

Lehmbaustoffe als Chance zur Reduktion von Mineralischen Bau- und Abbruchabfällen (CDW)

Der Bausektor zählt zu den ressourcenintensivsten Sektoren in Deutschland und ist für 51% der CO₂ Emissionen verantwortlich. Für den Bau von Gebäuden werden jährlich ca. 517 Millionen Tonnen mineralische Rohstoffe benötigt [1]. Gleichzeitig fielen in 2018 ca. 228 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfälle an, die 54,7% des gesamten Abfallaufkommens ausmachen [2].

Die im KrWG seit 2012 neu verankerte Abfallhierarchie sieht nach der Abfallvermeidung als wichtigste Instrumente die Wiederverwendung und das Recycling vor [3]. Die Wieder- oder Weiterverwendung von Bauteilen oder Bauteilkomponenten findet in Deutschland nur in sehr geringem Maße statt und beschränkt sich in den meisten Fällen auf Baumaßnahmen in der Denkmalpflege oder kleinere private Bauvorhaben. Im Baustoffrecycling hingegen konnten die Recyclingraten in den letzten 20 Jahren vor allem für mineralische Abfälle erheblich gesteigert werden. Dennoch findet der Großteil der rezyklierten Gesteinskörnungen in technisch weitgehend unregulierten Anwendungen z.B. als Verfüllmaterial im Erd-, Tief- und Straßenbau Anwendung. Durch dieses klassische Downcycling gehen wertvolle Ressourcen für technisch und wirtschaftlich hochwertige Nutzungen verloren.

Ein Großteil der mineralischen Abfälle wird trotz geänderter Gesetzgebung in Bezug auf das kreislaufgerechte Wirtschaften weiterhin deponiert. Abfallzahlen belegen, dass die mineralischen Bauabfälle mit 214,6 Millionen Tonnen (2016) den größten Stoffstrom innerhalb der nationalen Abfallbilanz darstellen. 125,2 Millionen Tonnen entfielen dabei auf Boden und Steine und 58,5 Millionen Tonnen auf Bauschutt [4]. Gerade für die Feinfraktion (Korngrößen < 2 mm), die alleine 5 Millionen Tonnen ausmacht, fehlen bislang geeignete Anwendungsmöglichkeiten, da sie gemäß

DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 im Recyclingbeton bislang nicht zugelassen sind. Diese Stoffströme werden überwiegend deponiert und nur z.T. im Straßen- und Deponiebau als Untergrund eingesetzt. Es ist zu erwarten, dass die geplante Mantelverordnung diesen Anteil weiter erhöhen wird [5].

Der Einsatz dieser Korngrößen in Lehmbaustoffen, die je nach Ausgangsstoffen und Produkt zwischen 5%–70% (nach Volumen) ausmachen, ist in den derzeit gültigen Lehmbaustoff-Normen DIN 18945 bis 18948 nicht zugelassen, da diese als Zuschlagstoffe nur natürliche Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, Ziegelmehl aus mörtelfreien Ziegeln sowie Blähperlit etc. nach DIN EN 13055-1 und als Bindemittel nur Baulehm aus natürlichen Vorkommen vorsieht.

Um den Einsatz von rezyklierten Bau- und Abbruchabfällen für Lehmbaustoffe in der Normung zu ermöglichen, müssen

- die technische Durchführbarkeit,
- Qualitätsanforderungen an Ersatzbaustoffe (z.B. Grenzwerte möglicher Schadstoffe in Bezug auf gesundheitliche- und Umweltverträglichkeit (Grundwasser/Boden) sowie gefährlicher Substanzen)
- zulässige Anteile der Rezyklate geregelt werden.

Im Rahmen des EU finanzierten Forschungsprojekt RE⁴–REuse and REcycling of CDW materials and structures in energy efficient pREfabricated elements for building REfurbishment and construction wurden Konzepte zur Minimierung verschiedenster Abfallströme entwickelt und Strategien aufgezeigt, wie diese in den Gebäudekreislauf zurückgeführt und langfristig in diesem gehalten werden können. Diese Studie fokussiert auf die Entwicklung von Lehmbau-

stoffen auf Basis mineralischer Abfälle. Ziel ist es vor allem Anwendungen für die Fein- und Feinstfraktionen zu entwickeln, da diese für die Herstellung von Recyclingbeton nur schwer beziehungsweise gar nicht zu verwerten sind. Materialentwicklungen wurden für Lehmputz-, Lehmmauermörtel und Stampflehm durchgeführt.

Zudem werden in einer experimentellen Studie Möglichkeiten der zirkulären Nutzung untersucht und das Rückbau- und Wiederverwendungspotenzial von unterschiedlichen Lehmstoffen (Lehmputzmörtel, Lehmkleber, Lehmplatten) und Ergänzungsprodukten (Armierungsgewebe, Schrauben) am Beispiel eines Innenwandsystems aufgezeigt. Diese wurde am Ende der Nutzungsdauer (ca. 1 Jahr) in einer Büroerweiterung rückgebaut und sollte an einem neuen Standort wiedererrichtet werden. Die einzelnen Produkte wurden nach ihrem Potenzial in Bezug auf direkte Wiederverwendung und Recycling bewertet. Eine begleitende Lebenszyklusanalyse (LCA) liefert wertvolle Ergebnisse bezüglich der Nachhaltigkeitskennwerte von Lehmstoffen.

Materialien und Testmethoden

Materialbereitstellung

Lehmstoffe zeichnen sich durch ein überdurchschnittlich hohes Potenzial in Bezug auf ihre Wieder- bzw. Weiterverwendbarkeit aus. Geht es jedoch um die Materialentwicklung von Lehmstoffen auf Basis von Bau- und Abbruchabfällen gibt es bislang wenig Ansätze die technische und wirtschaftliche Machbarkeit zu untersuchen. Neben der Tatsache, dass der Lehmbau nur einen geringen Marktanteil hat, ist anzunehmen, dass ähnlich wie bei anderen Baustoffen, der einfache und bislang kostengünstige Zugang zu Primärrohstoffen, die variierende Zusammensetzung und Qualität der Ersatzbaustoffe und damit einherge-

hende Fragen wie beispielsweise das Auftreten unerwünschter Schadstoffen die Hauptgründe dafür sind.

Im Rahmen des RE⁴ Projektes wurde dieser Fragestellung nachgegangen. Der Fokus wurde dabei auf rezyklierte Gesteinskörnungen < 2 mm sowie Rückstände aus den Waschprozessen der Rezyklate gelegt, da diese für die Herstellung von Recyclingbetonen nicht zugelassen und nahezu vollständig deponiert werden. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die zentrale Frage möglicher Schadstoffgehalte nicht behandelt wurde, da die Untersuchung nur einen Teilaspekt im Gesamtprojekt darstellte. Um das Thema wechselnder Qualitäten der Ersatzbaustoffe aufgrund unterschiedlicher Baumaterialien und -methoden abbilden zu können, wurde mit Rezyklaten aus verschiedenen Regionen Europas (Nord- (NE) und Südeuropa (SE)) gearbeitet.

Die eingehenden Chargen wurden projektbedingt in verschiedenen Sortierqualitäten durch einen der Projektpartner (CDE) bereitgestellt sowie käuflich erworben. Erste Tests wurden mit Recyclingmaterial durchgeführt, das nur einen einfachen Sortierprozess durchlaufen hatte. Visuelle Inspektionen bestätigten dieses und ergaben, dass diese Chargen eine Vielzahl von Störstoffen wie beispielsweise Glas, Ziegel und Fliesen aufwiesen. Weitere Mischungen wurden auf Grundlage einer verbesserten Sortierung des Grundmaterials hergestellt. Tab. 1 gibt einen Überblick über die für die Baustoffentwicklung genutzten Materialien, die aus Ersatzbaustoffen und einem Primärrohstoff (Baulehm) bestanden. Der Baulehm, < 0,5 mm, trocken, wurde in Berlin käuflich erworben und diente dazu, den Schluff und Ton Presskuchen bei Bedarf zu ergänzen. Es ist zu erwähnen, dass die rezyklierten Korngrößen 0-2 mm aufgrund der Sortiermethoden auch Teile von Schluff und Ton enthielten.

Tabelle 1. Rezyklierte Gesteinskörnungen und Primärrohstoffe und deren Verwendungszweck

Bau- und Abbruchabfälle	Primärrohstoffe	Korngrößen	Herkunft	Nutzung
Schluff und Ton Presskuchen		< 0,063 mm	SE/NE	Binder für Stampflehm
Sand		0 – 2 mm	SE/NE/Berlin	Zuschlag für Lehmputzmörtel, -mauermörtel und Stampflehm
Feiner Kies		2 – 8 mm	SE/NE	Zuschlag für Stampflehm
Mittlerer Kies		8 – 16 mm	SE/NE	Zuschlag für Stampflehm
	Baulehm	< 0,5 mm	D	Binder für Lehmputzmörtel, -mauermörtel und Stampflehm

Methodik

Für die Materialentwicklung wurden zwei unterschiedliche Strategien angewendet. Für Lehmputz- und Lehmmauermörtel wurde ein fertiges Bindemittel verwendet, das vom Hersteller in Bezug auf seine Bindekraft gemäß Lehmbauregeln geprüft wurde [6]. Durch diese Herangehensweise konnte der Fokus der Entwicklung auf die Maximierung der Rezyklatanteile für die jeweilige Mischung gelegt werden. Um die Effizienz der Materialentwicklung zu erhöhen, sollte eine Mischung entwickelt werden, die als Lehmputz- sowie als Lehmmauermörtel verwendet werden kann. Da einige Chargen des Eingangsmaterials über eine geeignete Korngrößenverteilung verfügten, die für die Entwicklung von Stampflehm erforderlich ist, wurde die Strategie für diese Materialentwicklung angepasst. Um auch das Bindemittel aus Rezyklaten herzustellen und diese zu maximieren, wurde der Schluff und Ton Presskuchen vollständig verwendet und der Baulehm nur nach Bedarf hinzugefügt. Diese Strategie konnte verfolgt werden, da die Einstellung einer Stampflehmmischung weniger komplex und die Wirkung des Bindemittels weniger ausgeprägt ist.

Bindekraftprüfung

In einem ersten Schritt wurde die allgemeine Eignung des Schluff und Ton Presskuchens für die Entwicklung eines Bindemittels mittels Achterlingsprüfung (Test zur Bestimmung der Bindekraft) nach Lehmbauregeln untersucht [6]. Das Material wurde in eine 8-förmige Prüfform eingebracht und die Bindekraft als Mittelwert aus drei durchgeführten Zugversuchen bestimmt.

Bestimmung des Kalkgehalts

Um die grundsätzliche Eignung zur Verwendung als Baustoff nachzuweisen, wurde der Kalkgehalt des Schluff und Ton Presskuchens nach Lehmbauregeln sowie nach DIN EN ISO 14688 als semi-quantitative Bestimmung des Kalkgehalts (natürlicher Kalk oder zugesetzter Kalk als Bindemittel) bestimmt [6], [7]. Dafür wurde verdünnte Salzsäure auf zerkleinertes Probenmaterial geträufelt und das Aufschäumen aufgrund von Kohlendioxid als Produkt der Reaktion zwischen Säure und Kalk bewertet.

Sieblinie

Zur Charakterisierung der Rezyklate für die Lehmputz- und Lehmmauermörtel-Entwicklung wurde die Korngrößenverteilung der Sandfraktion (0-2 mm) ermittelt und miteinander verglichen. Die finalen

Sieblinien geben Aufschluss auf die zu erwartenden mechanischen Eigenschaften und den Einfluss der Zuschlagstoffe auf die Festigkeitseigenschaften der entwickelten Lehmbaustoffe.

Prüfverfahren für Lehmputzmörtel

Die entwickelten Lehmputzmörtel wurden gemäß DIN 18947 (vorgeschriebene und freiwillige Prüfungen) geprüft, in der die Anforderungen an Lehmputzmörtel für den Einsatz im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich festgelegt sind [8]. Die Festigkeitsklasse II (S II) wurde als Ziel definiert, um eine uneingeschränkte Anwendung des Materials zu ermöglichen.

Prüfverfahren für Lehmmauermörtel

Die entwickelten Rezepturen wurden gemäß DIN 18946 (vorgeschriebene und freiwillige Prüfungen) geprüft, in der die Anforderungen an Lehmmauermörtel für den Einsatz im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich festgelegt sind [9]. Tests zur Scherfestigkeit wurden im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt.

Prüfverfahren für Stampflehm

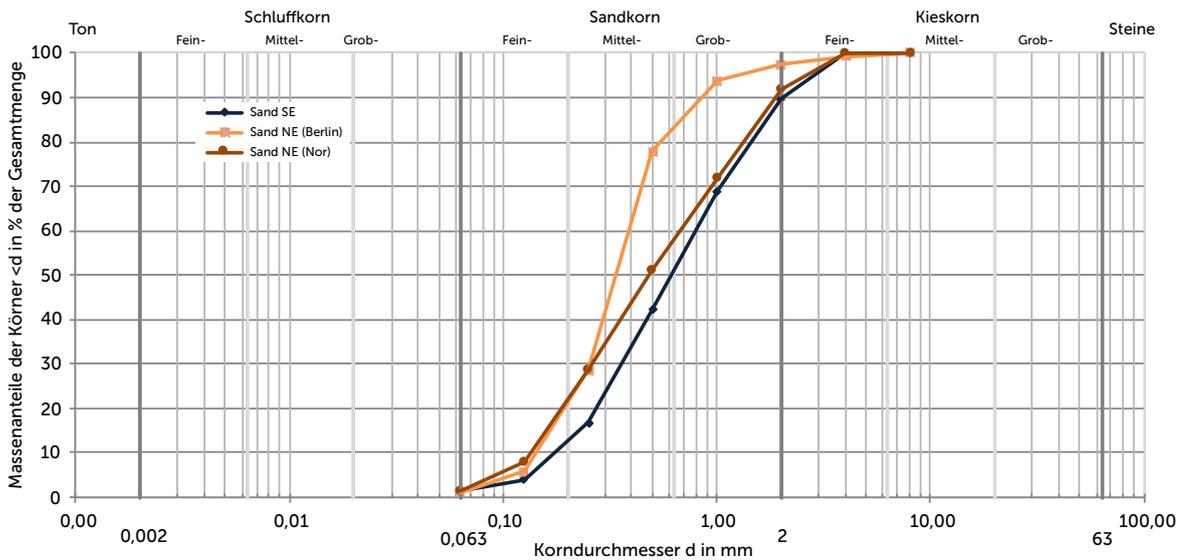
Die entwickelten Stampflehmmischungen wurden in Bezug auf das lineare Trocknungsschwindmaß getestet. Ferner wurde die Rohdichte bestimmt. Prüfungen hinsichtlich der Druckfestigkeit wurden im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt. Da die Baustoffentwicklung jedoch für nicht tragende Anwendungen vorgesehen ist, ist diese Prüfung nicht obligatorisch.

Rückbaupotenzial Lehmtrockenbauwand

Um das Potenzial der entwickelten aber auch anderer Lehmbaustoffe in Bezug auf das kreislaufgerechte Bauen zu bewerten, wurde in einer experimentellen Studie, die Rückbaufähigkeit und Wieder- bzw. Weiterverwendbarkeit von Trockenbauwänden untersucht. Dafür wurde ein 35 m² großen Innenwandsystem, das als Trennwand in einer Büroerweiterung diente, rückgebaut. Bei der Innenwand handelt es sich um eine nicht lastabtragende Holzständerkonstruktion, die mit Lehmplatten beplankt und einem 2-schichtigen Lehmputzsystem verputzt wurde. Das Lehmputzsystem wurde im ‚Nassverfahren‘ rückgebaut.

Ökobilanz

Die Ökobilanz wurde für zwei Trockenbausysteme durchgeführt. Der erste Wandaufbau bestand aus



01 Vergleich der Korngrößenverteilung für die 0-2 mm-Fraktion

Naturbaustoffen (Holzständer, Holzweichfaserdämmung, Lehmplatte, Lehmputzsystem, Silikatfarbe) und der zweite aus konventionellen Baustoffen (Metallständer, Mineralwolle, Gipskartonplatte, Dispersionsfarbe). Die Bilanzierung wurde mithilfe der Ökobaudat erstellt [10]. Auf Basis der Ergebnisse der experimentellen Studie zum Rückbaupotenzial von Lehm-trockenbauwänden, wurde angenommen, dass die Lehm-bauwand im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zweimal rück- und wieder aufgebaut werden kann.

Ergebnisse

Bindekraftprüfung

Die 8-förmigen Probekörper zeigten eine durchschnittliche Bindekraft von 157 g/m², was bedeutet, dass der Presskuchen als ‚fast fett‘ eingestuft werden kann und somit für die Herstellung von Lehm-baustoffen geeignet ist.

Bestimmung des Kalkgehalts

Der Test zeigte ein starkes, langanhaltendes Aufbrausen, was auf einen erhöhten Kalkgehalt in verschiedenen Partikelgrößen hinweist. Eine grundsätzliche Eignung des Materials für die Entwicklung von Lehm-baustoffen war aber dennoch gegeben.

Sieblinie

Die mineralischen Rezyklate aus NE und SE enthielten einen kleinen Anteil an Überkorn > 4 mm. Obwohl die Korngrößenverteilungen der verschiedenen Rezyklate ähnlich sind, wie der Verlauf der Kornverteilungskurven zeigt, liegt der größte Unterschied im Anteil der Korngröße > 0,25 mm, der bei Lieferungen aus NE etwa 8% höher war als für Lieferungen aus SE. Der Anteil des Überkorns > 4 mm des ‚Berliner Sandes‘ war signifikant höher, während der Gehalt der Kornfraktionen 2, 1 und 0,5 mm signifikant niedriger war.

Tabelle 2: Ergebnisse vorgeschriebener und freiwilliger Prüfungen gemäß [8], [9] mit optimierter Mischung (Erstprüfung).

Eigenschaft	Einheit	Rezeptur SE-2	Anforderung* / Zielwert		Ergebnis	Kommentar
			Putz	Mörtel		
Lineares Trocknungsschwindmaß	%	1.9	< 2*	< 2,5*	bestanden	wenig Reserve
Rohdichte	kg/dm ³	1.67	> 1,41*	> 1,41*	bestanden	
Biegezugfestigkeit *1	N/mm ²	1.0	> 0,7*	/	bestanden	
Druckfestigkeit *1	N/mm ²	2.7	> 1,5*	> 2,0*	bestanden	
Haftfestigkeit *1	N/mm ²	0.12	> 0,10	/	bestanden	
Abrieb *1	g	0.1	< 0,7	/	bestanden	
Wasserdampfsorptionstest (12h)	g/m ²	94	60	/	WS III	überdurchschnittlich gutes Ergebnis

*1 Festigkeitsklasse S II

Der Anteil der Feinstfraktion $< 0,063$ mm ist für alle rezyklierten Gesteinskörnungen sehr gering und macht nur ca. 1,4% des Materials aus. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die repräsentativsten Sieblinien für Rezyklate aus den verschiedenen Quellen.

Prüfverfahren für Lehmputzmörtel

Für die Materialentwicklung wurden in einem ersten Schritt unterschiedliche Mischungsverhältnisse von Rezyklaten und Bindemittel aus den unterschiedlichen Quellen (SE, NE und Berlin) getestet. Zusätzlich wurde die Verarbeitbarkeit bei der Herstellung der Mörtelmischungen und der Probekörper bewertet. Die geeignetste Mischung, die alle Anforderungen der Vorabtests nach [6] erfüllte, wurde einer vollständigen Testkampagne für Lehmputz- und Lehmmauermörtel unterzogen [8], [9]. Diese Mischung enthielt zwei Teile (nach Volumen) der 0-2 mm Rezyklate und einen Teil (nach Volumen) des Baulehms und somit insgesamt einen Rezyklatanteil von ca. 67% (nach Volumen). Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bewerten zu können, wurden Wiederholungstests durchgeführt. Tabelle 2 dokumentiert die Testergebnisse der vorgeschriebenen und freiwilligen Prüfung für die optimierte Mischung gemäß [8], [9] und zeigt, dass bei der Erstprüfung insgesamt alle Anforderungen erfüllt wurden.

Das Trocknungsschwindmaß von 1,9% lag nur knapp unter dem Grenzwert und konnte in den Wiederholungstests nicht erreicht werden. Diese Eigenschaft könnte durch Zugabe von Fasern oder durch eine weitere Optimierung der Mischung erfolgreich eingestellt werden. Fasern würden auch die Biegezugfestigkeit der Materialmischung verbessern, die nur

in der Erstprüfung und nicht im Wiederholungstest den Grenzwert eingehalten hatte. Obwohl im Rahmen des Projekts keine geeigneten Fasern aus Bauabfällen bereitgestellt wurden, wird angestrebt diese zukünftig aus Altholz zu entwickeln. Die Druckfestigkeit wurde in allen Tests mit einer deutlichen Überschreitung des Grenzwertes erreicht. Für die Haftzugfestigkeit ergab sich eine ungewöhnlich hohe Standardabweichung. Die Ergebnisse der freiwilligen Wasserdampfsorptionsprüfung erzielten mit 94 g/m^2 überdurchschnittlich gute Ergebnisse, die die Werte von Marktprodukten um ca. 30–50% übertrafen.

Prüfverfahren für Lehmmauermörtel

Da das Ziel darin bestand eine Mischung zu entwickeln, die für die Anwendung als Putzmörtel sowie als Mauermörtel geeignet ist, konnten die Prüfergebnisse der Lehmputzmörtel für die Anforderungen an Lehmmauermörtel herangezogen werden. Die entsprechenden Testergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Ergebnisse der Erstprüfung lagen über den Zielwerten. Der Scherfestigkeitstest wurde im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt.

Prüfverfahren für Stampflehm

Die Rohdichte der Mischungen ergab einen Wert von $> 1,41 \text{ kg/dm}^3$. Das lineare Trocknungsschwindmaß erreichte einen Wert von 0,25%, der unter dem Schwellenwert von 0,5% für monolithische Sichtbauteile und deutlich unter dem Wert von 2% für monolithische Bauteile liegt.

Rückbaupotenzial Lehmtrockenbauwand

Die Lehmtrockenbauwand ließ sich vollständig und annähernd zerstörungsfrei rückbauen. Das Anfeuch-

02-03 Rückbau der Lehmputzschicht





04 Sequenz Rückbauprozesse der Lehmplatten

ten des Lehmputzes erwies sich als sehr effektiv, da das eingelegte Gewebe dazu genutzt werden konnte, den Lehmputz vom Lehmkleber annähernd sortenrein zu trennen (Abb. 2 und Abb. 3). Da zwei unterschiedliche Gewebe (Glasfaser und Jute) eingebaut waren, zeigte der Rückbau, dass nur das Glasfasergewebe eine direkte Wiederverwendung ermöglicht, da das Jutegewebe zu starke Verformungen aufwies. Versuche den Lehmkleber von der Lehmplatte zu trennen waren nicht zielführend, da der Prozess sehr zeitaufwendig und die Staubbelastung extrem hoch war. Bei einigen Lehmplatten kam es zu Brüchen im Bereich der Ecken. In solchen Fällen wurden die Platten aussortiert und für ein Baustoffrecycling zurückgestellt. Auch die eingesetzten Schrauben konnten alle der Wiederverwertung zugeführt werden. Der Wiederaufbau des Wandsystems steht coronabedingt noch aus. Abbildung 4 zeigt eine Sequenz aus dem Rückbauprozesse der Lehmplatten.

Ökobilanz

In der Ökobilanz wurden sieben Wirkungsindikatoren untersucht. Die Lehmwand zeigte für sechs Indikatoren deutlich bessere Ergebnisse als das konventionelle Innenwandssystem. Allein für das Ozonzerstörungspotenzial (OPD) ist der Wert für die Lehmwand deutlich schlechter. Abbildung 5 zeigt die untersuchten Indikatoren und die Ergebnisse der Ökobilanz.

Diskussion

Bindekraftprüfung und Bestimmung des Kalkgehalts

Alle Screening-Tests, auch diejenigen, die nicht in dieser Studie veröffentlicht wurden (z.B. Wassergehalt bei Lieferung, Olfaktorischer Test), zeigten vielversprechende Ergebnisse. Der Schluff und Ton Presskuchen war im Allgemeinen für die Entwicklung von Lehmstoffen geeignet, vorausgesetzt:

- der Gehalt an organischen Substanzen ist sehr gering, um Schimmelbildung zu vermeiden;
- das Material ist ausreichend trocken, um ein gleichmäßiges Mischen mit den anderen Zuschlagstoffen zu ermöglichen;
- geeignete Zuschlagstoffen werden hinzugefügt, um das Material abzumagern und Risse zu vermeiden.

Sieblinie

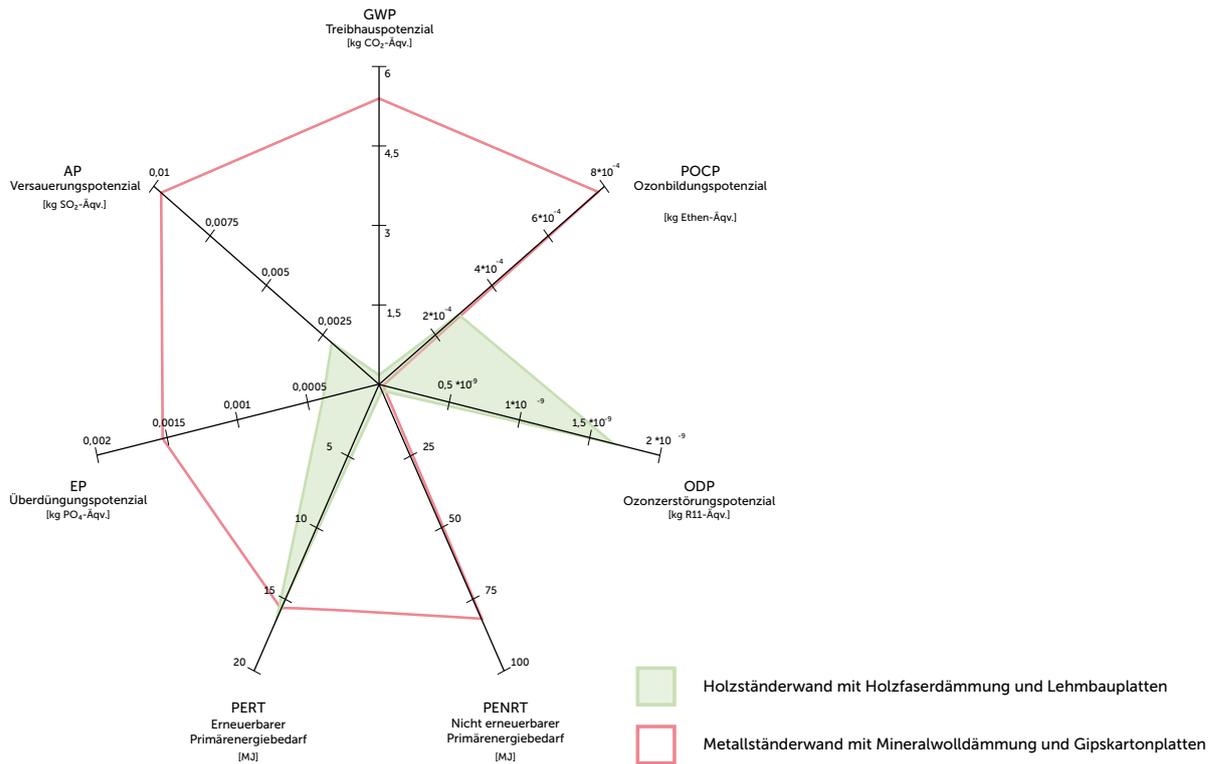
Obwohl die eingehenden Rezyklate (0-2 mm Fraktion) eine unterschiedliche Korngrößenverteilung aufwies, konnten aus allen Chargen Lehmstoffe hergestellt werden, die den Anforderungen entsprechen. Die Auswirkung durch die unterschiedlichen Kornverteilungen kann für die untersuchten Rezyklate als vernachlässigbar angesehen werden.

Prüfverfahren für Lehmputzmörtel

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass es technisch möglich ist einen Lehmputzmörtel auf Basis von rezyklierten Zuschlagstoffen anstelle von Sand aus Primärrohstoffen herzustellen und dass dieser auch als Lehmmauermörtel eingesetzt werden kann. Ein festes Mischungsverhältnis, nach dem die Anforderungen der deutschen Normen DIN 18946 und DIN 18947 zuverlässig erfüllt werden, konnte noch nicht ermittelt werden. Das nachgewiesene Mischungsverhältnis von zwei Volumenteilen Rezyklaten und einem Volumenteil Baulehm kann als Ausgangspunkt für jede Neuentwicklung angesetzt werden. Der Rezyklatanteil in der entwickelten Rezeptur betrug 67%.

Prüfverfahren für Lehmmauermörtel

Obwohl der Scherfestigkeitstest nicht durchgeführt wurde, kann festgehalten werden, dass die beste Mischung alle verbleibenden Anforderungen der DIN 18946 erfüllt.



05 Ökobilanz zweier Innenwandsysteme

Prüfverfahren für Stampflehm

Die Materialmischung für Stampflehm erfüllt alle Anforderungen für nicht lastabtragende Anwendungen und weist mit 87% den höchsten Rezyklatanteil auf. Weitere Untersuchungen sollten eine weitere Substitution des Bindemittels durch Rezyklate ermöglichen. Für tragende Anwendungen stehen noch Druckfestigkeitsprüfungen aus.

Rückbaupotenzial Lehm-trockenbauwand

Die experimentelle Studie zeigt das enorm hohe Rückbaupotenzial von Lehm-trockenbauwänden. Voraussetzung hierfür ist der selektive Rückbau als Rückbaumethode. Das Abfallaufkommen kann annähernd auf Null reduziert werden, da selbst zerbrochene Lehmplatten und nicht wiederverwendbare Schrauben einem Baustoffrecycling zugeführt werden können. Das Recyclingpotenzial des Jutefasergewebes sollte weiter untersucht werden.

Ökobilanz

Die sehr guten Ergebnisse der Ökobilanz unterstreichen das Zukunftspotenzial von Lehm-baustoffen für das kreislaufgerechte Bauen und relativieren die höheren Investitionskosten dieser Bauweise.

Das Ergebnis des OPD ist logisch nicht nachvollziehbar, wird hinterfragt und z. Zt. mit dem BBSR (He-

rausgeber der Ökobaudat) diskutiert. Es wird angenommen, dass der Wert im Verpackungsmaterials der Holzbauteile begründet liegt. Eine Aktualisierung des Datensatzes ist dringend erforderlich.

Schlussfolgerung und Ausblick

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die in dieser Studie vorgestellten Materialentwicklungen nur einen sehr geringen Aufwand erforderten und die jeweilige Baustoffanforderung ohne größere Anpassungen der Mischungen erfüllt werden. Obwohl der Schluff und Ton Presskuchen gewässert und mit Handwerkzeugen aufbereitet werden musste, konnte die Sandfraktion ohne eine weitere Aufbereitung

06 Abfallmenge aus dem Rückbauprozess von 35 m² Lehm-trockenbau



wie beispielsweise Sieben genutzt werden. Auch wenn die Ersatzbaustoffe eine gewisse Heterogenität aufwiesen, war die typische Qualität und die durchschnittliche Zusammensetzung unabhängig von der Quelle vergleichbar.

Aus zeitlichen Gründen wurde der Schluff- und Ton Presskuchen nur für Stampflehm-mischungen verwendet. Weitere Untersuchungen und Tests wären erforderlich, um beurteilen zu können, ob das fertige Bindemittel zu 100% durch den Schluff und Ton Presskuchen ersetzt werden kann. Dieses würde voraussetzen, dass das Material frei von Schadstoffen und Humus ist. Zudem müsste jede Charge des Schluff und Ton Presskuchens in Bezug auf die Eignung als Bindemittel geprüft werden, da einzelne Chargen möglicherweise nicht geeignet sind, weil sie zu wenig oder zu viel bindige Anteile enthalten, so dass eine entsprechende Anpassung notwendig wäre.

Ein Bereich geeigneter Mischungsverhältnisse kann nur sehr grob definiert werden. Sollten Lehm- baustoffe vollständig aus Ersatzbaustoffen bestehen, muss für die jeweils verfügbaren Materialien eine individuelle Bestimmung der Mischungsverhältnisse vorgenommen werden.

Die experimentelle Studie und die Ökobilanz zeigen das überdurchschnittlich hohe Potenzial von Lehm- baustoffen für das kreislaufgerechte Bauen und macht deutlich, dass durch die Verwendung hochwertiger Baustoffe und Bauweisen das durch den Bausektor bedingte Abfallaufkommen signifikant reduziert werden kann.

Danksagung

Diese Studie wurde durch die Förderung des Programms „Horizon 2020“ der Europäischen Union für das Forschungs- und Innovationsprogramm im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 723583 ermöglicht (RE⁴, www.re4.eu).

Kontaktangaben

Web: www.zrs.berlin

E-Mail: klinge@zrs.berlin

Referenzen

- [1] <https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/>, zuletzt besucht am 20.06.20 um 13:53 Uhr
- [2] https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html, zuletzt besucht am 20.06.20 um 13:39 Uhr
- [3] Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>
- [4] Kreislaufwirtschaft Bau (2016): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2016, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.: (Hrsg.), Berlin: 2018
- [5] <https://www.abbruch-mv.de/2017/11/28/so-geht-es-mit-der-mantelverordnung-weiter-bauschutt-deponien-am-limit/>, zuletzt besucht am 20.06.20 um 14:15 Uhr
- [6] Dachverband Lehm e.V. (2009). *Lehmbau Regeln Begriffe – Baustoffe – Bauteile*, Vieweg Teubner: 3, revised edition, ISBN 978-3-8348-0189-0
- [7] DIN EN ISO 14688-1: 2013-12 *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description*
- [8] Deutsches Institut für Normung (Ed.): DIN 18947:2013-08: *Lehmputze – Anforderungen an Begriffe und Definitionen, Testmethoden*, Auflage: August 2013.
- [9] Deutsches Institut für Normung (Ed.): DIN 18946:2013-08: *Lehmmörtel – Anforderungen an Begriffe und Definitionen, Testmethoden*, Auflage: August 2013.
- [10] <https://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>