

The top half of the cover features a photograph of a construction site with several tower cranes. The image is overlaid with a grid of semi-transparent squares in various shades of blue, green, and yellow. The authors' names are printed in white text on the left side of this section.

Horst Schroeder
Manfred Lemke

Lehm im Baustoffkreislauf

Bauprodukte, Modelle, Rückbau und
Recycling

 Springer Vieweg

Lehm im Baustoffkreislauf

Horst Schroeder · Manfred Lemke

Lehm im Baustoffkreislauf

Bauprodukte, Modelle, Rückbau und
Recycling

Horst Schroeder
Weimar, Thüringen, Deutschland

Manfred Lemke
Norden, Niedersachsen, Deutschland

ISBN 978-3-658-47920-6 ISBN 978-3-658-47921-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-47921-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2025

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Sandy Lunau

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Einführung

Klimawandel, Reduzierung des CO₂-Ausstoßes, nachhaltiges Wirtschaften – das sind Schlagworte, die unsere Gegenwart bestimmen. In Deutschland werden täglich ca. 40.000 t Baurohstoffe in Kiesgruben und Steinbrüchen abgebaut. Andererseits fallen hier jährlich etwa 220 Mio. t Bau- und Abbruchabfälle an, ca. 60 % des gesamten Abfallaufkommens. Das Kreislaufwirtschafts- u. Abfallgesetz KrWG fordert den Vorrang von Abfallvermeidung gegenüber dem Recycling. Ziel ist die Rückführung von Baureststoffen in den Baustoffkreislauf.

Lehmabstoffe erfahren seit mehr als 30 Jahren in Deutschland, aber auch im Ausland, wieder wachsende Aufmerksamkeit. Lange mit dem Ruf eines „Nachkriegsbaustoffes“ behaftet, hat sich das Bild heute grundlegend gewandelt: Lehmabstoffe gelten als ökologische, kreislauffähige Baustoffe. Sie werden aus natürlichen mineralischen Rohstoffen umweltschonend hergestellt und zu Baukonstruktionen verarbeitet. Sie zeigen im Nutzungszustand ein positives raumklimatisches Verhalten und sind unproblematisch bei Rückbau und Recycling/Deponierung. Sie können gut im Stoffkreislauf gehalten werden. Im Vergleich zu anderen mineralischen Baustoffen weisen sie oft günstigere Ökobilanzen mit geringerem Energieverbrauch in der Herstellung aus. Deckschichten, die als Bodenabfall bei der Kies-/Tongewinnung anfallen und rückgewonnener Recyclinglehm können primären Lehmaushub für neue Lehmabstoffe ersetzen und dadurch natürliche Ressourcen schonen.

Lehmabstoffe sind tonmineralgebunden. Im trockenen Zustand können sie als Recyclinglehm durch Wasserzugabe replastifiziert und neuen Formgebungsprozessen zugeführt werden. Diese Eigenschaft ist ein Alleinstellungsmerkmal von Lehmabstoffen und unterscheidet sie von anderen mineralischen Bauprodukten (Beton, Ziegel), die nach Recycling bei Wiederverwertung immer ein „neues“ Bindemittel mit den entsprechenden Ressourcen für die Formgebung erfordern.

Der Baustoffkreislauf Lehm zieht sich als „roter Faden“ durch das vorliegende Buch. Dabei werden das bisher wenig untersuchte und beachtete Problem des Rückbaus und Recyclings von Lehmabstoffen sowie die Frage der Bereitstellung von Baulehm besonders in den Blick genommen. Beide Aspekte müssen als Teil des Baustoffkreislaufes

Lehm neu gedacht werden. Schon bei der Planung eines Bauwerks muss dessen Lebensende (End of Life EoL) durch Entwicklung aus heutiger Sicht möglicher Szenarien für ein Recycling der Abbruchmaterialien dargestellt werden. Das erfordert ein Zusammenwirken aller am Bauprozess Beteiligten (Bauwerksplaner, Lehm-Baustoffhersteller, Recyclingunternehmen, Deponiebetreiber) durch Entwicklung geeigneter Planungsdokumente. Produktkategorieregeln (PKR), Sachbilanz und Umweltproduktdeklarationen (UPD) sind die Kommunikationsformate der Ökobilanzierung, eine immer wichtiger werdende Methode zur Messung der ökologischen Leistungsfähigkeit eines Bauproduktes.

In der *Sachbilanz* werden alle für das Produkt erforderlichen Ausgangsstoffe dargestellt und deren Herkunft, Energieverbrauch, Emissionen und Abfallprodukte bei Herstellung, Transport und Einbau sowie die Wirkungsbilanz dieser Stoffe auf den Menschen, die natürlichen Ökosysteme, das Klima und unsere Ressourcen, Treibhauseffekt, Toxizität, Strahlung, Land- und Wasserverbrauch etc. erfasst.

Bei der *Ökobilanz* unterscheidet man verschiedene Lebensphasen des Bauprodukts (Produktion: Rohstoffgewinnung, Herstellung der Baustoffe, Konstruktion aus Baustoffen, Installation, Transporte etc.), über die Gebäudenutzung (Betrieb, Unterhalt, Reparatur, Austausch) bis zur Entsorgung (Abbruch, Transport, Recycling oder Deponie). Die Bilanzierung untersucht und quantifiziert die unterschiedlichen Wirkungsweisen auf die natürliche Umwelt in den verschiedenen Lebensphasen des Produkts und liefert damit eine verlässliche und vergleichbare Bewertungsgrundlage.

Außerhalb des üblichen Betrachtungshorizontes „von der Wiege zur Wiege“ liegt nach wie vor die Frage der Wiederverwendung/Wiederverwertung von Abbruchbaustoffen, welche sich bisher nur als Recyclingpotenzial in Modul D der Ökobilanz ausweisen und als „mögliches“ Szenario darstellen lässt. Angaben zum Produktlebensende (EoL) werden inzwischen in der DIN EN 15804 und im Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG als verpflichtend im Planungsprozess gefordert.

In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt „UPD Lehm.1/2“ hat der Dachverband Lehm e. V. (DVL) im Zeitraum 2016–2022 erstmals Datengrundlagen/PKR/Muster-UPD für die DIN-gestützten Produktkategorien Lehmsteine (LS), Lehmmauermörtel (LMM), Lehmputzmörtel (LPM) und Lehmplatten (LP) entwickelt. Dazu wurden bei den Produktherstellern entsprechende Informationen zu den betrachteten Lebenszyklusphasen normenkonform erhoben. Mittels der entwickelten PKR/UPD konnten die am Projekt beteiligten Produkthersteller bereits während des Projektes durch Verbesserungen ihrer spezifischen Produktionsabläufe Einsparungen bei den Leitindikatoren Energieinput/CO₂-Ausstoß erreichen. Wesentliche Ergebnisse dieses Projektes werden im vorliegenden Buch dargestellt.

Die jährlich anfallenden Bau- und Abbruchabfälle bilden potenzielle Ressourcen für ein Baustoffrecycling. Obwohl im Altbaubestand ein Hauptbaustoff, sind Lehmhaltige Bau- und Abbruchabfälle bislang nicht als eigene Klasse in der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) definiert. Durch verbesserte Sortierverfahren der Reststoffe beim Gebäudeabbruch oder einen selektiven Gebäuderückbau könnte die Notwendigkeit einer eigenen Abfallgruppe begründet und entsprechende Ressourcen erschlossen werden.

Recycelte Lehmbaumstoffe können als aufbereitetes Lehm-Rezyklat Primärstoffe für die Herstellung „neuer“ Lehmbauprodukte ersetzen und damit den jährlich anfallenden, gigantischen Berg an Bau- und Abbruchabfällen verringern. Entsprechende Szenarien für die Rückgewinnung von Lehmbaumstoffen aus Gebäudeabbruch wurden im Rahmen des DBU-geförderten Projektes „UPD Lehm.1/2“ entwickelt und im Labormaßstab an der FH Potsdam erfolgreich erprobt. Inzwischen wurden auch rezyklierte Gesteinskörnungen in die Palette der Ausgangsstoffe für die Herstellung von Lehmbaumstoffen aufgenommen.

Im Ergebnis dieses Projektes hat der DVL die Rolle eines Programmbetreibers für die Erstellung/Aktualisierung von Muster-UPD für Lehmbauprodukte sowie für die Verifizierung betrieblicher Ökobilanzen auf der Grundlage von DIN EN ISO 14025 übernommen. Bis Oktober 2024 wurden sieben Hersteller-UPD in den Produktkategorien LPM, LMM und LP im Programmbetrieb des DVL verifiziert. Die entsprechenden Daten werden sukzessive in das Datenbanksystem ÖKOBAUDAT eingepflegt und im vorliegenden Buch interpretiert.

Das Buch will damit einerseits Bauwerksplaner und Architekten ermuntern, Lehmbaumstoffe in Projekten als umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen mineralischen Baustoffen verstärkt einzusetzen. Andererseits sollen Hersteller von Lehmbaumstoffen angeregt werden, eigene produktspezifische UPD im Rahmen des UPD-Programmbetriebs des DVL zu erstellen und sich damit in einem „ökologischen Wettbewerb“ zu präsentieren. Nicht zuletzt können Baustoffentsorger und Deponiebetreiber durch verbesserte Sortiertechnik mit Abbruch aus Lehmgebäuden ihre Geschäftsfelder erweitern.

Das Buch zeichnet anhand des Kreislaufmodells den Weg des Baustoffes Lehm von der Bereitstellung der Ausgangsstoffe über die Herstellung der Lehmbaumstoffe und deren Verarbeitung zu Baukonstruktionen bis zur Deponierung des Lehmabfalls oder der Wiederverwertung als Recyclinglehm in einem neuen Lehm-Baustoffkreislauf nach: die Informationsmodule IM des Bilanzierungsschemas nach DIN EN 15804 bilden jeweils eigenständige Buchkapitel. Dabei wird deutlich, welchen Beitrag die Verwendung von Lehmbaumstoffen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und damit des CO₂-Ausstoßes als wichtigstes umweltpolitisches Ziel leisten kann.

In das Buch eingeflossen sind noch neue Trends bei Herstellung und Recycling von Lehmbauprodukten, die auf der 9. Internationalen Fachtagung für Lehm- und Lehmputz des Dachverbandes Lehm e. V. im Oktober 2024 in Weimar vorgestellt wurden.

Unser Dank gilt Prof. Dr. Klaus Pistol, FB Bauingenieurwesen an der FH Potsdam, für die Bereitstellung des Bildmaterials und der Ergebnisse der Rückbauversuche mit Lehmsteinmauerwerk, Lehmputzmörtel und Lehmplatten. Unser Dank gilt ebenso Peter Breidenbach (Claytec GmbH & Co. KG) sowie Stephan Egginger (Levita Lehm) für das uns zur Verfügung gestellte Fotomaterial zu Referenzobjekten und Produktionsverfahren.

Interessenkonflikt Die Autor*innen haben keine für den Inhalt dieses Manuskripts relevanten Interessenkonflikte.

Inhaltsverzeichnis

1	Produktsystem Lehm	1
1.1	Normatives Regelwerk	2
1.2	Untersuchungsrahmen	3
1.2.1	Produktbeschreibung und Anwendungsbereiche	3
1.2.2	Produktsystem	3
1.2.3	Systemgrenze	5
1.2.3.1	Funktionale Einheit	6
1.2.3.2	Referenznutzungsdauer RSL	6
1.2.3.3	Allokation	7
1.2.4	Wirkungsabschätzung und Indikatoren Ökobilanz	8
1.2.4.1	Indikatoren Ressourceneinsatz	8
1.2.4.2	Indikatoren Umweltwirkung	10
1.2.4.3	Klassifizierung und charakteristisches Wirkungspotenzial	16
1.2.4.4	Normierung und Gewichtung	16
1.3	Kreislaufmodell Produktsystem Lehm	17
	Literatur	18
2	Bereitstellung von Ausgangsstoffen	21
2.1	Baulehm	21
2.1.1	Lehmaushub/Grubenlehm	21
2.1.1.1	Erkundung	23
2.1.1.2	Gewinnung	23
2.1.1.3	Klassifizierung	23
2.1.2	Trockenlehm/Tonmehl	26
2.1.3	Recyclinglehm	26
2.1.4	Presslehm	26
2.2	Weitere Ausgangsstoffe	28
2.2.1	Natürliche Gesteinskörnung	28
2.2.2	Holz	29

2.2.3	Pflanzenfasern/Tierhaar	29
2.2.4	Ziegelbruch	29
2.2.5	Bims	29
2.2.6	Gebälhte Leichtzusätze	29
2.2.7	Rezyklierte Gesteinskörnung	30
2.2.8	Zusatzstoffe/Zusatzmittel in UPD Lehm	30
	Literatur	31
3	Herstellung von Lehmbaustoffen	33
3.1	Aufbereitung	33
3.1.1	Natürliche Aufbereitung	34
3.1.2	Mechanisierte Aufbereitung	35
3.1.2.1	Brechen, Schneiden und Kneten	35
3.1.2.2	Sieben	35
3.1.2.3	Mahlen und Granulieren	36
3.1.2.4	Dosieren, Vereinigen, Mischen	37
3.1.2.5	Aufschlämmen	39
3.2	Formgebung	40
3.2.1	Elementierte Formgebung	41
3.2.1.1	Formgeschlagen (Pätzen)	41
3.2.1.2	Stranggepresst	42
3.2.1.3	Formgepresst	43
3.2.1.4	Streichen	43
3.2.2	Monolithische Formgebung	44
3.3	Herstellung von Lehmbaustoffen	44
3.3.1	Lehmmauermörtel LMM	45
3.3.1.1	Erdfeuchtverfahren LMM	45
3.3.1.2	Nachtrocknungsverfahren LMM	47
3.3.1.3	Trockendosierverfahren LMM	48
3.3.2	Lehmputzmörtel LPM	48
3.3.2.1	Erdfeuchtverfahren LPM	49
3.3.2.2	Trockenverfahren LPM	49
3.3.3	Lehmsteine LS	52
3.3.3.1	Formgeschlagen LS	53
3.3.3.2	Formgepresst LS	55
3.3.3.3	Stranggepresst LS	55
3.3.3.4	Gestampft LS	56
3.3.4	Lehmplatten LP	56
3.3.4.1	Gestrichen LP	58
3.3.4.2	Formgepresst LP	60
3.3.4.3	Stranggepresst LP	63

3.4	Trocknung	63
3.4.1	Freilufttrocknung	64
3.4.2	Technische Trocknung	65
3.4.3	Theoretischer Energiebedarf zur Trocknung	66
3.4.4	Trocknungstechniken in der Praxis	67
3.4.4.1	Kraft-Wärme-Kopplung KWK	67
3.4.4.2	Holzbefeuerte Trockenkammern	67
3.4.4.3	Passive Solartrocknung	67
3.5	Sach- und Ökobilanzierung	68
3.5.1	Ergebnisse der Sachbilanzen	70
3.5.2	Ergebnisse der Ökobilanzen	74
3.5.2.1	Lehmmauermörtel LMM	75
3.5.2.2	Lehmsteine LS	80
3.5.2.3	Lehmputzmörtel LPM	85
3.5.2.4	Lehmplatten LP	94
3.6	Zusammenfassende Bewertung der UPD-Ergebnisse	98
3.6.1	Lehmsteinmauerwerk LSM – kreislaufgerechtes Bauen mit LS und LMM	99
3.6.2	LPM – Ressourcen- und klimaschonende Produktion und Anwendung	99
3.6.3	Lehmplatten LP – alternative/innovative Trocknungsverfahren	100
	Literatur	102
4	Errichtung von Baukonstruktionen	105
4.1	Einbauphase	106
4.2	Bauteile und Bautechniken	106
4.2.1	Fußböden	107
4.2.2	Wandkonstruktionen	108
4.2.2.1	Stampflehm	109
4.2.2.2	Wellerlehm	111
4.2.2.3	Lehmsteinmauerwerk	112
4.2.2.4	Traditionelle Ausfachungen	112
4.2.2.5	Ausfachungen von Holzskelett-Konstruktionen im Neubau	114
4.2.2.6	Trockenbau	114
4.2.3	Decken	116
4.2.4	Lehmputz	118
4.2.5	Technischer Ausbau	119
	Literatur	123

5	Nutzungsphase	125
5.1	Umnutzung	125
5.2	Instandhaltung	126
5.3	Reparatur	128
	Literatur	129
6	Gebäudeabbruch	131
6.1	Ende Nutzungsphase	131
6.1.1	Rechtliche Grundlagen	132
6.1.2	Demontagestufen	133
6.1.3	Sortieren/Trennen	134
6.2	Arbeiten zum Gebäudeabbruch	135
6.2.1	Abbruch LSM	136
6.2.2	Abriss LPM	136
	Literatur	137
7	Recycling	139
7.1	Kreislaufwirtschaft (Lehm)bau	139
7.2	Recycling Lehmbaustoffe	141
7.3	Experimentelle Untersuchungen zum Rückgewinnungspotenzial	142
7.4	Abbruch- und Aufbereitungsverfahren	144
7.4.1	Inputfaktoren Abbruch IM C1 u. Aufbereitung IM C3	144
7.4.2	Umweltwirkungsfaktoren Abbruch IM C1 u. Aufbereitung IM C3	145
7.4.3	Outputfaktoren Abbruch IM C1 u. Aufbereitung IM C3	146
7.5	Rückgewinnung Lehmbaustoffe	147
7.5.1	Lehmputzmörtel LPM	147
7.5.1.1	Experimentelle Arbeiten LPM	149
7.5.1.2	Rückgewinnungspotenziale LPM	150
7.5.1.3	Perspektiven LPM	152
7.5.2	Lehmplatten LP	152
7.5.2.1	Experimentelle Arbeiten LP	153
7.5.2.2	Rückgewinnungspotenziale LP	155
7.5.2.3	Perspektiven LP	157
7.5.3	Lehmsteinmauerwerk LSM	157
7.5.3.1	Experimentelle Arbeiten LSM	157
7.5.3.2	Rückgewinnungspotenziale LSM	160
7.5.3.3	Perspektiven LSM	163
7.6	Weiterverwertung von Recyclinglehm	164
	Literatur	164

8	Entsorgung	167
8.1	Deponieklassen DepV	167
8.2	Abfallarten/Abfallschlüssel AVV	168
8.3	Ersatzbaustoffverordnung EBV	169
	Literatur	174
9	Transport	175
	Literatur	176
10	Programmbetrieb	177
10.1	Organisationsstruktur	177
10.2	ILCD + EPD-kompatibler Datentransfer ÖKOBAUDAT	180
	Literatur	181
11	Perspektiven für den Lehm	183
	Literatur	185
	Symbolverzeichnis	187

Abkürzungsverzeichnis

Nachfolgende Begriffe und Abkürzungen werden im Buch häufig verwendet:

Begriffe

<i>Bauprodukte</i>	Gegenstände, die hergestellt werden, um in ein Bauwerk eingefügt zu werden
<i>Produktkategorie</i>	eine Gruppe von Bauprodukten, die gleichwertige Funktionen erfüllen können
<i>Produktkategorieregeln</i>	(PKR) nach DIN EN 14025 enthalten eine Zusammenstellung spezifischer Regeln, Anforderungen oder Leitlinien, um Typ III Umweltproduktdeklarationen für eine oder mehrere Produktkategorien zu erstellen. PKR werden in einem öffentlichen Fachdiskurs erstellt
<i>Typ III Umweltproduktdeklarationen</i>	(UPD) nach DIN EN 14025 sind freiwillig und stellen auf der Grundlage festgelegter Parameter quantitative, umweltbezogene Daten und ggf. umweltbezogene Informationen bereit, die den Lebensweg des Produkts vollständig oder in Teilen abbilden. Die Grundregeln für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen für Baustoffe sind in DIN EN 15804 festgelegt
<i>Produktsystem</i>	Anzahl von Prozessen mit Elementar- und Produktflüssen, die eine oder mehrere definierte Funktionen erfüllen und die den Lebenszyklus eines (Bau)produktes modellieren

<i>Ökobilanz (LCA)</i>	nach DIN EN 15804 Zusammenstellung und <i>Beurteilung</i> der In- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Bauproduktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus
<i>Sachbilanz (LCI)</i>	Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und <i>Quantifizierung</i> von In- und Outputs eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus umfasst
<i>Wirkungsabschätzung (LCIA)</i>	Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient
<i>Informationsmodul (IM)</i>	Datensatz, der die Grundlage einer Typ III UPD bildet und ein oder mehrere, den Lebenszyklus des Produktes in Teilen beschreibende Prozessmodule umfasst
<i>Prozessmodul</i>	kleinster in der Sachbilanz berücksichtigter Bestandteil, für den In- und Outputdaten quantifiziert werden
<i>Funktionale Einheit</i>	quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit
<i>Deklarierte Einheit</i>	Menge eines Bauproduktes, die als Bezugseinheit in einer UPD für eine Umweltdeklaration dient, die auf einem oder mehreren Informationsmodulen basiert
<i>Abschneidekriterien</i>	Festlegung der Stoffmenge, eines Energieflusses oder des Grades von Umweltrelevanz, die/der mit Prozessmodulen oder Produktsystemen verbunden sind, welche von einer Studie auszuschließen sind
<i>Allokation</i>	Zuordnung der In- oder Outputflüsse eines Prozesses/Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem/mehreren anderen Produktsystemen
<i>Wirkungsindikator</i>	quantifizierbare Darstellung einer Wirkungskategorie
<i>Szenario</i>	Erfassung von Annahmen und Angaben, die eine erwartete Abfolge möglicher zukünftiger Ereignisse betreffen
<i>Programmbetreiber</i>	sind Einrichtungen/Körperschaften, die ein Programm für Typ III UPD nach DIN EN ISO 14025 betreiben. Dies können Herstellerverbände, Ämter/Behörden oder eine unabhängige wissenschaftliche oder andere Einrichtung sein

Abkürzungen Text

PKR	Produktkategorieregeln (engl.: PCR – Product Category Rules)
UPD	Umweltproduktdeklaration (engl.: EPD – Environmental Product Declaration)
LCA	Ökobilanz (engl.: Life Cycle Assessment)
LCI	Sachbilanz (engl.: Life Cycle Inventory analysis)
LCIA	Wirkungsabschätzung (engl.: Life Cycle Impact Assessment)
LS	Lehmstein
LSM	Lehmsteinmauerwerk
LMM	Lehmmauermörtel
LPM	Lehmputzmörtel
LKAM	Lehmklebe- und Armiermörtel
LDB	Lehmdünnlagenbeschichtung
LP	Lehmplatte
LR	Lehmbauregeln des Dachverbandes Lehm e. V. (DVL)
AVV	Europäische Abfallverzeichnis-Verordnung
EBV	Ersatzbaustoffverordnung

Abkürzungen Ökobilanzindizes

PERE	Nutzung erneuerbarer Primärenergie, ausgenommen erneuerbare Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden
PERM	Nutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden
PERT	Gesamtnutzung erneuerbarer Primärenergieressourcen (Primärenergie und Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden)
PENRE	Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen außer nicht erneuerbare Energieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden
PENRM	Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden
PENRT	Gesamtnutzung nicht erneuerb. Primärenergieressourcen (Primärenergie u. Primärenergieressourcen, die als Rohstoffe verwendet werden)
PEI	Primärenergieinput gesamt
SM	Nutzung von Sekundärstoffen
RSF	Nutzung erneuerbarer Sekundärbrennstoffe
NRSF	Nutzung nicht erneuerbarer Sekundärbrennstoffe
FW	Nettonutzung von Frischwasser
GWP_{total}	Globales Treibhausgaspotenzial als Summe aus GWP_{fossil} , GWP_{biogen} und GWP_{luluc}

GWP_{fossil}	Treibhausgaspotenzial fossiler Energieträger und Stoffe (DIN EN 15804, C.2.3)
GWP_{biogen}	Treibhauspotenzial biogen (DIN EN 15804, C.2.4), z. B. biogener Kohlenstoffgehalt
GWP_{luluc}	Treibhauspotenzial der Landnutzung u. Landnutzungsänderung (engl.: luluc: land use and land use change)
ODP	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht
AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser
EP	Eutrophierungspotenzial
POCP	Potenzial hinsichtlich der Bildung von troposphärischem Ozon
ADPE	Potenzial für den abiotischen Ressourcenabbau – Elemente für nicht fossile Ressourcen
ADPF	Potenzial für den abiotischen Ressourcenabbau – fossile Brennstoffe
HWD	Gefährlicher Abfall zur Deponie
NHWD	Entsorger nicht gefährlicher Abfall
RWD	Entsorger radioaktiver Abfall
CRU	Komponenten für die Wiederverwendung
MFR	Stoffe zum Recycling
MER	Stoffe für die Energierückgewinnung
EEE	Exportierte Energie elektrisch
EET	Exportierte Energie thermisch
PM	Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen
IRP	Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235
CTU_e	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme
CTU_h	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen, kanzerogen
CTU_{nc}	Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen, nicht kanzerogen
SQP	Potenzieller Bodenqualitätsindex
IND	nicht deklariertes Umweltfaktor
MB	Modul beschrieben, nicht quantifiziert
MNR	Modul nicht relevant

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Prozessmodule für das Produktsystem „Lehmmörtel“, IM A1–A3, Flussbild	5
Abb. 1.2	Bilanzierungsschema nach DIN EN 15804	6
Abb. 1.3	Kreislaufmodell LCA für Bauwerke aus Lehmbaustoffen [20]	8
Abb. 2.1	Bereitstellung von Baulehm, Begriffe	22
Abb. 2.2	Lehmaushub mit angetrockneten Lehmklumpen (Agglomeratgrößen > 200 mm)	22
Abb. 2.3	Vereinfachtes bodenkundliches Normalprofil	23
Abb. 2.4	Abbau von Sekundärgrubenlehm mit Raupenbagger u. Schürfkübel	24
Abb. 2.5	Körnungslinien verschiedener Lehmarten mit petrografischen Bezeichnungen	24
Abb. 2.6	Darstellung der Grenzwassergehalte im Konsistenzdiagramm n. DIN EN ISO 17892-12	25
Abb. 2.7	Tonmehl, abgesackt	27
Abb. 2.8	Einleiten des Kies-Wasch-Schlammes in Schlammteich	27
Abb. 2.9	Presslehm nach Durchlaufen des Kies-Wasch-Schlammes durch Kammerfilterpresse	28
Abb. 2.10	Kreuzkompatibilität von aufbereitetem Lehm-Abbruchmaterial als Ausgangsstoff für neue Lehmbaustoffe	31
Abb. 3.1	Mechanismen zur Aufbereitung von Lehmaushub: grob zerkleinern, brechen, kneten	36
Abb. 3.2	Rotations- oder Trommelsieb/Schema	37
Abb. 3.3	Feinmahlen von Lehmaushub in Kugelmühle /Schema [6, 8]	38
Abb. 3.4	granuliertes Tonmehl	38
Abb. 3.5	Automatische Dosier- und Mischanlage zur Herstellung von LPM. (Qu.: Claytec)	39
Abb. 3.6	Mischen mit Zwangsmischer/Rührquirl	40

Abb. 3.7	Übergießen des ausgebreiteten Strohs mit Lehmschlämme	40
Abb. 3.8	Patzen in Holzform	42
Abb. 3.9	Patzen in Formkammer mit Arbeitstisch und Fußpedal	42
Abb. 3.10	Formgebung von Lehmsteinen mittels Strangpressen	43
Abb. 3.11	Monolithische Formgebung für Baukonstruktionen aus STL, Schalungssystem [16, 10]	45
Abb. 3.12	Produktionsschema „Erdfeuchtverfahren“ für LMM „schwer“	47
Abb. 3.13	Produktionsschema „Nachtrocknungsverfahren“ für LMM „leicht“	48
Abb. 3.14	Produktionsschema „Erdfeuchtverfahren“ für LPM	50
Abb. 3.15	Silo- und Trockendosieranlage für LPM. (Qu.: Claytec)	51
Abb. 3.16	Produktionsschema „Trockendosierverfahren“ für LPM	52
Abb. 3.17	Produktionsschema „formgeschlagene Leichtlehmsteine“ LLS AK Ia	54
Abb. 3.18	Produktionsschema für die mechanisierte Herstellung technisch getrockneter, formgeschlagener LS AK Ib	54
Abb. 3.19	Kniehebelpresse, gepresster	55
Abb. 3.20	Hydraulische Lehmsteinpresse, Pressdruck Formling wird entnommen [4] wird seitlich eingetragen [18]	56
Abb. 3.21	Freilufttrocknung großformatiger LS aus STL (Druckerei Pielach, Österreich/STL, M. Rauch)	57
Abb. 3.22	im Werk hergestellte, zu tragenden Wandkonstruktionen verarbeitete großformatige LS aus STL	57
Abb. 3.23	Produktionsanlage zur Fertigung von „bandgestrichenen“ Lehmplatten (Fa. Muhr, Emmerich)	59
Abb. 3.24	Produktionsanlage zur Fertigung von „formgestrichenen“ Lehmplatten (Qu.: ClayTec)	59
Abb. 3.25	Materialaufbereitung und -transport	60
Abb. 3.26	Vollautomatisiertes Plattenwendemodul	61
Abb. 3.27	Produktionsschema von band- und formgestrichenen LP	61
Abb. 3.28	Produktionsanlage zur Fertigung von „formgepressten“ Lehmplatten (www.lemix.de)	62
Abb. 3.29	Produktionsschema Lehmplatten „formgepresst“	62
Abb. 3.30	Regaltrocknung von LS	64
Abb. 3.31	Freilufttrocknung von LS in trocken-heißen Klima- im Folienzelt gebieten	65
Abb. 3.32	Umgenutzte Gewächshausanlage mit Regalsystemen in Trockentunneln für Solartrocknung von LP (Qu.: Claytec)	68
Abb. 3.33	Plattenhandling mittels Roboter. (Qu.: Claytec)	69
Abb. 3.34	Wenderoboter bei der Umwälzung von erdfeuchten Lehmmörteln. (Qu.: Levita)	69

Abb. 3.35	Vergleich GWP für LPM/andere Putzmörtel (mit Bandbreite einzelner LPM derselben Verfahrensart)	92
Abb. 3.36	Auswirkung von Prozessoptimierungen zur Herstellung und Trocknung von LP im Vergleich zu Durchschnittswerten der Muster-UPD	101
Abb. 4.1	Hauptbauteile eines Gebäudes, Anwendung von Lehmbaustoffen [2]	106
Abb. 4.2	Fußboden STL, Kapelle Klinikum Suhl, prinzipieller Aufbau (Worschech, 2006)	107
Abb. 4.3	Farbige Lehm-Terrazzo-Fußböden (Qu.: Claytec)	108
Abb. 4.4	Stampflehmwand mit Schalungssystem, prinzipielle Ausführung [2, 3]	111
Abb. 4.5	Transport und Montage eines vorgefertigten Stampflehmelementes	111
Abb. 4.6	Schulbau in WL-Bauweise, Meti school Bangla Desh, 2005	112
Abb. 4.7	LSM als tragende/nicht tragende Wandkonstruktion und als Ausfachung	113
Abb. 4.8	Traditionelle Ausfachungen mit Lehmbaustoffen und Holzstaken/Geflecht	113
Abb. 4.9	Holzständerbauweise mit LL-Ausfachung, Wohnungsneubau	114
Abb. 4.10	Stapelwand aus LS mit vorgesetzten LP	115
Abb. 4.11	Nicht tragende Trennwand aus Lehmplatten mit Wärmeisolation aus Schafwolle	115
Abb. 4.12	Nicht tragende Trennwand aus Innendämmplatten mit Lehmklebe- und Armiermörtel	116
Abb. 4.13	Aufgelegte Holzbalkendecke mit LS	117
Abb. 4.14	Eingeschobene Holzbalkendecke mit LS/LT	117
Abb. 4.15	Lehmwickeldecken: in Deckenfelder eingeschoben und Herstellung von Lehmwickeln für Sanierung	117
Abb. 4.16	Vorgefertigte LP zur Sanierung von Deckenkonstruktionen	118
Abb. 4.17	Auftrag des LPM als Spritzputz [7]	119
Abb. 4.18	Oberflächenbewehrung des frischen Lehmputzes mit Jutefasergewebe	119
Abb. 4.19	Traditionelle Feuerstätten, mit LS gezogene Schornsteine	120
Abb. 4.20	In Lehmputz eingebettete – Rohrschlangen zur Temperierung [2] ...	121
Abb. 4.21	LP mit integrierten Rohrschlangen	122
Abb. 4.22	„Heizwand“ aus Lehm- hohlkammerplatten (Hypokausten)	122
Abb. 5.1	Gewerbebauten aus Stampflehm STL	126
Abb. 5.2	Pueblo de Taos, NM/USA, alljährliche Sanierungsarbeiten am Lehm-Außenputz	127