungsvorschläge und Anregungen aus dem Fachbeirat zu Begriffsdefinitionen, Systemgrenzen und Baustoffqualitäten erforderten eine Überarbeitung der ersten Entwürfe der vier PKR. Diese überarbeitete Version wurde ab 15.08.2017 auf der Internetseite des DVL der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht (Arbeitsschritt 2.4). Bis 16.09.2017 hatten interessierte Kreise die Möglichkeit zur Kommentierung der PKR-Entwürfe.

Nach Auswertung der Rückmeldungen fand eine Ergänzung der zuvor im Fachbeirat verabschiedeten Version statt. Die daraus resultierenden dritten Versionen aller vier PKR wurden nochmals dem Fachbeirat vorgestellt. Nach Abstimmung fand die Endredaktion statt (Arbeitsschritt 2.5).

Arbeitspaket 3: Umweltproduktdeklaration

Nach dem Entwurf, der öffentlichen Kommentierung und der Endredaktion des Regelwerkes für Umweltproduktdeklarationen (UPD) für vier Lehmstoffkategorien erfolgte die Bildung und Einberufung eines Sachverständigenrates (Arbeitsschritt 3.1). Der Begriff Sachverständigenrat findet sich nicht wieder in den Definitionen der relevanten DIN EN 14025. Die Bezeichnung *Sachverständigenrat* wurde entsprechend DIN EN 14025 geändert in *Prüfgremium*.

Das Prüfgremium ist unabhängig vom DVL. Es entscheidet über die PKR, prüft die Konformität von UPD mit dem Regelwerk, sorgt für die Weiterentwicklung des gesamten Regelwerkes und akkreditiert Bilanzierer und Verifizierer für Lehm UPD. Die ersten, in dieses Prüfgremium berufenen Mitglieder sind: Dipl.-Ing. Andrea Klinge, Senior Architektin bei ZRS Architekten, Berlin; Dipl.-Ök. Manfred Lemke, Bilanzierer und Unternehmensberater, Norden; Prof. Dr. Klaus Pistol, FH Potsdam (vormals BAM); Prof. Jens-Uwe Schulz, FH Detmold; Dr.-Ing. Horst Schroeder, Fachbuchautor, Weimar. Dr. Horst Schroeder wurde zum Vorsitzenden gewählt, Manfred Lemke zu seinem Stellvertreter. Über eine Erweiterung entscheidet das Gremium in eigener Verantwortung.

Das Prüfgremium traf sich am 22.02.2018 zur konstituierenden Sitzung in Weimar. Eine Geschäftsordnung wurde entworfen und später verabschiedet. Die dritte grundlegend überarbeitete Version der PKR und der allgemeinen Hinweise zur Ökobilanzierung (Arbeitsschritt 2.5) lag dem Prüfgremium zur endgültigen Verabschiedung vor. Nach ausführlicher Diskussion fanden weitere Änderungen und Anregungen Eingang in eine vierte Version der PKR und der allgemeinen Hinweise zur Ökobilanzierung von Lehmstoffen. Im März 2018 traten die PKR und die allgemeinen Hinweise zur Ökobilanzierung nach Abstimmung im Prüfgremium in Kraft. Gleichzeitig verabschiedete das Prüfgremium nach Vorlage durch den Programmbetreiber DVL die allgemeine Programmanleitung, die es allen Herstellern ermöglicht, nach dem darin definierten Verfahren beim DVL die Umweltbilanz ihrer Lehmstoffe zu deklarieren.

Die Arbeitsschritte 3.2 bis 3.4 nahmen viel mehr Zeit in Anspruch, als bei Projektbeginn abschätzbar war. Eine Projektverlängerung bis 30.09.2018 wurde bewilligt.

Der Fachbeirat empfahl eine Muster UPD für die umsatzstärkste Produktkategorie zu erstellen – für Lehmputzmörtel (LPM). Zwanzig Hersteller aus dem Verband erhielten den in Arbeitsschritt 3.2 entwickelten Fragebogen zur Erfassung der Energie- und Stoffströme. Vordergrunddaten zu allen relevanten Verfahrenstechniken für Lehmputzmörtel konnten somit erstmals erfasst werden.

Eine begleitende kritische Prüfung aus dem Kreis des Prüfungsausschusses und Fachbeirates zur Methodik, den qualitativen Aussagen, Datengrundlagen, zur Berechnung der Input- und Outputfaktoren und ihrer Darstellung führten zwischen April und September 2018 zu über 15 Versionen der Muster UPD. Die darin enthaltenen Szenarien zur Wiederverwendbarkeit der LPM haben sich aus Erkenntnissen der Arbeitspakete 1 und 2 ergeben und zum Mehraufwand beigetragen.

Die Muster UPD ist den beteiligten Herstellern zur Verfügung gestellt worden. Am 22.09.2018 konnte dem Prüfungsausschuss die letzte Version der Muster UPD für LPM vorgelegt werden (Arbeitsschritt 3.4). Das Gremium empfahl eine externe Verifizierung dieser Version durch einen oder mehrere Prüfer. Nach Verifizierung wird die Muster UPD auf der Internetseite des DVL veröffentlicht.

Arbeitspaket 4: Kommunikation

Die Projektergebnisse konnten auf verschiedenen Veranstaltungen vorgestellt werden (Arbeitsschritt 4.1), u.a. beim Europäischen Lehmbautag in Ganzlin (Mecklenburg-Vorpommern) im Juli 2017, der Festveranstaltung 25 Jahre DVL am 28.10.17 in Dresden und bei internationalen Lehmbau-Veranstaltungen in den USA und Indien. Die dafür erstellten Präsentationen sind für die weitere Verbreitung der Ergebnisse verwendbar.

Die Arbeitsschritte 4.2 und 4.3 ließen sich sinnvoll zusammenfassen und als Bestandteil des Curriculums in den HWK/DVL-Weiterbildungskurs „Fachkraft Lehmbau“ integrieren. Im Internet (Arbeitsschritt 4.4) sind das gesamte Regelwerk und der Programmablauf veröffentlicht. Im Verlauf richtete der Webmanager des DVL das Lehm UPD Portal ein, über das aktuelle und zukünftige Ergebnisse zum Regelwerk und Hintergrundinformationen dauerhaft und regelmäßig Verbreitung finden.

3.2 Diskussion der Ergebnisse

Mit Projektabschluss konnten drei wesentliche Zielsetzungen realisiert werden:

- Einrichtung dauerhafter Kommunikations- und Organisationsstrukturen als Rahmenbedingungen für zukünftige UPD von Lehmstoffen,
- Entwicklung und Abstimmung eines normgerechten Regelwerkes für UPD von vier Produktkategorien (PKR) von Lehmstoffen: LS, LMM, LPM sowie LP,
- Erstellung einer ersten Muster UPD am Beispiel von LPM.

3.2.1 Organisations- und Kommunikationsstrukturen

Die im Projekt aufgebaute Organisationsstruktur beim Dachverband Lehm e.V. (DVL) orientiert sich in Form und Aufgabenstellung an den Vorgaben der DIN EN 14025. Die Organisationsstruktur bildet den Rahmen für Kommunikationswege im Sinne eines fachlichen Diskurses zu folgenden Themen:

- Überprüfung und Anpassung der Produktkategorieregeln (PKR),
- Anpassung der Bilanzierungsregeln an neue Erkenntnisse und Normänderungen,
- Modifikation des Programmablaufs beim DVL,
- Vergleichende Analyse von UPD für Baustoffe und Vorprodukte,
- Verbreitung der Ergebnisse zu UPD von Lehmstoffen durch Publikationen, Vorträge und Ausbildungsinhalte.

Innerhalb dieser Struktur mit den verschiedenen Gremien soll sich ein dynamischer Diskurs entwickeln als Voraussetzung für einen auf Dauer angelegten Programmbetrieb für UPD von Lehmstoffen beim DVL.

Organisationsstruktur des Programmbetriebes für UPD

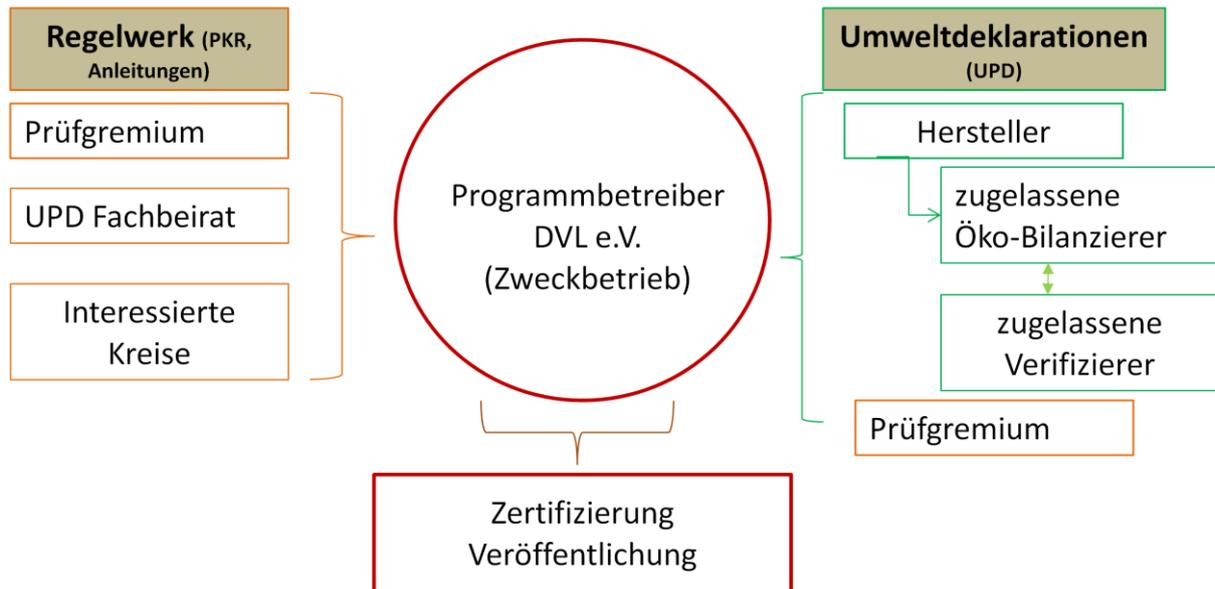


Bild 1: Organisationsstruktur

Die schematische Darstellung der Organisationsstruktur in *Bild 1* beschreibt das Zusammenwirken der Akteure innerhalb des Programmbetriebes beim DVL. Die Akteure sind:

- Programmbetreiber
- Prüfgremium
- UPD Fachbeirat mit angegliederten interessierten Kreisen
- Hersteller
- Bilanzierer und Verifizierer.

Der DVL als *Programmbetreiber* leitet und verwaltet das UPD-Programm. Dies geschieht in Zukunft als Zweckbetrieb im Rahmen der Satzung (Gemeinnützigkeit). Die im Projekt entwickelten und diskutierten allgemeinen Programmanleitungen richten sich an Hersteller bzw. deren Bilanzierer. Sie definieren formale Regeln und Inhalte von UPD, die beim Programmbetreiber deklariert werden sollen. Der Programmbetreiber vergibt eine Deklarationsnummer mit zeitlicher Gültigkeit für 5 Jahre. Deklarationsinhaber ist der jeweilige Hersteller oder, im Falle der Muster UPD, der DVL.

Das *Prüfgremium* ist ein Sachverständigenrat, der über die PKR und die Bilanzierungsregeln letztlich entscheidet. Das Prüfgremium handelt unabhängig vom Programmbetreiber. Die Erstberufung der Mitglieder erfolgte durch den DVL, über zukünftige personelle Erweiterungen entscheidet das Gremium eigenständig. Das Gremium hat sich eine Geschäftsordnung gegeben. Eingereichte UPD werden vom Prüfgremium auf Konformität mit dem bestehenden Regelwerk geprüft. Das Prüfgremium bestellt Verifizierer zur kritischen Prüfung von UPD. Das Prüfgremium sorgt für einen Diskurs zur Aktualisierung bzw. Überarbeitung der PKR und Bilanzierungsregeln unter Einbindung des Fachbeirates und interessierter Kreise. Das Prüfgremium bestätigt die eingereichten und verifizierten UPD für Lehmbaumstoffe.

Der DVL hat einen *UPD Fachbeirat* gebildet. Er fungiert als Diskussionsforum zur Überarbeitung und Aktualisierung des gesamten UPD Regelwerkes beim Programmbetreiber. Dieser organisatorisch verankerte Kommunikationsprozess erfolgt in enger Abstimmung mit dem Prüfgremium. Der UPD Fachbeirat umfasst Hersteller, Planer, Hochschullehrer, Forschungseinrichtungen, Bilanzierer und

andere interessierte Kreise. Der Fachbeirat tagt auf Einladung des Programmbetreibers oder des Prüfungsgremiums.

Die *Hersteller* von Lehmbaustoffen erstellen UPD für ihre Produkte intern oder extern durch beim Programmbetreiber registrierte *Ökobilanzierer*. Die UPD werden abschließend vom Prüfungsgremium oder einem von diesem bestellten unabhängigen *Verifizierer* geprüft und vom Programmbetreiber veröffentlicht. *Bilanzierer* und *Verifizierer* müssen beim Programmbetreiber registriert sein. Ein entsprechender Registrierungsbogen liegt dem Prüfungsgremium zur Entscheidung vor und wird auf der Internetseite des DVL veröffentlicht.

Der vollzogene Aufbau der skizzierten dauerhaften Strukturen und die Definition der Aufgabenstellungen ist ein Ergebnis des geförderten Projektes, dass die Umsetzung der Projektziele langfristig sichert.

3.2.2 Normgerechtes Regelwerk für Lehm-UPD

Das Regelwerk besteht aus:

- Vier Produktkategorieeregeln (PKR)
- den allgemeinen Hinweisen für Ökobilanzen von Lehmbaustoffen
- der allgemeinen Programmanleitung des DVL.

Das Regelwerk wendet die relevanten Normen zur Umweltbilanzierung (DIN EN ISO 14025, DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044) auf die Eigenschaften der Lehmbaustoffe an. Diese sind durch die bauaufsichtlich anerkannten Lehmbau Regeln, vier Lehmbaustoff-Normen DIN 18945-18948 und weitergehende wissenschaftliche Erkenntnisse nachvollziehbar definiert.

Die *PKR* umfassen für jeden der vier betrachteten Lehmbaustoffe (LS, LMM, LPM, LP) über 40 Seiten mit Stoffdefinitionen, Produkteigenschaften und Herstellungsverfahren. Neben allgemeinen Definitionen sind umfassende, lehmspezifische Beispiele zur Umsetzung der *PKR* in den jeweiligen UPD enthalten. Die allgemeinen Hinweise für die Erstellung von Ökobilanzen, für *PKR* sowie Hintergrundberichte für Lehmbaustoffe sind in einem sog. Teil 2 in den *PKR* als Verweis enthalten. Die Bilanzierungshinweise beinhalten eine erläuterte Gliederung für UPD mit u.a.: Zielsetzung, Systembeschreibung, Datengrundlagen, Anforderungen an die Sachbilanz bzw. Wirkungsabschätzung. Desweiteren ist eine Liste der relevanten Indikatoren einer Sachbilanz im Anhang zu finden. In den Definitionen sind weitergehende Normverweise im Zusammenhang wie folgt dargestellt und erläutert:

Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN ISO 14025 / DIN EN 15804 beruhen auf einer Lebenszyklusanalyse (LCA) eines Bauproduktes, bei der für jede Zyklusstufe die Ressourcenverbräuche und deren Umweltwirkungen quantifiziert werden. Für die Erstellung einer Ökobilanz nach DIN EN 15804 werden die einzelnen Lebensphasen des Lehmbauproduktes gemäß *PKR* in Informationsmodule A – D (cradle-to-cradle) gegliedert. Die Bilanzierung von Lehmbaustoffen bezieht sich auf die Module A1-A3 (cradle-to-gate) mit Optionen hinsichtlich der Aufbereitung und Wiederverwendbarkeit in den Modulen C3 und D nach DIN EN ISO 15.804. Die Gremien des DVL haben beschlossen, die Transporte vom Werk zur Baustelle nicht dem Baustoff anzulasten sondern dem Gebäude. Die Entscheidung über Baustoffauswahl und den damit verbundenen Transportwege obliegt der Umweltverantwortung des Gebäudeplaners, z.B. Marmor aus Carrara oder Elbsandstein aus Sachsen. Für die Errichtungs- und Nutzungsphase in den Modulen A5 und B gibt es keine relevanten Energie- und Stoffströme. Hier wird eine qualitative Beschreibung empfohlen, ergänzt durch mögliche Nachweise zur guten Wasserdampfabsorption, zu extrem geringen Emissionen von volatilen organischen Substanzen (VOC) und unbedenklichen natürlichen Radionukliden. Dies sind Verbraucherinformationen ohne quantifizierbare Wirkungsanalyse im Sinne einer Ökobilanz, beschreiben aber lehmspezifische Gesundheitsaspekte in der Nutzungsphase.

Produktkategorieeregeln nach DIN EN 15804 enthalten eine Zusammenstellung spezifischer Regeln, Anforderungen oder Leitlinien, um Typ III Umweltproduktdeklarationen (UPD) für eine oder mehrere Produktkategorien zu erstellen. Für die Lehmbaustoffe LPM, LMM, LS und LP wurden durch den DVL Kern-*PKR* erarbeitet, die auf detaillierten Ökobilanzen beruhen. Für die Produktkategorie LPM wird

eine UPD beispielhaft entwickelt, die als Muster UPD von den Herstellern genutzt werden kann. Die PKR enthalten Hinweise zur Sachbilanz mit Festlegungen zu funktionalen Einheiten, die Systemgrenzen, Allokationen und Abschneidekriterien.

Eine Typ III *Umweltproduktdeklaration* (UPD) nach DIN EN ISO 14025 beruht auf den entsprechenden ökobilanzbasierten Informationen, die den Lebensweg des Produkts vollständig oder in Teilen abbildet (DIN EN 15804). Durch Zusammenfassung der Ergebnisse aus den entsprechenden PKR in geeigneter Form (Tabellen, Grafiken) wird einem Anwender die Vergleichbarkeit der Umweltleistung des Bauprodukts in quantifizierter Form ermöglicht. Typ III UPD sind freiwillig und enthalten bestimmte Regeln, die ihre Verwaltung und ihren Betrieb leiten. Diese Regeln, die von einem Programmbetreiber verwaltet werden, werden als allgemeine *Programmanleitungen* bezeichnet. Für die Erstellung und Veröffentlichung von Typ III UPD auf der Grundlage der vorgenannten Dokumente tritt der DVL als Programmbetreiber im Sinne der DIN EN ISO 14025 auf.

Sukzessive entstanden vier Versionen des gesamten Regelwerkes bis zur Verabschiedung der endgültigen Fassungen durch das Prüfungsgremium im März 2018. Der Abstimmungsprozess fand in den Gremien des DVL statt und wurde einer breiten Öffentlichkeit, den sog. interessierten Kreisen, zweimal zur Diskussion gestellt. Alle verabschiedeten PKR, die allgemeinen Hinweise zur Erstellung von Ökobilanzen für Lehmbaumstoffe und die Programmanleitung des DVL sind als Download über die Internetseite des Programmbetreibers unbeschränkt zugänglich unter www.dachverband-lehm.de/Wissen/LehmUPD/

3.2.3 Erstellen einer ersten Muster UPD

Die Erstellung einer Muster UPD für LPM war die „Probe aufs Exempel“ im Projektablauf und einer der zeitlich aufwändigsten Arbeitsschritte. Das nunmehr vorliegende Ergebnis basiert auf erstmals direkt bei Herstellern erhobenen Vordergrunddaten. Bisher gab es lediglich theoretische Berechnungen. Der Aufbau und die Methodik sind im Verlauf der Ökobilanzstudie zur Erstellung der Muster UPD soweit entwickelt worden, dass diese auf andere Lehmbaumprodukte und Produktkategorien übertragbar sind. Der Mustercharakter geht somit über die gewählte Produktkategorie LPM hinaus.

Der exemplarisch erprobte Prozess zur Erstellung einer Muster UPD für Lehmbaumstoffe umfasst systematisch aufeinander aufbauende Arbeitsschritte:

- Entwicklung eines vereinfachten Fragebogens (*Bild 2*) zu Energie- und Stoffströmen sowie Transportwegen (teilweise mit drop-down- Funktion).
- Systematische Sammlung relevanter Hintergrunddaten aus generischen Datenbanken und anderen Quellen (ÖKOBAUDAT, ecoinvent und andere UPD, z.B. Werkmörtel und Baustroh).
- Zusammenfassung und Berechnung der erhobenen und ermittelten Daten in einem Berechnungsmodul mit grafischer Darstellung.

Dachverband Lehm e.V. **ERFASSUNGSBOGEN VERBANDS UPD - LEHMPUTZ (≥ 3mm Auftragsstärke)** **DBU**

Bitte die weißen Zellen ausfüllen, sofern nicht vorgelegt. Die funktionale Einheit ist mit kg festgelegt. Einige Zellen enthalten drop-down Menüs. Wenn diese nicht oder nicht ganz zutreffen bitte unter Spezifikationen und ggf. Bemerkungen eintragen. Die kursiv gesetzten Beispiele verdeutlichen wichtige weitere Angaben. Zusätzliche Zellen lassen sich einfügen. Belege sind Abrechnungen von Ent- und Versorgern, Treibstoffrechnungen u.ä. Unterlagen.

Produkt		Erläuterungen		
Handelsname	Unterputz	Hauptanwendung des Putzes; Auftragsstärke; Reichweite; ggf. Datenblatt beifügen		
Funktional Einheit (Produkt)	1 kg			
Lebensdauer (lt. PKR Teil2)	100 Jahre			
Betriebsstätte				
Firmenname	Kurzbeschreibung des Prozesses			
Ort	Aufbereitung; Dosierung; Mischung; Packung; Bitte Skizze beifügen			
Adresse				
Produktionsdaten				
Zeitraum	Von (dd/mm/yy)	01.01.2017	Einheiten	Bemerkungen
	Bis (dd/mm/yy)	31.12.2017		
Menge des o.g. Putzes:			kg	
Menge aller Putze auf gleicher Anlage:			kg	
Gesamtproduktionsmenge am Standort:			kg	

Bild 2 Deckblatt UPD Fragebogen

Ein methodischer „Durchbruch“ konnte erzielt werden, als die ökologische Bewertung der verschiedenen Rezepturen der LPM den dahinterstehenden Verfahrenstechniken untergeordnet wurde. Die Verfahrenstechnik zur Herstellung der LPM ist die entscheidende Größe für die Umwelteffekte, nicht deren Stoffzusammensetzung. Allenfalls spielen Transporte für Rohstoffe noch eine größere Rolle. Die erfassten Produkte, der an der Befragung teilnehmenden Hersteller deckten alle bekannten Verfahrenstechniken für LPM (im Übrigen auch für LMM, die mit denselben Verfahrenstechniken hergestellt werden) ab.

Die Ergebnisse der Ökobilanz der vier Verfahren werden nachfolgend zusammengefasst aus der Muster UPD wiedergegeben.

3.2.3.1 Hintergrunddaten

Zur Modellierung der Umweltwirkungen wurden folgende Hintergrunddatensätze verwendet und in einem Tabellensystem berechnet (Tab. 1):

- ÖKOBAUDAT, Juni 2018,
- Ecoinvent 3.2, November 2015,
- UPD Baustroh / Fachverband Strohballenbau (FASBA): Oktober 2014,
- UPD Werkmörtel / DIBU IWM¹, April 2008,
- ECO-SEE BRE Report², Januar 2017.

Tabelle 1 Übersicht Datengrundlagen

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

Die Daten für die Herstellung der untersuchten LPM beziehen sich auf das Jahr 2017. Die Ökobilanzen wurden für den Bezugsraum Deutschland erstellt. Die untersuchten vier Verfahren bilden das gesamte Spektrum der in Deutschland eingesetzten Produktionstechniken für LPM ab.

Die Datenerfassung für die untersuchten Produkte und Verfahren erfolgte durch Befragung der Hersteller mittels eines strukturierten Erfassungsbogens. Alle Daten und Berechnungen sind beim Programmbetreiber hinterlegt worden. Die untersuchten erdfeucht und trocken hergestellten LPM sind

¹ Deutsches Institut für Bauen und Umwelt (DIBU), Industrieverband Werkmörtel (IWM)

² Building Research Establishment Ltd. BRE (Ed.): Life Cycle Assessment (LCA) study of CLAYTEC M1 and M3 clay plasters as part of the project “Eco-innovative, Safe and Energy Efficient (ECO-SEE) wall panels and materials for a healthier indoor environment”, January 2017

Author: Dr. Fei Zhang, Senior Consultant, Centre for Sustainable Products, BRE Ltd.

Approver: Dr. Owen Abbe, Associate Director, Centre for Sustainable Products, BRE Ltd.

typisch für die am Markt befindlichen LPM in Deutschland. Die untersuchten LPM der beteiligten Hersteller umfassen 2.351 t, davon entfielen auf das Erdfeuchtverfahren 1.533 t und die Trockenverfahren insgesamt 832 t. Die produzierte Gesamtmenge an den drei Standorten der Werke betrug 20.328 t.

Die verwendeten Rezepturen werden den jeweiligen Rohstoffeigenschaften angepasst und variieren innerhalb der in *Tab. 1* angegebenen Bereiche. Weitere Stoffe sind nicht enthalten.

3.2.3.2 Verfahrenstechniken

Die Herstellungsprozesse von LPM nach DIN 18947 werden aufgrund signifikanter Abweichungen in der Energiebilanz bzw. Wirkungsanalyse nach Verfahrensart gesondert analysiert und bewertet. Untersucht wurden ein Erdfeuchtverfahren und drei verschiedene Trockenverfahren.

Erdfeuchtverfahren

LPM können aufgrund ihrer hydraulischen Eigenschaften im erdfeuchten Zustand gemischt, verpackt, gelagert, transportiert und verarbeitet sowie nach Erhärtung replastifiziert werden.

Das Erdfeuchtverfahren umfasst folgende Prozessschritte:

1. mechanische Zerkleinerung des Baulehms im Kollergang / Walzwerk. Der fertig aufbereitete Baulehm ist erdfeucht, besitzt eine krümelige Struktur und ist gut rieselfähig.
2. Aussiebung von groben Gesteinskörnungen (Überkorn) im Baulehm und im Zusatzstoff Sand,
3. Förderung des aufbereiteten Lehms und des gesiebten Sandes gemäß Rezeptur in den Mischer,
4. mechanische Zerkleinerung von pflanzlichen Zusatzstoffen und Förderung gemäß Rezeptur in den Mischer,
5. Mischvorgang (ohne Wasserzugabe),
6. Absackung des Fertigproduktes in feuchtestabile Transportverpackungen (PE-Big bags).

Bild 3 zeigt als Beispiel ein Produktionsschema für LPM nach dem Erdfeuchtverfahren.

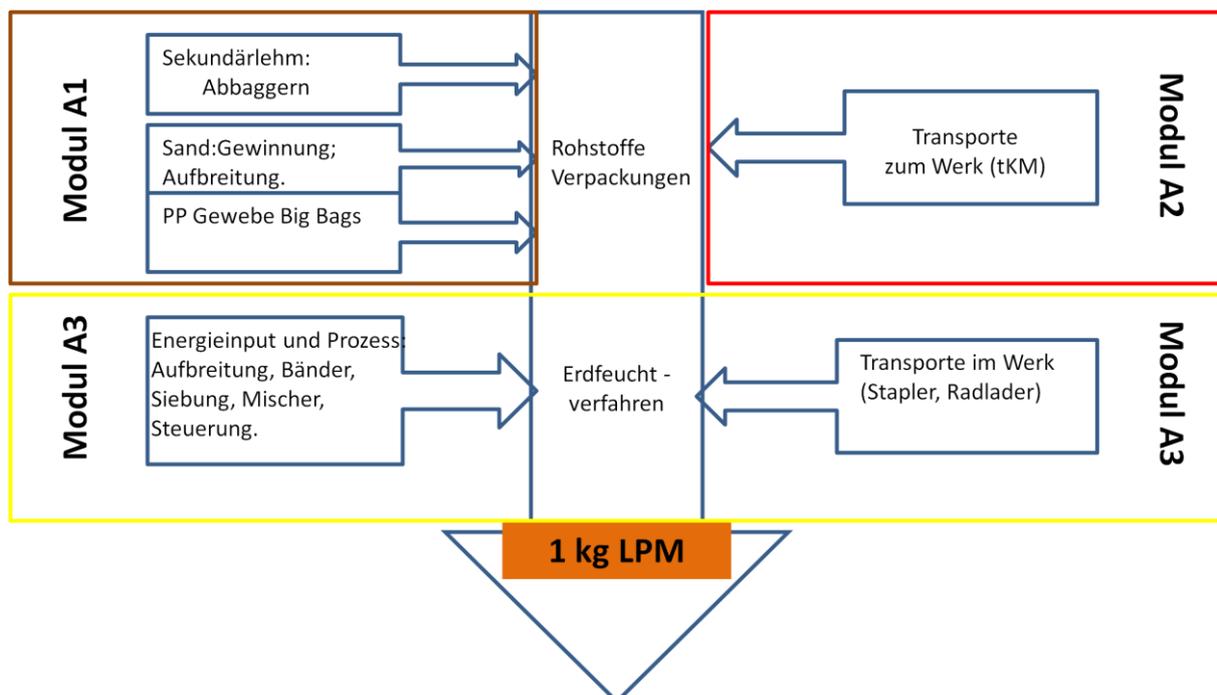


Bild 3 Produktionsschema LPM nach Erdfeuchtverfahren

Trockenverfahren

Nach dem Trockenverfahren hergestellte LPM nach DIN 18947 werden als getrocknete, feinkörnige, rieselfähige Massen in geeigneten Gebinden (Papiersäcke, PE-Big bags, Silos) ausgeliefert.

Hinsichtlich der eingesetzten Energieträger zur Wärmeerzeugung wenden die Hersteller unterschiedliche Verfahren an. Die deklarierten getrockneten LPM unterscheiden sich nach der Art der Zufuhr der Trocknungsenergie:

- Trocknung der nach dem Erdfeuchtverfahren hergestellten LPM-Fertigmischungen (Nachrocknung),
- Dosierung und Mischung vorgetrockneter Grund- und Zusatzstoffe (Vortrocknung),
- passive, solar unterstützte Lufttrocknung (Treibhaustrocknung).

Nachrocknungsverfahren

Im Anschluss an das Erdfeuchtverfahren wird die fertige Mischung getrocknet. Die Trocknung erfolgt in Trommeltrocknern für Schüttgüter mit unterschiedlichen Energieträgern, z. B. Biogas, Erdgas oder Flüssiggas.

Bild 4 zeigt als Beispiel das Schema der Nachrocknung von zuvor erdfeucht hergestellten LPM. (Stand: August 2018).

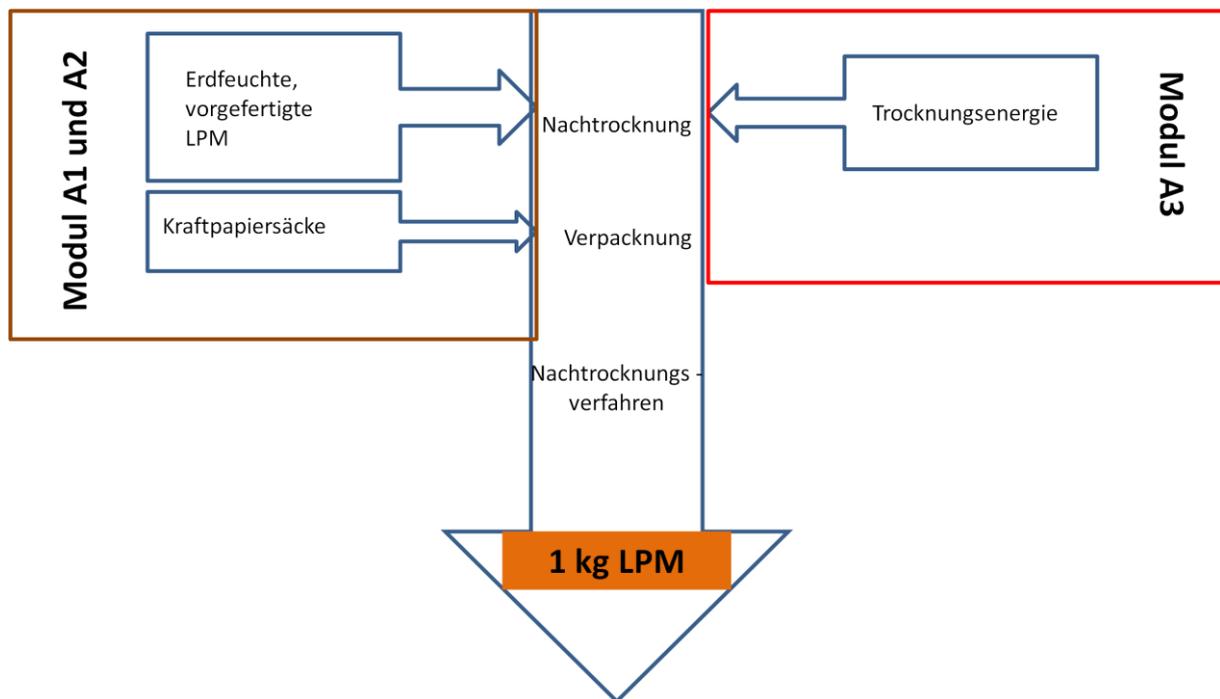


Bild 4 Herstellung von LPM mit dem Nachrocknungsverfahren

Vortrocknungsverfahren

Vorgetrocknete Rohstoffe werden in Großgebinden an die Herstellerwerke geliefert und dort entsprechend der jeweiligen Rezeptur dosiert und intensiv miteinander vermischt. Insbesondere für Oberputze kommen Lehm und Sandkörnungen als vorgetrocknete Rohstoffe in die jeweiligen Mischungen.

Bild 5 zeigt als Beispiel ein Schema für die Herstellung von LPM unter Verwendung vorgetrockneter Rohstoffe (Stand: August 2018).

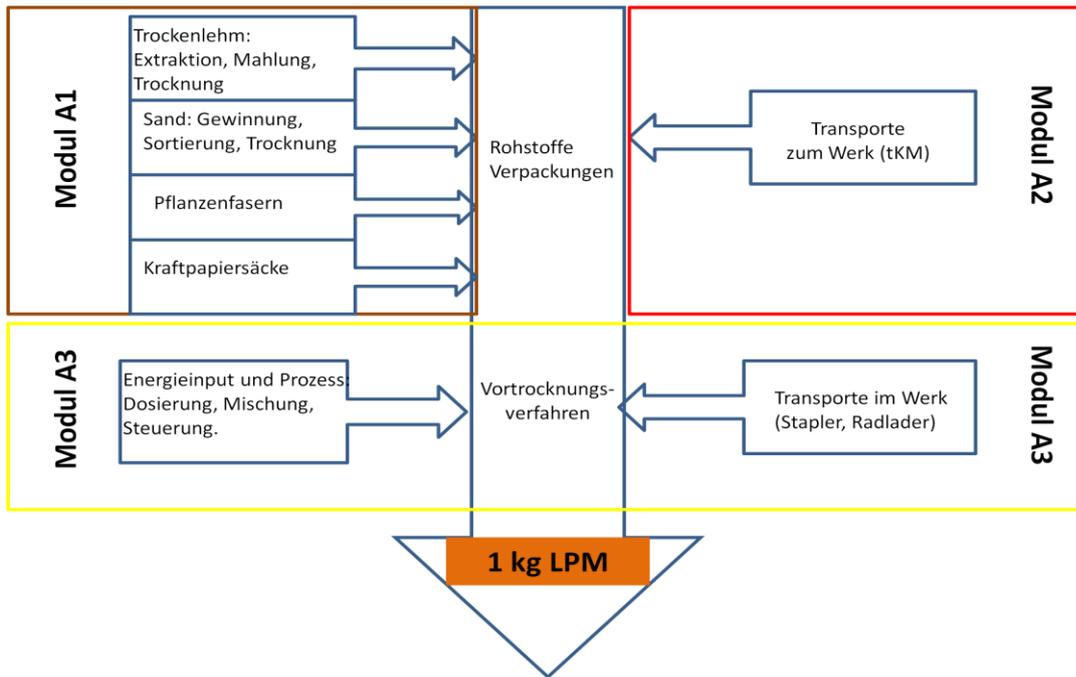


Bild 5 Vortrocknungsverfahren von LPM unter Verwendung vorgetrockneter Rohstoffe

Passive Solartrocknung (Treibhaustrocknung)

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

Bild 6 zeigt ein Schema für die Herstellung von LPM mit passiver Solartrocknung (Stand: August 2018).

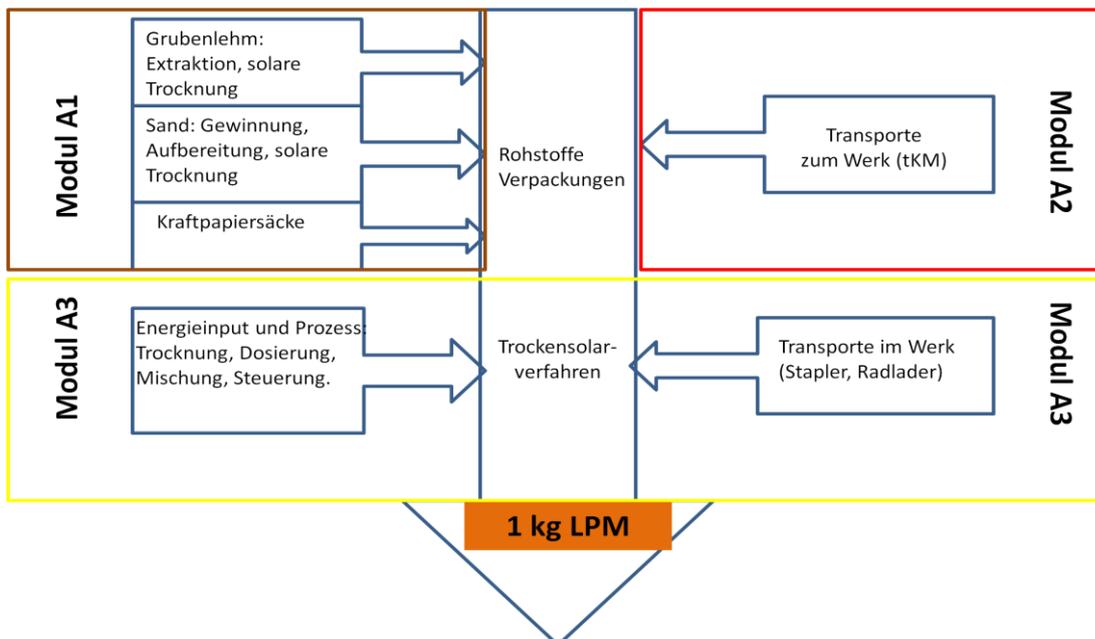


Bild 6 Passive Solartrocknung von LPM (Treibhausverfahren)

3.2.3.3 Lebenszyklusphasen

Für die Erstellung einer Ökobilanz nach DIN EN 15804, Abs. 6 werden die Lebensphasen A1 - A3 von der Wiege bis zum Werkstor mit den Optionen C3 und D betrachtet (Tab. 2).

Tabelle 2: Lebenszyklusphasen und Module nach DIN EN 15804

HERSTELLUNGS-PHASE			ERRICHTUNGS-PHASE		NUTZUNGSPHASE							ENTSORGUNGS-PHASE				GUT-SCHRIFTEN UND LASTEN
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffbereitstellung	Transport ins Werk	Herstellung	Transport zur Baustelle	Bau/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau, Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial
X	X	X	MNR	MB	MB	MB	MB	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	X	MB	X
X	<i>betrachtete und quantifizierte Module</i>															
MNR	<i>Modul nicht relevant nach PKR</i>															
MND	<i>Modul nicht deklariert</i>															
MB	<i>Modul beschreiben aber nicht quantifiziert</i>															

Die Nichtbetrachtung einzelner Module des Lebenszyklus wird nachfolgend begründet:

A4 (Transport zur Baustelle): Entsprechend der PKR des Programmbetreibers nicht dem Baustoff zuzurechnen, sondern dem Gebäude.

A5 (Bau/Einbau): Hinweise zur Anwendung sind im allgemeinen Teil der Deklaration enthalten.

B1 - B7 (Nutzungsphase)

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

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

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

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

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

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

3.2.3.4 Ressourceneinsatz

Der gesamte Primärenergieeinsatz PET (erneuerbar und nicht erneuerbar) und die damit verbundenen Outputfaktoren setzen sich zusammen aus den Daten der(s) Hersteller(s) zur Stoffzusammensetzung, der Energiemenge und –art, den Transporten zum Werk bzw. im Werk und zur Verpackung entsprechend der erläuterten Datenqualität. In *Tab. 3* sind die Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes für die Herstellung von LPM dargestellt, unterteilt nach Verfahrensart in Erdfeuchtverfahren, Nachtrocknung (nach Erdfeuchtproduktion), Vortrocknung (Mischung trockener Komponenten) und passive Solarnutzung (belüftetes Treibhaus).

Aufgrund der grauen Energie in den Vorprodukten Lehmpulver 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 Lehmpulver mit anteilig 0,472 MJ/kg oder 44 % ist aus der ÖKO-BAUDAT (07.2018) entnommen. Die Berechnungsgrundlage ist allerdings nicht nachvollziehbar, sie basiert auf der Homepage eines Berliner Handwerksbetriebes aus dem Jahre 2008. Hier fehlen originale Datengrundlagen.

Beim *Nachtrocknungsverfahren* ergibt der Einsatz von Flüssiggas für die Trommelrocknung 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 $w = 4 - 13 \%$ oder trocken. Die Vorketten in der Lebenszyklusphase A1 – A3 summieren sich je nach Verfahren auf Wasserverbräuche in Höhe von $0,0000812 \text{ l/m}^3$ LPM (Vortrocknungsverfahren) bis $0,001 \text{ l/m}^3$ LPM (passive Solartrocknung). Auch hier gelten die Einschränkungen hinsichtlich des Wassergehalts im Rohstoff „Grubenlehm“, wie sie in einschlägigen Datensystemen unterstellt werden. Der Energieverbrauch der erfassten Verpackungen wird aus der UPD Werkmörtel für gleichwertige Verpackungsarten übernommen und mit 0,01 MJ/kg LPM bewertet.

Tabelle 3: Indikatoren Ressourceneinsatz für die Herstellung von LPM (A1 –A3) nach Verfahrensarten

Nr.	Indikator (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse)	Richtung	Einheit	Verfahrensart			
				Erdfeucht	Nachtrocknung	Vortrocknung	Solartrocknung (passiv)
1	Erneuerbare PE als ET (PERE)	Input	MJ	3,58E-02	4,00E-02	8,13E-02	2,73E-02
2	Erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung (PERM)	Input	MJ	7,23E-09	7,23E-09	1,27E-01	6,34E-02
3	Summe erneuerbarer PE (PERT)	Input	MJ	3,58E-02	4,00E-02	2,08E-01	9,08E-02
4	Nicht erneuerbare PE als ET (PENRE)	Input	MJ	1,14E-01	1,09E+00	8,62E-01	1,35E-01
5	Nicht erneuerbare PE zur stofflichen Nutzung	Input	MJ	0	0	3,78E-04	1,89E-04
6	Summe nicht erneuerbarer PE (PENRT)	Input	MJ	1,14E-01	1,09E+00	8,62E-01	1,35E-01
7	Summe PERT und PENRT	Input	MJ	1,50E-01	1,13E+00	1,07E+00	2,26 E-01
8	Einsatz von Sekundärstoffen (SM)	Input	kg	0	0	0	0
9	Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF)	Input	MJ	0	0	0	0
10	Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)	Input	MJ	0	0	0	0
11	Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	Input	m ³	7,41E-04	7,47E-04	8,12E-05	1,00E-03

3.2.3.4 Umweltwirkungen

Gemäß der Bilanzierungshinweise des DVL wurden folgende Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen quantifiziert und in *Tab.4* dargestellt:

GWP – Globales Erwärmungspotenzial als CO₂ Äquivalentkennwert (Äq.), Bezugsjahr 2017

ODP - Abbaupotenzial für die stratosphärische Ozonschicht als kg R11 Äq. (Kältemittel),
 POCP - photochemische Ozonbildung (Sommersmogpotenzial) als kg Ethylen Äq.,
 AP - Versauerungspotenzial für Böden und Wasser als kg Schwefel SO₂ Äq.,
 EP - Eutrophierungspotenzial für Böden als kg Phosphat PO₄ Äq.,
 ADP E - Abbaupotenzial für nicht fossile Elemente als kg Antimon Sb Äq.,
 ADP F - Abbaupotenzial für fossile Elemente (Brennstoffe) als MJ unterer Heizwert.
 Alle Indikatorgrößen wurden nationalen und internationalen Datenbanken entnommen.

Tabelle 4 Indikatoren Umweltwirkungen bei der Herstellung von LPM (A1-A3) nach Verfahrensarten (jährl. Durchschnitt, Bezugsgröße 1 kg Masse)

Nr.	Indikator	Einheiten	Verfahrensarten			
			Erdfeucht	Nachtrocknung	Vortrocknung	Solartrocknung (passiv)
1	GWP	kg CO ₂ 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 ₂ Äq.	1,70E-05	7,91E-05	1,80E-04	5,08E-05
5	EP	kg PO ₄ 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

Im Vergleich wird deutlich, dass mit einer Nachtrocknung der Rohstoffe das 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 GWP der Nachtrocknung relativ niedrig (0,0152 kg CO₂ Äq. pro kg LPM) trotz höherem Energieeinsatz (ADPF: 1,16E+00).

Die Vortrocknung und Dosierung der Rohstoffe führt zu einem höheren GWP mit 0,124 kg CO₂ Äq. Darin sind bereits enthalten eine Gutschrift für den Strohannteil (1,1%) mit -0,014 kg CO₂ Äq. und die Kraftpapierverpackung (90 g) mit -0,00245 kg CO₂ Äq.

Die passive Solartrocknung nach dem Treibhausprinzip kommt auf ein rechnerisch negatives GWP mit -0,00178 kg CO₂ Äq. An diesem Beispiel wird die ökologische Relevanz des geringen Pflanzenanteils (0,5 M.-%) deutlich. Enthalten sind Gutschriften für den Pflanzenanteil in Höhe von -6,36E-03 oder 0,00636 kg CO₂ Äq. Ohne diese Gutschrift steigt der GWP Wert um 360 % auf 4,58E-03 kg CO₂ 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.

Die Ergebnisse der Ökobilanzstudie zur Erstellung der Muster UPD für Lehmputzmörtel werden nachfolgend in einen Kontext zu anderen Putzmörtel gestellt und bewertet.

3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Projektergebnisse

Die norm- und regelgerechte Bewertung der Umwelteffekte von Lehmbaustoffen konnte im Rahmen der Ökobilanzstudie für LPM erstmals differenziert und nachvollziehbar durchgeführt werden. Die detaillierte Betrachtung der bekannten Verfahren zur Herstellung von LPM förderte auch Schwachstellen zu Tage. Ökologische Optimierungspotenziale wurden aufgezeigt, etwa im Bereich der innerbetrieblichen Transporte (z.B. Radlader, Gabelstapler). Daraufhin hat ein beteiligter Hersteller innerbetriebliche Fahrzeuge auf Elektroantrieb mit Ökostrom umgestellt. Ebenso zeigte sich die positive Umweltwirkung innovativer Trocknungsverfahren, z.



Bild 7: Gebinde für Lehmputzmörtel (mi., li. big bags)

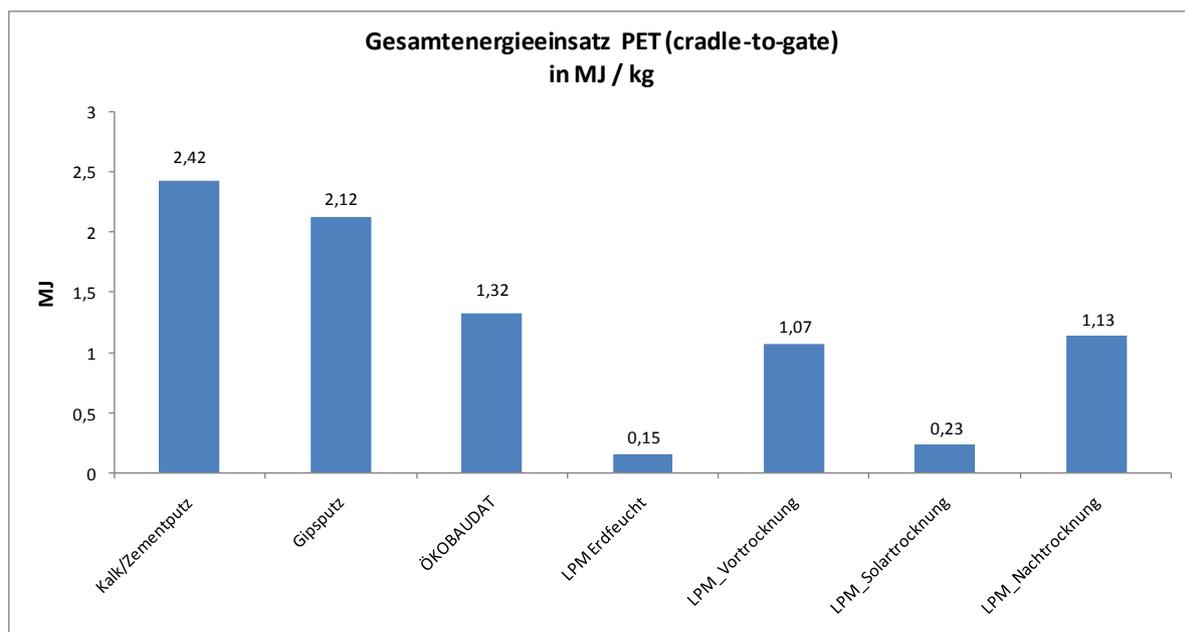
B. mit passiver Solarnutzung. Das sind ökologische Potenziale, die quantifiziert werden konnten und für zukünftige Investitionsentscheidungen einen kalkulierbaren Nutzen beisteuern.

Die überwiegende Masse der LPM wird über die gesamte Kette in erdfeuchtem Zustand aufbereitet, gemischt, gelagert, transportiert und verarbeitet. Anders als andere Mörtel binden LPM nicht chemisch ab, sondern erhärten durch Lufttrocknung. Eine künstliche Trocknung der fertigen erdfeuchten Mischungen ist nicht erforderlich. In luftdurchlässigen Großbehältern (sog. big bags bis 1,5t) transportierte, erdfeuchten Produkte lassen sich, ebenso wie trockene LPM, mit Putzmaschinen verarbeiten. Aus praktischen Handhabungsgründen auf den Baustellen gibt es eine signifikante Nachfrage nach getrockneten LPM in 25kg Kraftpapiersäcken. Die bekannten Trocknungsverfahren wurden im Rahmen der Ökobilanzstudie zur Erstellung einer Muster UPD bewertet.

3.3.1 Energie- und Umweltbilanz von Putzmörteln –ein Vergleich

Um die Energie- und Umweltbilanz von Lehmputzmörteln einordnen zu können, werden der Gesamtenergieeinsatz (PET) und der Treibhauseffekt (CO₂ Äq.) mit den entsprechenden Werten anderer Putzmörtel verglichen. Zusätzlich stehen den im Projekt ermittelten Vordergrunddaten die in der offiziellen Datenbank des Bundesbauministeriums (ÖKOBAUDAT, Stand August 2018) veröffentlichten generischen Werte gegenüber.

Bild 8 Vergleich des Gesamtenergieeinsatzes PET von Putzmörteln



Der Gesamtenergieeinsatz PET (Bild 8) bezieht sich auf die Lebensphasen A1-A3 vom Rohstoff zum Werkstoff unter Einbeziehung der Verpackung. Die Abbildung enthält die vier untersuchten Verfahren: Erdfeuchtverfahren, Trockenverfahren mit Dosierung/Mischung vorgetrockneter Rohstoffe (Vortrocknung), Trockenverfahren mit passiver Solarnutzung (Treibhausverfahren) und die Nachrocknung zuvor erdfeucht hergestellter Lehmputzmörtel (hier: mit Flüssiggas).

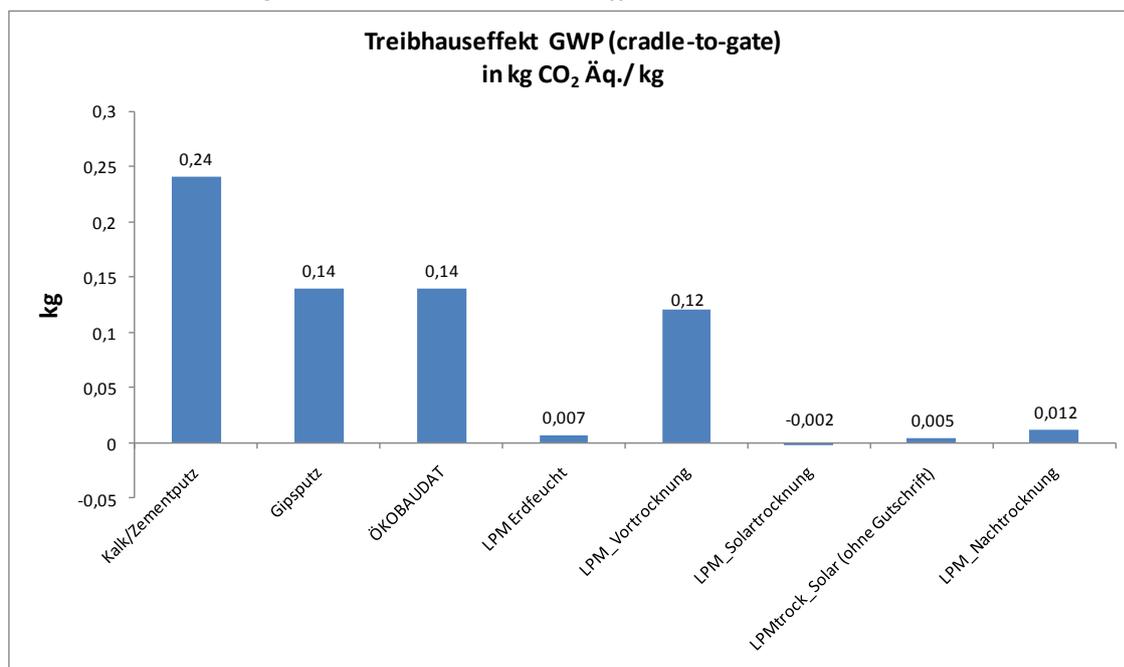
Im Vergleich zu den UPD von Kalk/Zementputz und Gipsputz liegt der Energiebedarf des Erdfeuchtverfahrens und des Solarverfahrens um das 10-fache niedriger. LPM nach Vortrocknungs- und Nachrocknungsverfahren verbrauchen ebenfalls rund 50 % weniger Energie als andere Mörtel. Aber die graue Energie der getrockneten Vorprodukte und der Einsatz von Flüssiggas führen zu erhöhten Ressourcenverbräuchen gegenüber den anderen beiden Verfahrenstechniken. Die Optimierungspotenziale hinsichtlich Rohstoffauswahl, Gasart und Brenntechnik wurden den beteiligten Herstellern erläutert.

Es gibt ein deutliches Missverhältnis zwischen den offiziellen generischen Werten in der ÖKOBAUDAT-Datenbank des Bundesbauministeriums und den tatsächlich erfassten, berechneten Daten der Muster UPD. Die ÖKOBAUDAT bewertet alle LPM unabhängig von der Verfahrenstechnik mit 1,32 MJ/kg. Als Quelle der Berechnungen wird auf eine Homepage aus dem Jahre 2008 eines Berliner Handwerksbetriebes (www.lehmbauwerk.de) verwiesen. Die damaligen Inhalte sind nicht mehr nachvollziehbar.

Die Treibhauseffekte GWP des Erdfeuchtverfahrens und der Solartrocknung in *Bild 9* 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 (1E-03 kg CO₂ Äq.).

Die Vortrocknung mit 0,12 kg CO₂ Äq. ragt heraus. Allerdings basiert dieser Wert auf einer mangelhaften Datengrundlage für die vorgetrockneten Lehmpulver. Die Bilanz stützt sich auf die verfügbaren Angaben aus der ÖKOBAUDAT zu Lehmpulver. Diese sind jedoch wegen der o. g. Quelle wenig nachvollziehbar. Die Datengrundlage für Lehmpulver ist deshalb nur eine erste Annäherung, weitere Recherchen bzw. Bewertungen dieses Vorproduktes sind erforderlich.

Bild 9 Global Warming Potential (GWP, Treibhauseffekt) von Putzmörteln



Die ÖKOBAUDAT bewertet Lehmputzmörtel pauschal mit 0,14 kg CO₂ Äq./kg. Mit der Veröffentlichung der Muster UPD kann die Änderung dieser Diskrepanz entsprechend der Grundsätze zur Aufnahme von Daten beantragt werden.

3.3.2 Bewertung der Rohstoffverfügbarkeit

Das Projekt hat Erkenntnisse zur Wiederverwendung von LPM und anderen Lehmbaustoffen erbracht. Erhärtete Lehmbaustoffe lassen sich jederzeit replastifizieren. Diese hydraulische Eigenschaft macht Lehmbaustoffe einzigartig, dies ist mit keinem anderen Bindemittel möglich. 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.

Alle mineralischen Rohstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit als „geologisch gewachsene“ Naturstoffe generell begrenzt (Parameter „ADPE“ gem. DIN EN 15804 bei der Wirkungsabschätzung). Bei lokalen

Erdarbeiten (z. B. Kies- und Sandgewinnung, Kalkabbau, Tiefbau) anfallender, geeigneter lehmhaltiger Bodenaushub wird als Sekundärrohstoff 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 (UBA 2013). 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.

3.3.3 Wiederverwendbarkeit von Lehmputzmörtel

Zwei Szenarien zur Aufbereitungstechnik wurden entwickelt und den quantifizierten Rückgewinnungspotenzialen gegenübergestellt. Die Szenarien stellen eine erste Annäherung dar. In der Praxis gibt es keine industriellen Rückgewinnungssysteme für Lehmbaustoffe. Mit zunehmender Verbreitung der Lehmbaustoffe und dem absehbaren Ende der Nutzungsphase vieler Altbauten mit Lehmanteilen gewinnt der Aspekt der Rückgewinnung zukünftig an Bedeutung. Ein drittes bekanntes Rückgewinnungsverfahren ist vor allem im Bereich des Um- und Ausbaus von Altbauten (in Eigenleistung) übliche Praxis: das Einsumpfen (soaking) sortenrein zurückgewonnener LPM [Schroeder, 2018]. Nach angemessener Ruhezeit, ggf. Sandzugabe als Magerungsmittel, und Einsatz von Rührgerät ist der sortenrein zurückgewonnene LPM erneut gebrauchsfertig. Die durch die hydraulischen Eigenschaften der Tonminerale begründete Replastifizierbarkeit von Alt-LPM ist ein „Alleinstellungsmerkmal“ nicht stabilisierter Lehmbaustoffe. Zu diesem Verfahren gibt es bislang keine Daten, weil dabei keine signifikanten Energie- und Stoffströme entstehen.

Zur Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkungen wurden zwei Szenarien unterstellt: Das Nassverfahren ist eine *Rohstoffrückgewinnung*, das Trockenverfahren eine *Produktrückgewinnung*. 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 deponiert und als „Presslehm“ bezeichnet [Schroeder, 2018]. Als Datengrundlage wurde die Kiesgewinnung nach ÖKOBAUDAT (Juni 2018) unterstellt.

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 (ÖKOBAUDAT, Juni 2018) bewertet.

Das Szenario zum Trockenverfahren unterstellt eine vollständige Rückführung in den Produktionsprozess, in dem Lehm-, Sand- und Pflanzenanteile je nach Zusammensetzung des sortenrein zurückgewonnenen LPM ergänzt werden können. Diese Ergänzungen sind dann Teil des neuen Produktionszyklus und einer neuen UPD.

Tab.5 beschreibt die Indikatoren Ressourceneinsatz und Rückgewinnung / sonstige Umweltinfos für beide Verfahren. Bei einer Gegenüberstellung des Primärenergieaufwandes PET mit dem Rückgewinnungspotenzial ergibt sich für beide Verfahren ein ökologischer Gewinn in einer Größenordnung von $-2,22E-02$ MJ/kg bis $-1,45E-02$ MJ/kg als Verwertungspotenzial (PET Aufbereitung - Rückgewinnung). Allerdings sind die Transporte zur Aufbereitung nicht berücksichtigt, aber die Szenarien quantifizieren mögliche „ökologische Spielräume“ für die Logistik einer Aufbereitung von LPM. Transporte von der Aufbereitung zum Werkstor würden wiederum in den Modulen A1 bzw. A2 als Rohstofftransporte eines *neuen* Produktionszyklus Eingang finden.

Tabelle 5: Indikatoren Verwertungspotenzial u. sonstige Umweltinfos

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

Die nachfolgende *Tabelle 6* beschreibt die Indikatoren der Umweltwirkungen für beide Verfahren. Das Verhältnis von Aufbereitungsaufwand zum Rückgewinnungspotenzial hängt ab von den gewählten Aufbereitungstechniken und den Annahmen zur Rückgewinnungsquote. Im *Nassverfahren* sind 5 M.-% Verluste eingerechnet und eine Separierung der Rohstoffe nach typischer Siebanalyse, d.h. geschätzte 15 M.-% Ton- und Schluffanteile sowie 85 M.-% Gesteinskörnungen. Beim *Trockenverfahren* wird der sortenrein zurückgewonnenen LPM aus Abriss ohne weitere Trennung bzw. Auswaschung nur zerkleinert und wiederverwertet. Die betrachteten Prallmühlen arbeiten mit durchschnittlich 0,003 MJ/kg elektrischer Energie.

Tabelle 6 Indikatoren Umweltwirkung für die Aufbereitung und Wiederverwertung

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

Die Ergebnisse dieser ersten, als Annäherung verstandenen Szenarien geben Anlass für weitere Analysen technischer Möglichkeiten zur Aufbereitung und Aktivierung des Wiederverwertungspotenzials von LPM. Langfristig führen diese Analysen zu einer veränderten Bewertung der ADPE für zurückgewonnene mineralische Bestandteile (z.B. Sandkörnungen) im Lehm und für die Rohstoffintensität neuer Lehmabbaustoffe aus Altlehm.

4 Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Der im Projekt vollzogene Aufbau von Organisations- und Kommunikationsstrukturen innerhalb des DVL bildet mit dem Programmbetrieb und dem eingerichteten Internetportal zur Aktualisierung des Regelwerks unter Einbeziehung interessierter Kreise den Rahmen für die zukünftige Fachdiskussion. Diese Strukturen sind auf Dauer angelegt und dienen zur Verbreitung der Projektergebnisse sowie der Kommunikation zu notwendigen Anpassungen des Regelwerkes und neuen Erkenntnissen.

Die Ökobilanzierung von Lehmabbaustoffen und die Bedeutung der UPD wurde in den HWK/DVL-Weiterbildungskurs „Fachkraft Lehmabau“, Modul 7 „Nachhaltigkeit und Denkmalpflege“ integriert. Lehrinhalte sind die im Projekt entwickelte Muster UPD sowie die vier Produktkategorieregeln. Diese Vorgehensweise unterstützt die mit den UPD beabsichtigte Anwenderinformation zu allen Umweltaspekten der Lehmabbaustoffe.

Die vorbereitete Mitwirkung an der Anpassung der Ökobilanzdaten der ÖKOBAUDAT trägt entscheidend zur öffentlichen Darstellung und Verbreitung der Projektergebnisse bei. Nach den Regeln des BBR zur Aufnahme von Daten in die ÖKOBAUDAT ist mit der im Projekt entstandenen und verifizierten Muster UPD überhaupt erst die Möglichkeit gegeben, hier Einfluss zu nehmen. Die Intervention beim BBR lässt eine breiter angelegte Diskussion in der Fachöffentlichkeit erwarten.

Während der Projektlaufzeit konnten Dr. Horst Schroeder und Manfred Lemke auf zwei DVL-Mitgliederversammlungen den Stand der Entwicklung und die Ergebnisse erläutert. Die Mitgliederinformation diente auch dazu, die anwesenden Hersteller für die Erstellung weiterer UPD für Lehmabbaustoffe zu motivieren.

Dr. Horst Schroeder hatte darüber hinaus die Möglichkeit, Projektergebnisse auf internationalen Lehmbautagungen vorzustellen, und zwar auf der Earth USA im September 2017 in Santa Fe, NM, USA sowie auf der ISES 2018 im August 2018 in Bangalore, Indien.

5 Fazit

Die Projektergebnisse ebnen langfristig den Weg für eine normkonforme ökologische Bewertung aller genormten Lehmbaumstoffe in qualitativer und quantitativer Hinsicht. Das ist ein Meilenstein für Lehmbaumstoffe und beispielgebend für andere Baumstoffe, die zwar als ökologisch gelten, aber bisher keine nachvollziehbaren, vergleichbaren Ökobilanzierungen vorweisen können, z. B. Naturbaumstoffe. Am Beispiel der LPM konnte beteiligten Herstellern deutlich gemacht werden, welche ökologischen Wettbewerbsvorteile tatsächlich bestehen und wo ökologische Schwachstellen liegen. Zukünftige Herausforderungen sind im Bereich der Trocknungsverfahren zu sehen. Hier konnten Optimierungsansätze herausgearbeitet und kommuniziert werden.

Die Projektarbeit führte zur Erkenntnis, dass generische Daten über Lehmbaumstoffe und deren Komponenten einer Überprüfung bedürfen. Hier „geistern“ nicht nachvollziehbare oder falsche Werte durch mehrere Datenbanken, z. B. GABI 4.0. Diese Daten verzerren den ökologischen Wettbewerb mit anderen Baumstoffen. Teilweise liegen die Werte für Treibhauseffekte GWP um das 100-fache höher als in der Muster UPD LPM nachgewiesen. Eine kritische Prüfung der Datenbankeinträge muss im Nachgang zu diesem Projekt dringend eingeleitet werden. Insbesondere fehlen Datengrundlagen zu Vorprodukten wie z. B. getrockneter, gemahlener Lehm. Hier finden sich keine originären Daten, sondern nur theoretische Rechenwerte in den untersuchten Datenbanken. Das Manko führte zu einer deutlichen Verschlechterung der ökologischen Bewertung des Vortrocknungsverfahrens gegenüber den anderen Herstellungsverfahren für LPM. Es besteht hier ebenso weiterer Forschungsbedarf, wie auch zur Bewertung der Wiederverwendbarkeit sortenrein zurückgewonnener LPM.

Die Wiederverwendbarkeit der Lehmbaumstoffe in gleicher Funktion ohne down-cycling oder energieaufwändige Rückgewinnungstechniken birgt ein enormes ökologisches Potenzial, dessen Auswirkungen noch nicht vollends quantifiziert werden konnten. Im Projekt wurden jedoch mehrere Szenarien entwickelt und berechnet. Die Wiederverwendung eines sortenrein zurückgewonnenen Lehmbaumstoffes als „neuen“ Lehmbaumstoff schont natürliche Ressourcen und vermeidet Flächenverbräuche. Hinzu kommt, dass mineralische Rohstoffe als Bestandteil der Mischungen von Lehmbaumstoffen wieder separiert und zurückgewonnen werden können. Lehmbaumstoffe geraten so zu „schlummernden“ Rohstoffreserven. Wie aber die physikalisch unstrittigen Rückgewinnungseigenschaften von Lehmbaumstoffen (nicht chemisch abbindend, wasserlöslich und nach Erhärtung jederzeit replastifizierbar) effizient aktiviert werden können, bedarf weiterer vertiefender Untersuchungen. Im Anschluss an dieses Projekt widmet sich eine Diplomarbeit an der FH Potsdam (Institut für Baustoffkunde) dem Thema. Diese Arbeit wird von zwei Mitgliedern des neu geschaffenen Prüfungsausschusses für UPD beim DVL betreut: Prof Dr. Klaus Pistol und Dipl. Ök. Manfred Lemke.

Durch die im Projekt etablierte Organisationsstruktur mit einem Prüfungsausschuss mit Experten auf verschiedenen relevanten Fachgebieten sowie einem Fachbeirat zur Einbindung interessierter Kreise ist die Umsetzung der Projektergebnisse langfristig gesichert. Die Projektergebnisse und alle nachfolgenden Anpassungen, Änderungen und UPD für weitere Lehmbaumstoffe lassen sich zukünftig über das Portal auf der Internetseite des DVL verbreiten und verfolgen.

Das Projekt ist ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Lehmbaus im Bausektor.

Literatur- und Normenverzeichnis

[Schroeder 2018]	Schroeder, H.: Lehm bau – Mit Lehm ökologisch planen und bauen. Springer Vieweg: Wiesbaden 2018, 3. Aufl.
DIN 18942-1	DIN 18942-1:2018-12, Lehm baustoffe – Teil 1: Begriffe
DIN 18942-100	DIN 18942-100:2018-12, Lehm baustoffe – Teil 100: Konformitätsnachweis,
DIN 18945	DIN 18945:2013-08, Lehm steine – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren
DIN 18946	DIN 18946:2013-08, Lehm mauermörtel – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren
DIN 18947	DIN 18947:2013-08, Lehm putzmörtel – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren
DIN 18948	DIN 18948:2018-12, Lehm platten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung
DIN EN 15804	DIN EN 15804:2014-07: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
DIN EN ISO 14025	DIN EN ISO 14025:2011-10: Umweltkennzeichnungen u. –deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen; Grundsätze u. Verfahren
DIN EN ISO 14040	DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
DIN EN ISO 14044	DIN EN ISO 14044:2018: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen
PCR Werkmörtel	Regeln für Umwelt-Produktdeklaration – Mineralische Werkmörtel – Institut Bauen und Umwelt e. V., Version Juli 2006
UPD Werkmörtel	Deutsches Institut f. Bauen u. Umwelt e. V. (DIBU) (Hrsg.): DIBU Muster-Umweltproduktdeklaration für Mineralische Werkmörtel / Putzmörtel nach DIN EN ISO 14025. Duisburg, 2008
UPD Baustroh	Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) (Hrsg.): Umweltproduktdeklaration UPD für Baustroh nach DIN EN ISO 14025 u. DIN EN 15804. Wien, 2014
Natureplus RL 0803	natureplus e. V., Vergaberichtlinie 0803 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Lehmputzmörtel, Ausgabe Juni 2015, Neckargemünd 2015
Natureplus RL 5003	natureplus e. V., Vergaberichtlinie 5003 zur Vergabe des Qualitätszeichens, Naturschutz beim Abbau mineralischer Rohstoffe, Ausgabe April 2015, Neckargemünd 2015
ÖKOBAUDAT	Bundesinstitut f. Bau-, Stadt- u. Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung. SR Zukunft Bauen Forschung für die Praxis Band 09, Bonn 2017