

Erdbewegung

Lehm als klima- und ressourcenschonender Baustoff

U. Muñoz-Czerny, A. Rischaneck, T. Dobra,
B. Bauer, F. Dolezal, A. Breuss, C. Lechner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

03/2026

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung: Volker Schaffler

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Erdbewegung

Lehm als klima- und ressourcenschonender Baustoff

Barbara Bauer, DI Tudor Dobra, DI Dr. Franz Dolezal,
DI Ute Muñoz-Czerny BA, Markus Wurm

IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH

DI Dr. Christoph Hackspiel, DI Klemens Pühringer,
DI DDr. Andreas Rischaneck

Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik

Ing. Martin Simlinger MSc
Holzbau Simlinger GmbH

Mag. Andreas Breuss MSc

Alois Hirschmugl
Hirschmugl KG

DI Dr. Ulrike Herbig, DI Mag. Christine Lechner,
Ao. Univ.Prof DI Dr. Andrea Rieger-Jandl
TU Wien, Forschungsbereich Baugeschichte und Bauforschung

Ein Projektbericht im Rahmen der



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Wien, März 2026

Vorwort

Das 21. Jahrhundert stellt die Menschheit vor enorme Herausforderungen. Klimakrise, Umweltverschmutzung, die Zerstörung von Ökosystemen und der damit einhergehende Biodiversitätsverlust sowie die zunehmende Verknappung endlicher Ressourcen zeigen die Grenzen linearen Wirtschaftens auf und machen ein Umdenken notwendig. Nachhaltigen Wirtschaftskonzepten, wie jenen der Kreislaufwirtschaft oder der Bioökonomie, wird zur Lösung der genannten Herausforderungen eine entscheidende Rolle zugesprochen.

In einer kreislaforientierten Wirtschaft etwa werden Rohstoffe sowie die daraus produzierten Güter möglichst ressourcenschonend hergestellt, die Lebensdauer der Erzeugnisse prolongiert sowie deren Nutzung intensiviert, um so Energie- und Ressourcenverbrauch, Abfallaufkommen und Schadstoffausstoß auf ein Minimum zu reduzieren. Erst wenn Produkte nicht mehr anderweitige Verwendung finden, werden diese dem Abfallstrom zugeführt um daraus durch Recycling Sekundärrohstoffe zu gewinnen. Jene Abfälle, die sich – z.B. aufgrund ihres Schadstoffgehalts – nicht zur stofflichen Verwertung eignen, können unter anderem energetisch genutzt werden.

In Ergänzung dazu steht die Bioökonomie – ein Konzept, das in möglichst allen Bereichen und Anwendungen fossile Ressourcen durch nachwachsende Rohstoffe ersetzen soll. Aber auch biogene Ressourcen sind nicht unbegrenzt verfügbar. Daher ist es sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen notwendig, Biomasse möglichst vollständig zu verwerten, beziehungsweise Konzepte zu entwickeln, die eine ressourceneffiziente Nutzung berücksichtigen und höhere Wertschöpfung erzielen. Zugleich soll auch hier eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft unterstützt werden, welche – neben der kaskadischen Nutzung – auf die Rückführung von biogenem Material in den Produktionskreislauf, die Verwertung von Reststoffen und eine vollständige Schließung des Kohlenstoffkreislaufs abzielt.

Für eine Transformation unseres linearen Wirtschaftssystems hin zur Kreislaufwirtschaft sind neue technologische Ansätze, innovative Geschäftsmodelle, systemisches interdisziplinäres Denken, enge Vernetzung der Akteure und verbessertes Informationsmanagement notwendig.

Um diese Umgestaltung zu unterstützen, fördert das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) gezielt angewandte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Schwerpunkt Kreislaufwirtschaft, mit dem Ziel Innovationen anzustoßen und die langfristige Wettbewerbsfähigkeit des österreichischen Wirtschaftsstandorts zu stärken.

Der vorliegende Bericht dokumentiert in umfassender Weise die Ergebnisse eines F&E-Projektes, gefördert im Rahmen der FTI Initiative Kreislaufwirtschaft der Sektion Innovation und Technologie im BMK. Unsere Motivation ist es, kontinuierlich Ergebnisse geförderter Projekte zentral, themenübergreifend und öffentlich zugänglich zu machen. Damit wollen wir einen Anstoß zur Lösung unserer großen gesellschaftlichen Herausforderungen geben und folgen dem Ziel des BMK, unter der Initiative „open4innovation“ (www.open4innovation.at) die Basis für Vernetzung und für die Gestaltung von Neuem zu schaffen.

René ALBERT

Koordinator des FTI-Schwerpunktes Kreislaufwirtschaft

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	9
2	Abstract.....	14
3	Ausgangslage.....	18
4	Regulatorische Rahmenbedingungen	20
4.1.	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	20
4.1.1.	Vorgaben aus dem Bautechnikgesetzen/Bundesvergabegesetz.....	20
4.1.2.	Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaunormen	33
4.1.3.	Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehmabau	35
4.2.	Methoden	42
4.2.1.	Vorgaben aus dem Bautechnikgesetzen/Bundesvergabegesetz.....	42
4.2.2.	Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaunormen	43
4.2.3.	Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehmabau	52
4.3.	Ergebnisse	93
4.3.1.	Vorgaben aus dem Bautechnikgesetzen/Bundesvergabegesetz.....	93
4.3.2.	Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaunormen	105
4.3.3.	Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehmabau	106
4.4.	Schlussfolgerungen	110
4.4.1.	Vorgaben aus dem Bautechnikgesetzen/Bundesvergabegesetz.....	110
4.4.2.	Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaunormen	110
4.4.3.	Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehmabau	111
5	Drehscheibe Lehm	136
5.1.	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	136
5.1.1.	Ausgangssituation.....	136
5.1.2.	Nationale und internationale Initiativen und Projekte	137
5.1.3.	Zielsetzung.....	138
5.2.	Methoden	138
5.2.1.	Qualitative Erhebung	138
5.2.2.	Quantitative Erhebung	139
5.2.3.	Begehungen und Fallbeispiele.....	139
5.2.4.	Recherche	140
5.3.	Ergebnisse	140
5.3.1.	Rechercheergebnisse zu Aushubplattformen	140
5.3.2.	Ort der Aushubaufbereitung	141
5.3.3.	Aufbereitungstechniken	142
5.3.4.	Strategische Lösungsansätze	144
5.4.	Schlussfolgerungen	145

6	Umweltwirkungen von Lehm und Baustoffkombinationen	148
6.1.	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	148
6.2.	Methoden	149
6.2.1.	Indikatoren zur Ressourcennutzung (A1-A3).....	149
6.2.2.	Indikatoren zu Transport und Errichtung (A4+A5)	150
6.2.3.	Indikatoren, die soziale Komponenten und den gesamten Produktlebenszyklus einbeziehen.....	151
6.2.4.	GWP der standardisierten Lebenszyklusbetrachtung	151
6.2.5.	Dynamische Betrachtung der Klimawirksamkeit.....	152
6.2.6.	Angewandte Methode für die dynamische Betrachtung der Klimawirksamkeit	153
6.3.	Ergebnisse	154
6.3.1.	Ergebnisse des GWP der standardisierten Lebenszyklusbetrachtung	154
6.3.2.	Ergebnisse der dynamischen Betrachtung der Klimawirksamkeit	159
6.4.	Schlussfolgerungen	164
7	System mit Lehm	166
7.1.	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	166
7.2.	Methoden	170
7.2.1.	Holz-Lehmverbundtechnik® (HLV-Technik).....	170
7.2.2.	Außenwandbauteil in Holz-Lehmverbundbauweise®	171
7.2.3.	Innenwandbauteil.....	181
7.2.4.	Holz-Lehmestrich	181
7.2.5.	Holz-Lehmschüttungen.....	183
7.2.6.	Hanf-Lehmdichtschlämme.....	183
7.3.	Ergebnisse	184
7.3.1.	Außenwand.....	187
7.3.2.	Luftdichtheit	187
7.3.3.	Innenwände.....	189
7.3.4.	Holz-Lehmestrich und Lehmschüttung.....	190
7.3.5.	Hanf-Lehmdichtschlämme.....	193
7.4.	Schlussfolgerungen	194
8	Aus- und Weiterbildung im Lehmbau	196
8.1.	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	196
8.2.	Methoden	196
8.3.	Ergebnisse	198
8.3.1.	Österreichische Lehmbautagung.....	198
8.3.2.	Integration von Lehmbau in bestehende Lehrpläne	198
8.3.3.	Entwicklung einer eigenständigen Lehmbauausbildung	199
8.4.	Schlussfolgerungen	200
9	Ausblick und Empfehlungen	202

10 Verzeichnisse.....	206
11 Anhang.....	220

1 Kurzfassung

Ausgangssituation und Zielsetzung

Der Bausektor steht vor einer massiven Herausforderung: Er ist weltweit für 30 % des Energieverbrauchs und 40 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Angesichts der zunehmenden Rohstoffknappheit, anhaltender Lieferengpässe und des stark gestiegenen Ressourcenverbrauchs im vergangenen Jahrhundert ist ein grundlegendes Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft erforderlich. Aktuell stellen Aushubmaterialien in Österreich mit jährlich rund 40 Millionen Tonnen – das entspricht knapp 60 % des Gesamtabfallaufkommens - den weitaus größten Massenstrom an Abfällen dar. Davon wurden allein im Jahr 2023 etwa 21 Millionen Tonnen deponiert, anstatt sie einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

Obwohl Lehm als Baustoff seit Jahrtausenden bewährt ist, findet er im modernen urbanen Bereich bzw. in großvolumigen Bauvorhaben derzeit kaum Anwendung. Wesentliche Hindernisse sind die rechtliche Unsicherheit, mangelnde Erfahrung mit dem Material – insbesondere bezüglich des direkt auf der Baustelle gewonnenen Ortlehms – sowie fehlende normative Vorgaben, die Planer:innen und Anwender:innen vor große Herausforderungen stellen. Zudem verfügen zwar industrielle Hersteller:innen über die notwendigen Daten für ökologische Deklarationen, doch für kleine, regionale Produzent:innen sind die Kosten und Aufwände für solche Nachweise oft zu hoch, da bestehende Regelwerke auf die internationale Großindustrie zugeschnitten sind. Auch ist das Wissen über den Lehmbau im Laufe der Zeit durch die vermehrte Anwendung industrieller Baustoffe weitgehend verloren gegangen und in aktuellen Lehrplänen technischer Schulen nur marginal vertreten.

Zentrale Zielsetzung war daher, Grundlagen zu schaffen, die dabei unterstützen, den Baustoff Lehm von einem Nischenprodukt zu einem standardisierten, großvolumig einsetzbaren Baustoff für den urbanen Raum zu transformieren, um CO₂-intensive Materialien zu substituieren und die Bauwirtschaft resilienter gegenüber globalen Krisen zu gestalten. Im Rahmen der Arbeit standen folgende Aspekte im Fokus:

- Überprüfung und Anpassung bautechnischer Vorgaben zur Erleichterung der Anwendung von Lehmbaustoffen
- Untersuchung der Voraussetzungen für die Nutzung von Aushubmaterial zur Herstellung von Lehmbaustoffen und die Reduktion der Deponierung
- Erarbeitung wissenschaftlich fundierter ökologischer Bewertungsverfahren für regionale Baustoffe
- Entwicklung eines kreislauffähigen Fertigbausystems aus regionalen Materialien (Holz, Lehm, nachwachsende Dämmstoffe) für den mehrgeschossigen Wohnbau
- Etablierung zertifizierter Aus- und Weiterbildungen vom Handwerk bis zur Universität

Die methodische Vorgehensweise stützte sich auf die Expertise eines multidisziplinären Konsortiums, das von bauphysikalischen Messungen und werkstofflicher Grundlagenforschung bis hin zur praktischen Umsetzung reichte. Durch Interviews und Stakeholder-Workshops wurden Impulse aus der Industrie und Architektur in das Projekt geholt.

Regulatorische Rahmenbedingungen

Zunächst erfolgte eine detaillierte Überprüfung fachrelevanter Baunormen auf ihre Anwendbarkeit für den Lehmabau, um bestehende Lücken in den normativen Vorgaben für Lehmabaustoffe zu schließen. Die methodische Vorgehensweise stützte sich primär auf strukturierte Interviews und Befragungen von Expert:innen aus Organisationen wie Austrian Standards sowie Behörden, um die rechtlichen Rahmenbedingungen und Hemmschwellen für Planer:innen zu erfassen. Parallel dazu wurde eine tiefgehende Literaturrecherche durchgeführt, die eine detaillierte Aufstellung weltweit gültiger Lehmabauregelwerke umfasste. Ein Kernpunkt der Methodik war die systematische Evaluierung fachverwandter geotechnischer Baunormen, insbesondere der ÖNORM EN ISO 17892-Reihe für Laboruntersuchungen und der ÖNORM EN ISO 14688 für die Bodenklassifikation, um deren Eignung für die Charakterisierung von Baulehm zu bestimmen. Es wurden daraufhin umfangreiche Testreihen an Baulehmen unterschiedlicher Herkunft durchgeführt, die sowohl natürlichen Aushub als auch industriell aufbereitete Lehme umfassten. Diese Proben wurden nach den zuvor identifizierten geotechnischen Normen auf ihre physikalischen Eigenschaften wie Korngrößenverteilung, Plastizität und Festigkeit geprüft, um eine wissenschaftliche Basis für die Ablösung subjektiver Handtests zu schaffen.

Die Ergebnisse zeigen, dass deutsche DIN-Normen für Lehmabaustoffe in der österreichischen Behördenpraxis bereits als Stand der Technik akzeptiert werden, was deren unmittelbare Anwendung in bautechnischen Einreichungen ermöglicht. Bei Standards aus Übersee, etwa aus Neuseeland für den Stampflehmabau, ist hingegen eine Bestätigung durch Planende erforderlich, dass das geforderte Schutzniveau, insbesondere im Hinblick auf das europäische Sicherheitskonzept der Eurocodes, eingehalten wird. Eine zentrale technologische Erkenntnis war die Bestätigung einer signifikanten Korrelation zwischen der laborbasierten Plastizitätszahl und der herkömmlichen Bindekraft. Diese Feststellung erlaubt es, den fehleranfälligen Bindekraftversuch nach den Lehmabau-Regeln durch objektive, genormte Prüfverfahren zu ersetzen, die bereits Standard in geotechnischen Gutachten sind. Zudem belegen die Daten, dass die Ausrollgrenze nahezu dem optimalen Wassergehalt bei Normsteife entspricht, was die Aufbereitung von Aushubmaterial erheblich präzisiert. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist die Feststellung eines stabilen linearen Verhältnisses zwischen Biegezug- und Druckfestigkeit bei Lehmabaustoffen, wobei die Druckfestigkeit im Durchschnitt dem Dreifachen der Biegezugfestigkeit entspricht.

Durch die Anwendung bestehender fachverwandter Prüfnormen kann eine gezielte und detaillierte Klassifizierung von Baulehm erreicht werden, die eine hohe Vergleichbarkeit und bautechnische Sicherheit für den Einsatz von Sekundärrohstoffen garantiert.

Nutzung von Aushub zur Herstellung von Lehmabaustoffen

Die entwickelte Prüfstrategie auf Basis bereits normierter Prüfverfahren stellt einen zentralen Baustein für die stoffliche Nutzung von Bodenaushub bei der Herstellung von Lehmabaustoffen dar. Ziel dieser Strategie ist es, den Prüfaufwand möglichst gering zu halten und die beteiligten Akteur:innen entlang der gesamten Prozesskette bei einer effizienten Verwertung des Materials zu unterstützen. Zur Ermittlung des Potenzials sowie der Umsetzungsbereitschaft der Unternehmen wurden sowohl qualitative als auch quantitative Erhebungen durchgeführt. Dadurch konnten relevante Erkenntnisse zu den Anforderungen und Rahmenbedingungen entlang der Prozesskette vom Aushub bis zum Einbau gewonnen werden.

Ein wesentliches Ergebnis der Untersuchung ist die mögliche Integration von Bodenaushub in die bestehende Recycling-Börse-Bau des BRV. Um den administrativen Aufwand für die Unternehmen möglichst gering zu halten, soll die Eingabemaske eine Übernahme bereits vorhandener Informationen aus Bodengutachten oder EDM-Abfalldaten ermöglichen. Für die Vermittlung von Material sind insbesondere die Parameter Menge, Güteklasse, Korngröße, Plastizität sowie die Qualitätsklasse gemäß Bundes-Abfallwirtschaftsplan relevant. Auf diese Weise kann eine standardisierte und zugleich praxisnahe Zuordnung von Angebot und Nachfrage erfolgen.

Darüber hinaus wurden verschiedene Aufbereitungsverfahren für geeignetes Aushubmaterial recherchiert. Dabei zeigte sich, dass bereits etablierte Verfahren und Geräte aus der konventionellen Bauwirtschaft grundsätzlich auch für diesen Anwendungsbereich einsetzbar sind. Besonders vorteilhaft ist die unmittelbare Vor-Ort-Verarbeitung von Aushub im Rahmen sogenannter Feldfabriken. Diese Form der Nutzung erweist sich insbesondere bei großmaßstäblichen Stadtentwicklungsprojekten als ökologisch und ökonomisch vorteilhaft, da bestehende Baustelleninfrastrukturen genutzt und Transportaufwendungen deutlich reduziert werden können. Bei kleineren Projekten erscheint hingegen die Weiterleitung des Materials an Aufbereitungsunternehmen oder Aushubdeponien zweckmäßiger. Dazu bildet die digitale Integration in die RBB die logistische Voraussetzung, um Angebot und Nachfrage regional zu vernetzen und Bodenaushub systematisch als Sekundärrohstoff für den urbanen Geschossbau zu etablieren.

Ökologische Bewertung

Die derzeitigen Regelwerke zur ökologischen Bewertung bilden die spezifischen Eigenschaften von Baustoffen wie Lehm, Stroh oder anderen biogene Materialien nur unzureichend ab. Insbesondere geringe Herstellungsaufwände, kurze Transportwege sowie die positiven Effekte regionaler Stoffkreisläufe werden in den bestehenden Bewertungsansätzen systematisch nur teilweise erfasst. Vor diesem Hintergrund erscheint die konsequente Anwendung einer dynamischen Lebenszyklusanalyse als sachgerechter, da sie im Unterschied zu statischen Verfahren nicht nur die Höhe, sondern auch den Zeitpunkt von Emissionen sowie deren Abbauverhalten in der Atmosphäre berücksichtigt. Dadurch lassen sich die vergleichsweise geringen Anfangsemissionen von Lehm und Stroh gegenüber emissionsintensiven konventionellen Baustoffen wie Beton oder Ziegeln differenzierter und methodisch belastbarer darstellen.

Für die Produktionsphase A1-A3 zeigt sich, dass biogene Dämmstoffe wie Stroh oder Hanf aufgrund ihrer Kohlenstoffspeicherung negative Treibhauspotenzialwerte aufweisen können, während Lehmstoffe vor allem durch ihren sehr geringen Energieeinsatz beeindrucken. Bei Dämmstoffen wird zugleich deutlich, dass ein sachgerechter Vergleich nur auf Grundlage einer funktionalen Bezugsgröße, insbesondere des Wärmedurchgangswiderstands beziehungsweise R-Werts, erfolgen kann. Unter dieser Voraussetzung erweist sich insbesondere Stroheinblasdämmung als vorteilhaft, da sie bezogen auf die Funktionseinheit nicht nur gute dämmtechnische Eigenschaften aufweist, sondern zugleich erhebliche Mengen biogenen Kohlenstoffs speichert.

Für holzbasierte Produkte wurden ergänzend Waldentwicklungsszenarien mithilfe des Modells PICUS simuliert, um die Speicherleistung von Wirtschaftswäldern genauer zu quantifizieren. Darüber hinaus wurden unterschiedliche (soziale) Nachhaltigkeitsbewertungsansätze als ergänzender Bewertungsansatz untersucht, die soziale Dimensionen wie regionale Beschäftigung, Wertschöpfung und Resilienz in eine umfassendere Nachhaltigkeitsbewertung einbeziehen.

Die bestehenden Normen erweisen sich insgesamt als nur eingeschränkt geeignet für regionale Materialien, da sie industriell geprägte Massenprodukte begünstigen und lokale Kreislaufvorteile unzureichend berücksichtigen. Auch die statische Bilanzierung biogenen Kohlenstoffs am Lebensende als pauschale Emission bildet Wiederverwendung oder stoffliche Weiterverwertung nicht angemessen ab. Künftig gewinnen daher Szenarien wie Pyrolyse oder Bioenergy Carbon Capture and Storage an Bedeutung, um biogene Stoffe als dauerhafte Kohlenstoffspeicher zu etablieren. Lehm besitzt dabei den zusätzlichen Vorteil, ohne chemische Veränderung und ohne zusätzliche Emissionen wieder in den Boden eingebracht werden zu können.

Holz-Lehmverbundbauweise

Ziel war es, die Praxistauglichkeit von Holz-Lehmverbund-Bauteilen (HLV®-Bauteilen) für den großvolumigen Geschossbau zu untersuchen. Das Projekt konzentrierte sich auf ein System aus Außen- und Innenwänden, Holz-Lehmestrichen, Schüttungen sowie Hanf-Lehmdichtschlämmen. Die HLV®-Technik nutzt einen mechanischen Verbund, der eine sortenreine Trennung und vollständige Kreislauffähigkeit der Materialien ermöglicht. Ein wesentlicher bautechnischer Vorteil ist, dass dicke Lehmschichten das Holz umschließen und es so dauerhaft schützen. Für die Herstellung wurden spezifische Lehmrezepturen mit Tonanteilen zwischen 25 und 50 % als ideal identifiziert. Während Außenwände auf thermische Optimierung zielten, wurden Innenwände als entkoppelte Systeme konzipiert, um die strengen Schall- und Brandschutzvorgaben für Wohnungstrennwände zu erfüllen.

Die Validierung der Systeme erfolgte durch den Bau eines 1:1 Mock-Ups. Ein entscheidendes Ergebnis war, dass die Produktion mit dem vorhandenen Gerätepark herkömmlicher Holzbau- oder Baubetriebe ohne teure Spezialmaschinen möglich ist. Die Nutzung lokaler Ressourcen reduziert Transportwege und fördert eine schadstofffreie, klimaregulierende Wohnqualität. Bei den Deckenaufbauten wurde eine verdübelte Brettstapeldecke gewählt, die in Kombination mit Holz-Lehmschüttungen sehr gute Ergebnisse für die Trittschalldämmung lieferte.

Die Geschosstauglichkeit der Komponenten wurde bestätigt, während der Rückbau des Mock-Ups die vollständige Kreislauffähigkeit unter Beweis stellte. Damit steht ein marktfähiges Bausystem bereit, das ab der Fundamentoberkante konsequent auf lokale, CO₂-neutrale Ressourcen setzt und eine signifikante Reduktion des ökologischen Fußabdrucks im Gebäudebereich ermöglicht.

Aus- und Weiterbildung

Die wachsende Nachfrage nach ressourcen- und klimaschonenden Bauweisen lässt einen zunehmenden Bedarf an qualifizierten Fachkräften in diesem Bereich erwarten. Die bautechnische Ausbildung ist jedoch bislang stark auf konventionelle Materialien ausgerichtet. Vor diesem Hintergrund entwickelte das Projektteam gezielte Maßnahmen, um den Baustoff Lehm verstärkt in die akademische, schulische und handwerkliche Ausbildung zu integrieren. Langfristig verfolgt das Vorhaben das Ziel, die Vermittlung von Lehmbauwissen durch curricular verankerte Inhalte sowie durch die Entwicklung professioneller Lehr- und Lernunterlagen für Fachschulen und Hochschulen nachhaltig zu sichern.

Im Rahmen des Projektes wurde ein „Grundkurs Lehmbau“ ausgearbeitet. Dieser umfasst 115 Lehreinheiten und ist als hybrider Zertifikatslehrgang konzipiert, um eine maximale zeitliche und örtliche Flexibilität für die Teilnehmenden zu gewährleisten. Der Kurs kombiniert theoretisches Selbststudium mittels zehn Videovorträge und eines begleitenden Kurslehrbuchs mit praktischen

Workshops. Für die Lehrmaterialien konnte eine Lizenzvereinbarung mit dem deutschen Dachverband Lehm abgeschlossen werden, was eine hohe fachliche Qualität und internationale Anschlussfähigkeit garantiert. Der Kurs richtet sich an Handwerker:innen, Architekt:innen und Baumeister:innen, steht jedoch grundsätzlich allen Interessierten auch ohne spezifisches Vorwissen offen.

Fazit

Lehm stellt aufgrund seiner Kreislauffähigkeit und ökologischen sowie gesundheitlichen Unbedenklichkeit einen zentralen Baustein für zukunftsfähige, zirkuläre Städte dar. Der großvolumige Einsatz von Lehmbaustoffen ist essenziell, da diese im Vergleich zu CO₂-intensiven Baumaterialien nur einen Bruchteil der Herstellungsenergie benötigen und keine Prozessemissionen verursachen. Durch die stoffliche Verwertung der jährlich rund 40 Millionen Tonnen Bodenaushub in Österreich kann zudem eine echte Kreislaufwirtschaft etabliert werden, die wertvolle Deponieflächen schont und die Abhängigkeit von globalen Lieferketten verringert. Über die ökologischen Vorteile hinaus reguliert Lehm hervorragend die Raumluftheuchtigkeit und bietet als schadstofffreier Baustoff eine hohe Wohnqualität.

Damit diese Transformation gelingt, müssen primär regulatorische Hürden abgebaut werden. Für die Baupraxis ist die Schaffung standardisierter Leistungsbeschreibungen erforderlich, um Lehmbaustoffe in öffentlichen Vergabeverfahren rechtssicher ausschreiben zu können. Parallel dazu muss die logistische Basis durch digitale Plattformen zur Materialvermittlung gestärkt werden. Schließlich ist eine Bildungsoffensive notwendig, um das verlorene Fachwissen systematisch in den Curricula von Fachschulen und Universitäten zu verankern und so die bautechnische Akzeptanz langfristig zu sichern.

2 Abstract

Initial Situation and Objectives

The construction sector faces a massive challenge: globally, it accounts for 30% of energy consumption and 40% of greenhouse gas emissions. In light of increasing resource scarcity, ongoing supply chain disruptions, and the sharp rise in resource consumption over the past century, a fundamental shift toward a circular economy is required. Currently, excavation materials in Austria represent by far the largest waste stream, amounting to around 40 million tonnes annually—nearly 60% of total waste generation. Of this, approximately 21 million tonnes were landfilled in 2023 alone instead of being materially reused.

Although clay has proven itself as a building material for thousands of years, it is currently rarely used in modern urban contexts or large-scale construction projects. Key barriers include legal uncertainty, lack of experience with the material—particularly with in-situ excavated clay—and missing standards, which pose major challenges for planners and practitioners. While industrial manufacturers possess the necessary data for environmental product declarations, smaller regional producers often face excessive costs and effort, as existing regulations are tailored to large-scale international industry. Furthermore, knowledge of clay construction has largely been lost over time due to the dominance of industrial building materials and is only marginally represented in current technical education curricula.

The central objective was therefore to establish a foundation to transform clay from a niche product into a standardized, widely applicable building material for urban environments, in order to substitute CO₂-intensive materials and make the construction industry more resilient to global crises. The project focused on the following aspects:

- Review and adaptation of building regulations to facilitate the use of clay-based materials
- Investigation of the conditions for using excavated soil in the production of clay building materials and reducing landfilling
- Development of scientifically sound ecological assessment methods for regional building materials
- Design of a circular prefabricated construction system using regional materials (wood, clay, renewable insulation) for multi-storey residential buildings
- Establishment of certified education and training programs from craftsmanship to university level

The methodological approach relied on the expertise of a multidisciplinary consortium, ranging from building physics measurements and material research to practical implementation. Interviews and stakeholder workshops ensured that input from industry and architecture was integrated into the project.

Regulatory Framework

First, a detailed review of relevant construction standards was carried out to assess their applicability to clay construction and to close existing gaps in normative provisions for clay building materials. The methodological approach was primarily based on structured interviews and surveys with experts from organizations such as Austrian Standards as well as public authorities, in order to identify the legal framework and barriers faced by planners. In parallel, an in-depth literature review was

conducted, including a comprehensive compilation of clay construction regulations applied worldwide

A key element of the methodology was the systematic evaluation of related geotechnical standards, in particular the ÖNORM EN ISO 17892 series for laboratory testing and ÖNORM EN ISO 14688 for soil classification, to determine their suitability for characterizing building clay. Subsequently, extensive test series were carried out on clay samples from different origins, including both natural excavation materials and industrially processed clays. These samples were tested according to the previously identified geotechnical standards for physical properties such as grain size distribution, plasticity, and strength, in order to establish a scientific basis for replacing subjective manual tests.

The results show that German DIN standards for clay building materials are already accepted as the state of the art in Austrian administrative practice, enabling their direct application in building submissions. In contrast, standards from overseas - such as those from New Zealand for rammed earth construction - require confirmation by planners that the required level of protection is met, particularly with regard to the European safety concept of the Eurocodes. A key technological finding was the confirmation of a significant correlation between the laboratory-based plasticity index and traditional binding strength. This makes it possible to replace the error-prone binding strength test defined in clay construction guidelines with objective, standardized testing methods that are already common in geotechnical assessments. Furthermore, the data show that the rolling limit closely corresponds to the optimal water content at standard consistency, which significantly improves the processing of excavated materials. Another important result is the identification of a stable linear relationship between flexural tensile strength and compressive strength in clay building materials, with compressive strength averaging approximately three times the flexural tensile strength.

By applying existing related testing standards, a targeted and detailed classification of building clay can be achieved, ensuring a high level of comparability and structural reliability for the use of secondary raw materials.

Use of Excavated Material for Clay Production

The developed testing strategy, based on already standardized testing methods, represents a key component for the material use of excavated soil in the production of clay building materials. The aim of this strategy is to keep testing efforts as low as possible while supporting all stakeholders along the entire process chain in the efficient utilization of the material. To assess both the potential and the willingness of companies to implement such approaches, qualitative and quantitative surveys were conducted. This provided relevant insights into the requirements and framework conditions along the entire process chain - from excavation to installation.

A key outcome of the study is the potential integration of excavated soil into the existing Recycling Börse Bau (RBB) of the Austrian Construction Recycling Association (BRV). In order to minimize administrative effort for companies, the input interface should allow the transfer of already available data from soil reports or EDM waste databases. The most relevant parameters for material matching include quantity, quality class, grain size, plasticity, and classification according to the Federal Waste Management Plan. This enables a standardized yet practical matching of supply and demand.

In addition, various processing methods for suitable excavated materials were investigated. It was found that established methods and equipment from conventional construction can generally be applied in this context. Particularly advantageous is the direct on-site processing of excavated material in so-called "field factories." This approach proves especially beneficial for large-scale urban development projects, as existing construction site infrastructure can be utilized and transport efforts significantly reduced. For smaller projects, however, transferring the material to processing

companies or disposal sites may be more appropriate. In this regard, digital integration into the RBB provides the logistical basis for regionally connecting supply and demand and systematically establishing excavated soil as a secondary raw material for multi-storey urban construction.

Ecological Assessment

Current frameworks for ecological assessment inadequately capture the specific properties of building materials such as clay, straw, or other biogenic materials. In particular, low production energy, short transport distances, and the positive effects of regional material cycles are only partially reflected in existing assessment approaches. Against this background, the consistent application of a dynamic life cycle assessment appears more appropriate, as - unlike static methods - it considers not only the magnitude but also the timing of emissions, as well as their behavior and degradation in the atmosphere. This allows the comparatively low initial emissions of clay and straw to be represented in a more differentiated and methodologically robust way compared to emission-intensive conventional building materials such as concrete or brick.

For the production phase A1–A3, it becomes evident that biogenic insulation materials such as straw or hemp can exhibit negative greenhouse gas potential values due to carbon storage, while clay building materials stand out primarily because of their very low energy input. At the same time, it is clear that a meaningful comparison of insulation materials can only be made on the basis of a functional unit, in particular thermal resistance (R-value). Under this condition, blown-in straw insulation proves especially advantageous, as it not only provides good thermal performance per functional unit but also stores significant amounts of biogenic carbon.

For wood-based products, forest development scenarios were additionally simulated using the PICUS model in order to more accurately quantify the carbon storage capacity of managed forests. Furthermore, various (social) sustainability assessment approaches were examined as complementary methods, incorporating social dimensions such as regional employment, value creation, and resilience into a more comprehensive sustainability evaluation.

Overall, existing standards are only of limited suitability for regional materials, as they favor industrial mass-produced products and insufficiently account for the benefits of local material cycles. Moreover, the static accounting of biogenic carbon at the end of life as a lump-sum emission does not adequately reflect reuse or material recycling. In the future, scenarios such as pyrolysis or Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS) will therefore gain importance in establishing biogenic materials as long-term carbon sinks. Clay offers the additional advantage that it can be returned to the soil without chemical alteration and without generating additional emissions.

Timber-Clay Composite Construction

The objective was to investigate the practical feasibility of timber-clay composite elements (HLV-Bauteile®) for large-scale multi-storey construction. The project focused on a system comprising exterior and interior walls, timber-clay screeds, infill layers, and hemp-clay sealing slurries. The HLV® technique uses a mechanical connection that enables clean separation by material type and full circularity. A key structural advantage is that thick clay layers encase the timber, thereby providing long-term protection. For production, specific clay mixtures with clay contents between 25% and 50% were identified as ideal. While exterior walls were optimized for thermal performance, interior walls were designed as decoupled systems to meet stringent acoustic and fire protection requirements for partition walls between residential units.

The systems were validated through the construction of a full-scale (1:1) mock-Up. A decisive result was that production is feasible using the existing equipment of conventional timber construction or

general construction companies, without the need for expensive specialized machinery. The use of local resources reduces transport distances and promotes a non-toxic, climate-regulating indoor environment. For floor structures, a dowelled solid timber slab system was selected, which, in combination with timber-clay infill, delivered very good results in terms of impact sound insulation.

The suitability of the components for multi-storey construction was confirmed, while the dismantling of the Mock-Up demonstrated full circularity. This provides a market-ready construction system that consistently relies on local, CO₂-neutral resources from the top of the foundation upward, enabling a significant reduction in the environmental footprint of buildings.

Education and Training

The growing demand for resource-efficient and climate-friendly construction methods is expected to lead to an increasing need for qualified professionals in this field. However, construction-related education is still largely focused on conventional materials. Against this background, the project team developed targeted measures to more strongly integrate clay as a building material into academic, school-based, and vocational training. In the long term, the initiative aims to sustainably anchor knowledge of clay construction through curriculum-based content as well as through the development of professional teaching and learning materials for technical schools and universities.

As part of the project, a “Basic Course in Clay Construction” was developed. It comprises 115 teaching units and is designed as a hybrid certificate program to ensure maximum temporal and spatial flexibility for participants. The course combines theoretical self-study - using ten video lectures and an accompanying course textbook - with practical workshops. A licensing agreement was concluded with the German Dachverband Lehm for the teaching materials, ensuring high technical quality and international compatibility. The course is targeted at craftspeople, architects, and builders, but is generally open to anyone interested, even without prior specialized knowledge.

Conclusion

Due to its circularity as well as its environmental and health benefits, clay represents a key building material for future-proof, circular cities. The large-scale use of clay building materials is essential, as they require only a fraction of the production energy compared to CO₂-intensive construction materials and generate no process-related emissions. Moreover, the material utilization of the approximately 40 million tonnes of excavated soil generated annually in Austria can help establish a true circular economy, conserving valuable landfill space and reducing dependence on global supply chains. Beyond its ecological benefits, clay is highly effective at regulating indoor humidity and, as a non-toxic building material, provides a high level of indoor environmental quality.

To enable this transformation, regulatory barriers must first be reduced. In construction practice, the development of standardized specifications is necessary to allow clay building materials to be legally and reliably included in public procurement processes. At the same time, the logistical foundation must be strengthened through digital platforms for material exchange. Finally, a comprehensive education initiative is required to systematically reintegrate lost expertise into the curricula of technical schools and universities, thereby ensuring long-term acceptance of clay construction within the building sector.

3 Ausgangslage

Der Bausektor steht heute im Zentrum der globalen Klima- und Rohstoffdebatte, da er für rund 30 % des weltweiten Energieverbrauchs und 40 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich ist (Berardi, 2017) (Jones, Stegemann, Sykes, & Winslow, 2016). Etwa die Hälfte aller weltweit verbrauchten Rohmaterialien entfällt auf die Bauindustrie, wobei allein die Zementproduktion etwa 8 % der globalen Emissionen verursacht (Carbon, 2017). Zwischen 1900 und 2010 hat sich der Ressourcenverbrauch für Infrastruktur und Gebäude um den Faktor 23 erhöht, was die Branche zu einem entscheidenden Hebel für die Reduktion des menschlichen Einflusses auf das Klima und den Ressourcenbedarf macht (Krausmann, et al., 2017). In Österreich zeigt sich die Problematik besonders deutlich beim Aushubmaterial: Mit 38 Millionen Tonnen Aushubanfall im Jahr 2023 macht es 57 % des gesamten Abfallaufkommens aus. Davon wurden rund 21 Millionen Tonnen deponiert, anstatt stofflich verwertet zu werden (BMK, 2023).

Die aktuelle Baupraxis, insbesondere im urbanen Raum, ist von CO₂-intensiven Materialien wie Beton und Verbundbaustoffen geprägt, die nach ihrer Nutzung oft nur durch energieaufwändiges Downcycling oder thermische Verwertung entsorgt werden können. Diese Materialien belasten zukünftige Generationen durch sogenannte „Legacy-Substanzen“ und mangelnde Rückbaufähigkeit. Zudem haben aktuelle geopolitische Entwicklungen die Fragilität globaler Lieferketten und die damit verbundenen Preisexplosionen bei Baustoffen verdeutlicht.

Vor diesem Hintergrund rückt die Kreislaufwirtschaft massiv in den Fokus. Die geplante neue Bauprodukteverordnung wird künftig eine verpflichtende Deklaration ökologischer Eigenschaften fordern, was die Nachfrage nach CO₂-neutralen Alternativen erhöhen wird. Hier bietet das Material Lehm ein enormes Potenzial, da es regional verfügbar ist, bei der Aufbereitung kaum Energie benötigt und vollständig kreislauffähig ist. Insbesondere die Nutzung von Ortlehm – also Aushub direkt von der Baustelle – könnte Transportwege und Verpackungsmaterial einsparen.

Trotz dieser Vorteile findet Lehm im großvolumigen Wohnbau oder im urbanen Bereich bisher kaum Anwendung. Hauptgründe dafür sind:

- Regulatorische Hürden: Es herrscht eine große Unsicherheit bezüglich bautechnischer Normen und rechtlicher Vorgaben.
- Fehlende Datenbasis: Kleine, regionale Produzenten verfügen oft nicht über die Ressourcen, um teure Umweltproduktdeklarationen (EPDs) nach internationalen Industriestandards zu erstellen.
- Wissensverlust: Handwerkliche und akademische Kenntnisse im Lehmbau sind durch die Dominanz industrieller Baustoffe weitgehend verloren gegangen.
- Imageprobleme: Dem Baustoff werden oft fälschlicherweise eine mangelnde Dauerhaftigkeit oder ein problematisches Feuchteverhalten zugeschrieben.

Um diese Barrieren zu überwinden, ist eine umfassende Strategie zur Ausweitung der Lehmanwendung erforderlich. Die zentrale Forschungsfrage des Projektes adressiert daher, wie die großvolumige Nutzung von Lehm durch die Schaffung marktrelevanter Rahmenbedingungen, technologischer Innovationen und fundierter Datenbasen ermöglicht werden kann.

Übergeordnetes Ziel war die **Ausweitung der Lehmanwendung im Baubereich**, um zukunftsfähige, zirkuläre Städte mit minimalen Umweltwirkungen zu errichten. Daraus leiteten sich folgende Teilziele ab:

- Rechtssicherheit und Normung: Überprüfung und Adaptierung bautechnischer Vorgaben, um Hemmschwellen für Planer und Anwender abzubauen (4 Regulatorische Rahmenbedingungen)
- Nutzung von Aushub: Konzeption einer digitalen Plattform zur Vernetzung von Aushub- und Bauunternehmen, um Aushubmaterial regional als Baustoff nutzbar zu machen und Deponierungen zu reduzieren (5 Drehscheibe Lehm)
- Ökologische Datenbasis: Erarbeitung wissenschaftlich fundierter Bewertungsverfahren und Datensätze für regionale, kreislauffähige Baustoffe, um diese in Konkurrenz zu industriellen Produkten fair abbilden zu können (6 Umweltwirkungen von Lehm und Baustoffkombinationen)
- Innovatives Bausystem: Entwicklung eines Fertigbauteilsystems aus Holz, Lehm und nachwachsenden Dämmstoffen speziell für den mehrgeschossigen Wohnbau (7 System mit Lehm)
- Lehmbau-Ausbildung: Implementierung der Lehmbau-Ausbildungen im handwerklichen, schulischen und akademischen Bereich (8 Aus- und Weiterbildung im Lehm)

Durch diese Maßnahmen sollen Vorurteile gegenüber der Dauerhaftigkeit von Lehm abgebaut und Bauunternehmen bei der Umstellung auf ressourcenschonende Materialien unterstützt werden.

4 Regulatorische Rahmenbedingungen

4.1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Anwendung von Lehm in den unterschiedlichen Einsatzbereichen (Verputz, Schüttung, tragende Wände, Leichtwände ...) erfordert, wie für jeden anderen Baustoff auch, die Berücksichtigung der jeweils entsprechenden normativen Vorgaben. Im Zuge einer unter Architekt:innen und Baufirmen im Rahmen des Projektes „Clay to stay“ im Jahr 2021 durchgeführten Befragung hat sich herausgestellt, dass fehlende gesetzliche und normative Vorgaben bzw. die Unsicherheit von deren Anwendbarkeit Hemmschwellen für die Lehmanwendung sind.¹ Die aktuelle Situation stellt Planer:innen und Anwender:innen daher vor teils großen Herausforderungen.

Seit 2013 existieren in Deutschland Normen für im Werk hergestellte Lehmbaustoffe wie beispielsweise für Lehmputze DIN 18947. Außerdem wurden Lehmputze als Bestandteil in die allgemeine Putzanwendungsnorm ÖNORM EN 13914-2 aufgenommen und damit ein erster Schritt gesetzt, um Anwender:innen Rechtssicherheit beim Einsatz von Lehmputzen zu gewährleisten.

Zur Erhöhung der Rechtssicherheit bei der allgemeinen Anwendung von Lehm als Baustoff sollen über dieses Arbeitspaket Lücken in vorhandenen normativen Vorgaben geschlossen werden. Dies geschieht in Form einer Überprüfung von fachrelevanten Baunormen auf deren Anwendbarkeit für den Lehmbau in Österreich. Ferner soll erhoben werden, wie weit bereits bestehende außerösterreichische regionale Lehmbaunormen für Österreich anwendbar sind.

4.1.1. Vorgaben aus dem Bautechnikgesetz/Bundesvergabegesetz

Zunächst gilt es zu klären, welche rechtlichen Rahmenbedingungen in Österreich für den Baubereich bei Neubau und Sanierung allgemein gelten, um daraus mögliche Vorgaben für den Lehmbau definieren zu können.

Dabei werden beginnend mit der Herstellung eines Lehmbauproduktes bis hin zur Planung und Ausführung eines Lehmbauwerkes die jeweiligen geltenden Gesetze und Richtlinien für die Anwendbarkeit von Lehmbau benannt.

Offene mögliche Fragestellungen, die sich aus der derzeit geltenden baurechtlichen Sicht in Bezug auf Lehmbau ergeben, werden am Ende von jedem Unterabschnitt über eine taxative Aufzählung zusammengestellt und liefern so die Basis für die danach stattfindenden Befragungen von Expert:Innen. Folgende Bereiche werden dabei betrachtet:

- Vergabe von Bauleistungen und Normung allgemein,
- Lehmbaustoff als Bauprodukt,
- Baulehmgewinnung,
- Planung und Ausführung von Lehmbauwerken.

¹ Forschungsprojekt „Clay to stay“, gefördert durch das BMDW im Rahmen der Strategischen Projekte der ACR 2021, (2021-2023)

Vergabe von Bauleistungen und Normung

Für die Vergabe von Bauleistungen gilt zunächst allgemein das Bundesvergabegesetz 2018 (BVerG). In diesem Gesetz findet man im dritten Hauptstück „Bestimmungen für die Durchführung von Vergabeverfahren“ unter dem fünften Abschnitt „Die Ausschreibung“ im dazugehörigen zweiten Unterabschnitt „Die Leistungsbeschreibung“ folgende Bestimmung betreffend Erstellung eines Leistungsverzeichnisses: §105 (3): „Sind für die Beschreibung oder Aufgliederung bestimmter Leistungen geeignete Leitlinien, wie ÖNORMEN oder standardisierte Leistungsbeschreibungen, vorhanden, so ist **auf diese Bedacht** zu nehmen.“

Die für die Leistung geforderten Merkmale werden nach dem BVerG 2018 in Form von Technischen Spezifikationen beschrieben.² Dabei stellt eine Technische Spezifikation nach BVerG 2018 eine Norm dar,

„die von einer anerkannten Normungsorganisation zur wiederholten oder ständigen Anwendung angenommen wurde, deren Einhaltung nicht zwingend vorgeschrieben ist und die unter eine der nachstehenden Kategorien fällt:

*„a) **Europäische Norm:** Norm, die von einer europäischen Normungsorganisation angenommen wurde und der Öffentlichkeit zugänglich ist.*

*b) **Internationale Norm:** Norm, die von einer internationalen Normungsorganisation angenommen wurde und der Öffentlichkeit zugänglich ist.*

*c) **Nationale Norm:** Norm, die von einer nationalen Normungsorganisation angenommen wurde und der Öffentlichkeit zugänglich ist.“³*

Neben dieser Definition für eine Norm gilt für Technische Spezifikationen nach dem Bundesvergabegesetz des Weiteren auch § 106, der dessen Anforderungen noch detaillierter definiert. Interessant ist dabei für die Normung auch die Rangfolge für technische Spezifikationen, die wie folgt festgehalten ist:

„a) nationale Normen, mit denen europäische Normen umgesetzt werden,

b) europäische technische Bewertungen,

c) gemeinsame technische Spezifikationen,

d) internationale Normen und andere technische Bezugssysteme, die von den europäischen Normungsgremien erarbeitet wurden, oder

e) falls solche Normen und Spezifikationen fehlen, nationale Normen, nationale technische Zulassungen oder nationale technische Spezifikationen für die Planung, Berechnung und Ausführung von Bauleistungen und den Einsatz von Waren,“⁴

Damit ist es als nächsten Schritt wichtig zu klären, welche nationalen Normen für den Lehmbau aktuell in Österreich vorhanden sind. Dies sind folgende Dokumente:

² (Bundesvergabegesetz) §2, 37

³ (Bundesvergabegesetz) §2, 25

⁴ (Bundesvergabegesetz) §106, (2)

ÖNORM EN 13914-2, *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Innenputze*, 2016

ÖNORM B 3346, *Putzmörtel – Regeln für die Verwendung und Verarbeitung*

Technische Empfehlung, Lehmputze – Teil 1: im Werk hergestellte Lehmputzmörtel, 2024⁵

Damit existiert aktuell nur für den Lehmputz ein schlüssiges Normenpaket mit der europäischen Grundlagennorm ÖNORM EN 13914-2 und der dazugehörigen nationalen Umsetzungsnorm ÖNORM B 3346, die wiederum durch die Technische Empfehlung Lehmputze ergänzt wird. Für alle anderen Lehmbaumstoffe gibt es derzeit keine nationalen Bestimmungen in Form einer ÖNORM.

Außerhalb von Österreich bestehen jedoch sehr wohl eine Reihe regionaler Standards, wie zum Beispiel DIN-Normen, die Anforderungen an die unterschiedlichen Lehmbaumstoffe definieren. Damit gilt es als nächsten Schritt zu prüfen, inwieweit diese regionalen Normen auch in Österreich im Sinne des BVerG angewendet werden können.

Des Weiteren wäre zu untersuchen, welche Möglichkeiten existieren, um außerösterreichische regionale Standards in Österreich als eigene ÖNORM zu publizieren. So war es lange eine gelebte Praxis bewehrte DIN-Normen (z.B. DIN 18202), wenn diese auch für Österreich von Bedeutung sind, als ÖNORM DIN zu veröffentlichen (also ÖNORM DIN 18202).⁶

Vergabeverfahren, die nicht unter das Bundesvergabegesetz fallen, werden in der ÖNORM A 2050 geregelt.⁷

ÖNORM A 2050, *Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibungen, Angebot, Zuschlag*, 2006

Diese Norm wird durch das Komitee 015 „*Vergabe und Verdingungswesen*“ des österreichischen Normungsinstitutes (Austrian Standards Institute, ASI) herausgegeben. Ähnlich wie im Bundesvergabegesetz regelt auch die ÖNORM A 2050 die Erstellung eines Leistungsverzeichnisses wie folgt: „*Sind für die Beschreibung oder Aufgliederung bestimmter Leistungen geeignete Richtlinien, wie ÖNORMEN oder standardisierte Leistungsbeschreibungen, vorhanden, sind diese bei Erstellung des Leistungsverzeichnisses in erster Linie anzuwenden.*“⁸

Fragestellungen zur Vergabe:

1. In §106 (2) e) werden nationale Normen genannt. Laut BVerG wird eine Nationale Norm folgendermaßen definiert: „*Norm, die von einer nationalen Normungsorganisation angenommen wurde und der Öffentlichkeit zugänglich ist.*“⁹ Ist damit automatisch eine DIN-Norm anwendbar?
2. Wie wird eine nationale Norm laut Definition im BVerG in der Praxis in Österreich gesehen. Sind dies nur ÖNORMEN oder fallen darunter auch andere von nationalen Normungsorganisationen erstellte Dokumente?

⁵ Dieses Dokument wurde im Rahmen des Projektes ‚Erdbebewegung‘ in Zusammenarbeit mit Mitgliedern des Netzwerk Lehm ausgearbeitet. URL: <https://netzwerk-lehm.at/normen-und-regelwerke/> [Zugriff am 16.08.2024]

⁶ ÖNORM DIN 18202, *Toleranzen im Hochbau – Bauwerke*

⁷ Vgl. (ÖNORM A 2050) Anwendungsbereich

⁸ (ÖNORM A 2050) 5.2.4.2

⁹ (Bundesvergabegesetz) §2, 25.

3. Welche Kriterien muss ein außerösterreichischer Standard erfüllen, damit dieser im Sinne des Vergabewesens herangezogen werden kann.
4. ÖNORM A 2050 spricht von „geeignete Richtlinien, wie ÖNORMEN oder standardisierte Leistungsbeschreibungen“.¹⁰ Fallen darunter dann auch regionale Normen wie beispielsweise DIN-Normen?
5. Gibt es die Möglichkeit, regionale Standards als eigene ÖNORM in das österreichische Normenwerk zu integrieren, bspw. als ÖNORM DIN? Ist dies möglich und wenn ja, was bedeutet das für andere regionale Standards wie etwa Lehmbaunormen aus Neuseeland.
6. Wie sind die Abläufe zur Übernahme von regionalen Standards als ÖNORM und wer beschließt dies?
7. Sind innerhalb von ÖNORMEN Verweise auf reine regionale Normen wie bspw. DIN-Normen oder auch andere regionale Standards etwa aus New Mexico, Neuseeland, etc. zulässig? Beispielsweise definiert im Bereich Wärmeschutz DIN 4108-4 Bemessungswerte für Lehmbaumstoffe¹¹, könnte eine ÖNORM auf diese Norm verweisen?
8. Gibt es einen eigenen Ausschuss zu ökologischen Baustoffen?
9. Gibt es bei Austrian Standards Institute ein Komitee oder Arbeitsgruppe, die das Thema Lehmbau behandeln. Wenn nicht, was wären die Kriterien, um dies zu bewirken?

Lehmbaustoff als Bauprodukt

Allgemein regelt die EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO, 2024) „die erstmalige Bereitstellung eines Bauprodukts auf dem Markt der Union“. Dies wird in der Verordnung, als das „Inverkehrbringen“ von Bauprodukten bezeichnet. Dabei werden folgende sieben Grundanforderungen an die Bauwerke und ihren Teilen (inkl. Bauprodukte) definiert:

- mechanische Festigkeit und Standsicherheit,
- Brandschutz,
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz,
- Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung,
- Schallschutz,
- Energieeinsparung und Wärmeschutz,
- nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Die Umsetzung dieser Grundanforderungen für das einzelne Bauprodukt erfolgt in weiterer Folge durch harmonisierte Normen. Diese werden auf Basis eines Mandates (bspw. Mandat M/116 für das Mauerwerk und verwandte Produkte¹²), das durch die Europäische Kommission (für den Baubereich i.R. an das Europäische Normungsorganisation CEN) über einen Normungsauftrag ausgesprochen wird, ausgearbeitet. Sobald eine harmonisierte Norm fertiggestellt ist, wird dies über die Kundmachung im Amtsblatt der Europäischen Union öffentlich gemacht. Ab diesem Zeitpunkt inklusive möglicher Übergangsfristen sind die jeweiligen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union verpflichtet, diese Normen umzusetzen.

Falls es keine harmonisierte Norm gibt, kann auf europäischer Ebene die Zulassung für ein Einzelprodukt in Form einer Europäischen Technischen Bewertung (ETB) erlangt werden.

Für alle Bauprodukte, für die keine harmonisierte Norm oder Europäische Technische Bewertung vorhanden ist, ist es möglich, eine rein nationale Zulassung für ein Bauprodukt zu erwirken. In

¹⁰ (ÖNORM A 2050) 5.2.4.2

¹¹ DIN 4108-4, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte*

¹² Mandat M/116 „Mauerwerk und verwandte Erzeugnisse“ der Europäischen Kommission für CEN/CENELEC über die Erstellung harmonisierter Normen für Mauerwerk und verwandte Erzeugnisse.

Österreich ist für diesen Vorgang das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) zuständig. Produkte, die über diese Schiene eine Zulassung erlangen, werden dann in der Baustoffliste ÖA angeführt.

Falls es keine Zulassung auf europäischer oder nationaler Ebene gibt, gilt für die Anwendung des Baustoffes eine Einzelzulassung durch die Behörde, die bei ihrer Bewertung in der Regel wieder auf die Grundanforderungen der Bauproduktenverordnung bzw. den Bautechnikgesetzen zurückgreift.

Fragestellungen zum Bauprodukt:

- 1) Gibt es ein bestehendes Mandat bzw. harmonisierte Norm für den Lehmbau?
- 2) Gibt es eine Europäische Technische Bewertung für ein Lehmbauprodukt?
- 3) Wird ein Lehmbauprodukt in der Baustoffliste ÖA angeführt?
- 4) Wie ist der Ablauf für die Zulassung von Lehmbauprodukten in Österreich?

Baulehmgewinnung

Das Grundmaterial zur Herstellung von Lehmbauprodukten wird als „*Baulehm*“ bezeichnet. Dieser kann im Wesentlichen über zwei Vorgänge gewonnen werden:

- über die Verwendung von Aushub- oder Abbruchmaterial, das durch diverse Baumaßnahmen anfällt, oder
- durch den Abbau von Lehm in eigens dafür deklarierten Abbaustätten.

Für diese beiden Formen der Baulehmgewinnung sind unterschiedliche rechtliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Im Falle der Gewinnung aus Bodenaushubaktivitäten wie zum Beispiel im Rahmen von Infrastrukturprojekten oder diversen Tiefbaumaßnahmen zufolge Gründungsarbeiten sind im Wesentlichen folgenden gesetzlichen Grundlagen zu berücksichtigen:

- Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002), Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft
- Deponieverordnung (DVO 2008), Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Im Falle des Abbauens von Baulehm in einer Lehmgrube ist im Wesentlichen folgendes Gesetz zu beachten:

- Mineralrohstoffgesetz (MinroG 1999), Bundesgesetz über mineralische Rohstoffe.

Baulehmgewinnung zufolge Bodenaushub

Abfallwirtschaftsgesetz

Das Abfallwirtschaftsgesetz definiert dessen Ziele und Grundsätze wie folgt:

„Die Abfallwirtschaft ist im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass

- 1. schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,*

[...]

3. Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden und die Effizienz der Ressourcennutzung verbessert wird,

3a. Abfälle getrennt gesammelt und nicht mit anderen Abfällen oder anderen Materialien mit andersartigen Eigenschaften vermischt werden, [...]

4. bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen [...]“¹³

Dabei gelten nach diesem Gesetz folgende Hierarchien für einen anfallenden Abfall:

„1. Abfallvermeidung;

2. Vorbereitung zur Wiederverwendung;

3. Recycling;

4. sonstige Verwertung, z.B. energetische Verwertung;

5. Beseitigung.“¹⁴

Wobei folgende Materialien nicht unter dem Abfallbegriff fallen:

„Nicht kontaminierte Böden und andere natürlich vorkommenden Materialien, die im Zuge von Bauarbeiten ausgehoben wurden, sofern sichergestellt ist, dass die Materialien in ihrem natürlichen Zustand an dem Ort, an dem sie ausgehoben wurden, für Bauzwecke verwendet werden“¹⁵

Im Sinne der Verwertung von Abfällen definiert das Abfallwirtschaftsgesetz ein Verwertungsgebot. So sind Abfälle, die im Zuge von Bautätigkeiten anfallen, zu verwerten, sofern es sich um verwertbare Materialien handelt und eine Verwertung ökologisch zweckmäßig, technisch möglich und dies nicht mit unverhältnismäßigen Kosten verbunden ist. Nicht verwertbare Abfälle sind ordnungsgemäß zu beseitigen.¹⁶

Deponieverordnung

Ansonsten ist das Bodenaushubmaterial als Abfall auf einer Bodenaushubdeponie zu deponieren. Vorgaben zu diesen Deponien enthält wiederum die Deponieverordnung. Der Anwendungsbereich zur Deponieverordnung beschreibt folgende Ziele:

„(1) Ziel dieser Verordnung ist es, durch die Festlegung betriebsbezogener und technischer Anforderungen in Bezug auf Deponien und Abfälle, Maßnahmen und Verfahren vorzusehen, mit denen während des gesamten Bestehens der Deponie negative Auswirkungen der Ablagerung von Abfällen auf die Umwelt, insbesondere die Verschmutzung von Oberflächenwasser, Grundwasser, Boden und Luft, und auf die globale Umwelt, einschließlich des Treibhauseffekts, und alle damit verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit weitest möglich

¹³ (Abfallwirtschaftsgesetz) §1, (1)

¹⁴ (Abfallwirtschaftsgesetz) §1, (2)

¹⁵ (Abfallwirtschaftsgesetz) §3, Z 8

¹⁶ Vgl. (Abfallwirtschaftsgesetz) §16, (7)

vermieden oder vermindert werden. (2) Zur Schaffung einer Kreislaufwirtschaft soll im Einklang mit der Abfallhierarchie angestrebt werden, dass Abfälle, die sich zum Recycling und anderen Formen der Verwertung eignen, zukünftig nicht auf Deponien zur Ablagerung angenommen werden.“¹⁷

Die Deponieverordnung liefert u.a. Festlegungen zur Erstuntersuchung von Aushubmaterial gemäß ÖNORM S 2126 über Aushubkategorien, Parameterumfang sowie deren Grenzwerte.¹⁸

ÖNORM S 2126. Charakterisierung von Aushubmaterial vor Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit.

In dieser Norm werden Angaben gemacht zur Durchführung der Probenahme (u.a. Angabe zur Entnahmestelle, Entnahme von Stichproben, Mindestprobemenge sowie Protokoll, Skizze und Bericht) ferner welche Untersuchungen der Proben empfohlen werden hinsichtlich Erst- und Detailuntersuchung sowie Angaben zu Dokumentation und Bestimmungsmethoden.

Wird eine Beseitigung des Bodenaushubes in Form von Deponierung vorgenommen, so kann die für den Deponiebau geltende ÖNORM S 2074 herangezogen werden, die aus zwei Teilen besteht:

ÖNORM S 2074-2, Geotechnik im Deponiebau

Teil 1: Standorterkundung

Teil 2: Erdarbeiten

Der Teil 2 ist insofern interessant, da dieser eine Reihe von geotechnischen Untersuchungen vorgibt, die durchzuführen sind, um einen sicheren Deponiebau zu gewährleisten. Genau diese Untersuchungen sind dann auch für eine mögliche Verwertung des nicht verunreinigten Bodenaushubmaterials für den Lehmabbau von besonderer Bedeutung. So definiert diese Norm Eignungs-, Kontroll- und Abnahmeprüfungen für die verschiedenen Bauabschnitte und Baustoffe, die erforderlich sind. Für die Eignungsprüfung von künstlichen Barrieren einer Deponie sind beispielsweise folgende Prüfungen relevant:

- Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4
- Wassergehalt nach ÖNORM EN ISO 17892-1
- Organischer Anteil nach ÖNORM L 1080
- Proctorversuch nach ÖNORM B 4418,
- Wasserdurchlässigkeitsbeiwert nach ÖNORM EN ISO 17892-11.¹⁹

Oder ein weiteres Beispiel aus dieser Norm wäre die Eignungsprüfung der mineralischen Dichtschicht, für die folgende Untersuchungen empfohlen werden:

- Korngrößenverteilung, nach ÖNORM EN ISO 17892-4
- Wassergehalt nach ÖNORM EN ISO 17892-1
- Korndichte nach ÖNORM EN ISO 17892-3
- Fließ- und Ausrollgrenze nach ÖNORM EN ISO 17892-12
- Organischer Anteil nach ÖNORM L 1080
- Mineralbestand nach ÖNORM B 4810
- Proctorversuch nach ÖNORM B 4418,
- Wasserdurchlässigkeitsbeiwert nach ÖNORM EN ISO 17892-11.

¹⁷ (Deponieverordnung) §1

¹⁸ (Deponieverordnung) Tabelle 2; (ÖNORM S 2126, 2016)

¹⁹ (ÖNORM S 2074-2, 2023) Tabelle 7

- Scherparameter nach ÖNORM EN ISO 17892-10,
- Kompressionsversuch nach ÖNORM EN ISO 17892-5.²⁰

Umsetzung von AWG und DVO

Jedes Material, das im Zuge eines Bauvorhabens durch Ausheben oder Abräumen von im Wesentlichen natürlich gewachsenen Boden anfällt, gilt als Bodenaushubmaterial. Dabei darf dieses nicht mehr als 5 Volumsprozent an mineralischen bodenfremden Bestandteilen (z.B. Baurestmassen) enthalten und bei organisch bodenfremden Bestandteilen (z.B. Kunststoffen oder Holz) nicht mehr als 1 Volumsprozent.²¹

Hierbei ist zunächst zu klären, ob das Bodenaushubmaterial kontaminiert ist oder nicht. Diese Prüfung erfolgt bei Kleinmengen (< 2000 Tonnen) über das Aufnehmen vor Ort durch Feststellung der Vornutzung und örtlicher Wahrnehmung. Ab eine Menge von 2000 Tonnen Bodenaushub ist in jedem Fall eine chemische Untersuchung durchzuführen²². Ferner ist zu beachten, dass ein Bodenaushubmaterial nach der Deponieverordnung aus verschiedenen Bauvorhaben nicht miteinander vermischt werden darf.

Bodenaushub, das nicht verunreinigt ist und von natürlich gewachsenem Boden stammt und im selben Baustellenbereich unter gleicher Nutzung wieder eingebaut wird, gilt nicht als Abfall. Sobald der Aushub die Baustelle jedoch verlässt und an einer anderen Stelle verwertet wird, ist dieser wiederum als Abfall zu deklarieren.

Ferner gilt, dass ein kontaminiertes Bodenaushubmaterial ebenfalls stets als Abfall anzusehen ist.

Jeder anfallende Abfall wird gemäß Abfallverzeichnisverordnung 2020 einer Abfallart zugewiesen. So trägt der für den Lehmabbau interessante Bodenaushub die Schlüsselnummer „31411“. Zusätzlich wird jedem Bodenaushub immer eine zweistellige Spezifizierung zugeordnet, z.B. steht die Spezifizierung „45“ für: *„nicht verunreinigtes Bodenaushubmaterial eines Bau- oder Aushubvorhabens gemäß Kleinmengenregelung“*.²³

Zusammengefasst gelten in der Abfallwirtschaft immer folgende Grundsätze:

- Vermeidung von Abfall, das heißt die Abfallmenge so gering wie möglich zu halten,
- Verwertung von Abfall, damit wird verbunden, dass die entstandenen Abfälle soweit ökologisch und technisch sinnvoll zu verwerten sind,
- Beseitigung von Abfall, betrifft nicht unmittelbar verwertbaren Abfall, diesen zu behandeln oder ordnungsgemäß abzulagern.

Daher gilt immer der Grundsatz: **Vermeidung vor Verwertung vor Beseitigung**.

Baulehmgewinnung zufolge Abbau nach MinroG

Erfolgt die Baulehmgewinnung gezielt über den Abbau zum Beispiel über eine Lehmlagerstätte, so fällt dieser Vorgang rechtlich in das Mineralrohstoffgesetz, kurz MinroG.

²⁰ (ÖNORM S 2074-2, 2023) Tabelle 10

²¹ Vgl. (Deponieverordnung, i.d.g.F.) § 3, Pkt. 9

²² Vgl. (Deponieverordnung, i.d.g.F.) § 13, Pkt. 3

²³ (Abfallverzeichnisverordnung 2020, S. 12.1.)

Dieses Bundesgesetz gilt für das Aufsuchen und Gewinnen von bergfreien mineralischen Rohstoffen zu dem auch Tone zählen, sofern diese als Lockergestein vorliegen.²⁴

Zum Schürfen nach bergfreien mineralischen Rohstoffen und deren Gewinnung ist eine entsprechende Schürfberechtigung erforderlich.²⁵

Fragestellungen zur Baulehmgewinnung:

- 1) Wie sieht der rechtliche Rahmen aus für die Verwendung von Aushubmaterial zur Herstellung von Lehmbaustoffen, welche Beschränkungen gibt es dabei, was wäre zu berücksichtigen?
- 2) Gibt es Überlegungen, den rechtlichen Rahmen für die Verwendung von Bodenaushub als Lehmbaustoff anzupassen?
- 3) Stimmt die Behauptung, dass bislang Aushub nur über die Deponieverordnung zur Deponierung überführt wurde/wird?
- 4) Gilt bei der Herstellung von Lehmbaustoffen aus Bodenaushub der Abfallbegriff oder handelt es sich dann um einen Recycling-Baustoff im Sinne der Recycling-Baustoffverordnung, sodass Aushub recycelt wird, in dem ein neuer Baustoff aus Lehm entsteht?
- 5) Wie wird in der Praxis Aushub betrachtet, immer unter dem Aspekt der Beseitigung oder gibt es auch bereits Anwendungen zur Verwertung. Und wenn Verwertung, gibt es da bereits Plattformen/Drehscheiben zum Bodenaushub, die einen Überblick schaffen, wo und welcher Bodenaushub gerade anfällt?

Planung und Ausführung von Lehmbauwerken

OIB-Richtlinien für Neubau und Sanierung

Zur Vereinheitlichung der bautechnischen Vorschriften in Österreich dienen die vom Österreichischem Institut für Bautechnik (OIB) herausgegebenen OIB-Richtlinien. Dabei können die Bundesländer diese Richtlinien für verbindlich erklären.

Von diesen Bestimmungen kann aber auch abgewichen werden, wenn der Bauwerber nachweist, dass ein gleichwertiges Schutzniveau eingehalten wird.²⁶

Die Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung sämtlicher OIB-Richtlinien, die seit Mai 2023 gültig sind. Ausgenommen davon ist die OIB-Richtlinie 7, für die es bislang nur ein Grundlagedokument über die geplante Ausarbeitung zum Themenbereich der nachhaltigen Nutzung von natürlichen Ressourcen gibt.

Tabelle 1: Übersicht OIB-Richtlinien

OIB Richtlinie Nr.	Titel der OIB-Richtlinie
OIB-Richtlinie 1	Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
OIB-Richtlinie 2	Brandschutz
OIB-Richtlinie 3	Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
OIB-Richtlinie 4	Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit

²⁴ Vgl. (Mineralrohstoffgesetz, i.d.g.F.) §2 (1), §3 (4)

²⁵ Vgl. (Mineralrohstoffgesetz, i.d.g.F.) §8

²⁶ URL: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien> [Zugriff am 12.08.2024]

OIB Richtlinie Nr.	Titel der OIB-Richtlinie
OIB-Richtlinie 5	Schallschutz
OIB-Richtlinie 6 ²⁷	Energieeinsparung und Wärmeschutz
OIB-Richtlinie 7, Grundlagendokument	OIB-Grundlagendokument zur Ausarbeitung einer OIB-Richtlinie 7 Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

In weiterer Folge werden die einzelnen OIB-Richtlinien hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf den Lehm- und Mauerwerksbau überprüft.

OIB-RL 1, Mechanische Festigkeit und Standsicherheit:

Die OIB-Richtlinie 1 liefert ein allgemeines Grundlagendokument, um Bauwerke auf deren mechanischen Festigkeit und Standsicherheit zu bemessen.

Fragestellung OIB-Richtlinie 1:

- 1) Ist es richtig, dass OIB-RL 1 nur allgemeine Anforderungen an das Tragwerk formuliert und somit unabhängig vom Material ist? D.h. wenn die Nachweise auf die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit erfüllt sind, dann wird die OIB-RL 1 eingehalten. Könnte damit als Nachweisführung für das Lehm- und Mauerwerksbauwerk etwa die ÖNORM EN/B 1996 bzw. DIN 18940 herangezogen werden?

OIB-RL 2, Brandschutz:

OIB-RL 2 liefert abhängig von der jeweiligen Gebäudeklasse (gemäß Erläuterungen der OIB-RL 2) Angaben zum Brandverhalten von Bauprodukten (Baustoffen) mit der Bezeichnung „A“ bis „E“ (siehe Abbildung 1, auf Basis der ÖNORM EN 13501-1) sowie Feuerwiderstand von Bauteilen „R30“ bis „R90“ bzw. „REI 30“ bis „REI 90“ (siehe Abbildung 2, auf Basis der ÖNORM EN 13501-2).

Abbildung 1: Auszug aus Tabelle 1a der OIB-RL 2

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5	
					≤ 6 oberirdische Geschoße	> 6 oberirdische Geschoße
1 Fassaden						
1.1 Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	E	D	D	C-d1	C-d1	C-d1
1.2 Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete						
1.2.1 Gesamtsystem oder	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1
1.2.2 Einzelkomponenten						
- Außenschicht	E	D	D	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽³⁾
- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	E / E	D / D	D / A2	D / A2	D / A2	C / A2
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	E	D	D	B ⁽²⁾	B ⁽²⁾	B ⁽³⁾

²⁷ Seit September 2025 gibt es eine Neuauflage der OIB-Richtlinie 6.

Abbildung 2: Auszug aus Tabelle 1b der OIB-RL 2

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5	
					≤ 6 oberirdische Geschoße	> 6 oberirdische Geschoße
1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)						
1.1 im obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60 ⁽⁵⁾	R 60
1.2 in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 30 ⁽¹⁾	R 30	R 60	R 60	R 90	R 90 und A2
1.3 in unterirdischen Geschoßen	R 60	R 60	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2
2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)						
2.1 im obersten Geschoß	-	REI 30 EI 30	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 ⁽⁵⁾ EI 60	REI 60 EI 60
2.2 in oberirdischen Geschoßen	-	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2

Gemäß DIN 18945:2018 gilt nach Abschnitt 9.8 zum Brandverhalten von Lehmsteinen folgende Anforderung: „Lehmsteine ohne organische Zuschläge oder Fasern können nach DIN 4102-4 ohne Prüfung in die Baustoffklasse A1 eingestuft werden.“ Gemäß DIN 4102-1 versteht man unter der Baustoffklasse A1 „nichtbrennbare Baustoffe“.²⁸

Ferner regelt DIN 18940 für tragende Bauteile aus Lehmstein den Feuerwiderstand von Bauteilen. In dieser Norm wird anhand des geforderten Wertes REI 30 bzw. REI 60 eine Mindestwanddicke für den Lehmstein angegeben, z.B. für ein REI 30 beträgt die Mindestwanddicke $t_{\min}=175\text{mm}$.

Fragestellung OIB-Richtlinie 2:

- 2) Sind diese beiden Vorgaben aus den beiden DIN-Normen ausreichend, um den Brandschutz für die jeweilige Gebäudeklasse sicherzustellen?
- 3) Welche Anforderungen für den Brandschutz wären speziell für den Lehmbau noch zu berücksichtigen?

OIB-RL 3, Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz:

Wesentliche Bestimmungen für diesen Bereich wären:

- Schutz vor Feuchtigkeit:
 - Schutz vor Feuchtigkeit aus dem Boden
 - Schutz gegen Niederschlagswässer
 - Vorsorge vor Überflutungen
 - Vermeidung von Schäden durch Wasserdampfkondensation
- Radon.

Fragestellung OIB-Richtlinie 3:

- 4) Anforderungen an das Schutzziel vor Feuchtigkeit werden über die beiden ÖNORMEN B 3691 und B 3692 auch für Lehmbauwerken sichergestellt, ist diese Vorgangsweise ausreichend im Sinne der OIB-RL 3?
- 5) Welche Anforderungen wären eventuell zusätzlich für den Lehmbau von Relevanz?
- 6) Strahlenbelastung aus Radon oder Thoron, gelten die in der ÖNORM S 5280-2 definierten Anforderungen sinngemäß auch für den Lehmbau?²⁹

²⁸ Vgl. (DIN 4102-1, 1998) Tabelle 1

²⁹ Zu Strahlenbelastung aus Radon oder Thoron wird auf das FFG-Projekt „RE-FORM earth, Lehmbau für die Bauweise“ (2024-2026) verwiesen.

OIB-RL 5, Schallschutz:

Gemäß DIN 18940 werden die Nachweise für den Schallschutz im Hochbau über DIN 4109-1 (Mindestanforderungen an den Schallschutz) und DIN 4109-2 (Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen für den Schallschutz) geführt. Diese beiden Normen entsprechen in Österreich der ÖNORM B 8115-2 (Anforderungen an den Schallschutz) sowie ÖNORM B 8115-4 (Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen).

Ferner kann in diesem Zusammenhang auf (Volhard, 2021) und (Dierks, et al., 1998) aus der Literatur verwiesen werden, die sich eingehend mit diesem Thema befassten:

„Lehmbaustoffe bringen Masse in den Skelettbau. Ein guter Schallschutz ist mit einfachen, einschaligen Konstruktionen erreichbar. Gegenüber Ausmauerungen aus anderen Massivbaustoffen – gebrannten Ziegeln, Leicht- oder Porenbetonsteinen – sind alle Lehmbaustoffe und besonders Leichtlehm weicher und elastischer. Schallschwingungen werden im Material absorbiert und gedämpft. [...] Als schwerer, aber weicher Baustoff dürfte Lehm besondere schallschutztechnische Vorteile bieten.“³⁰

Tabelle 2: Bewertete Schalldämmmaße abhängig von Rohdichte und Wanddicke ³¹

Rohdichte [kg/m³]	Wanddicke					
	0,10m	0,15m	0,20m	0,25m	0,30m	0,35m
1800	47	51	54	56		
1600	46	50	52	55	57	
1400	45	48	51	53	55	57
1200	44	47	50	52	54	55
1000	43	46	48	50	52	53
800	41	44	46	48	50	51
600	40	42	44	46	47	49

Tabelle 3: Luftschalldämmung von aus Lehm errichteten Wandquerschnitten ³²

Rohdichte [kg/m³]	Schichtdicke d in [m]			
	30 dB	40dB	50dB	55dB
2000	0,03	0,07	0,20	0,40
1200	0,04	0,12	0,33	0,73
800	0,04	0,14		
400	0,08	0,16		

³⁰ (Volhard, Bauen mit Leichtlehm, 2021, S. 227-228)

³¹ Vgl. (Volhard, Bauen mit Leichtlehm, 2021), Abbildung 330

³² Vgl. (Dierks, et al., 1998), Tabelle 3.7

Fragestellung OIB-Richtlinie 5:

- 7) Aus der Literatur kann abgelesen werden, dass sowohl Massivlehm und Leichtlehm ein hohes Schalldämmmaß aufweisen (bis 57dB) und somit den Richtwerten der OIB-RL 5 entsprechen. Ist es notwendig weiterführende schalltechnische Untersuchungen anzustreben?
- 8) Was bedeutet das für die Schallabsorption (Schluckgrad) mit Abnahme der Dichte des Baustoffes, erhöht sich deren Wirkung und inwieweit wird dieser gefordert?
- 9) Wäre es denkbar folgende Regelungen für den Schall zu definieren: Massivlehm über die Massenformel laut ÖNORM B 8115-4 und Leichtlehm gesondert zu prüfen?

OIB-RL 6, Energiespeicherung und Wärmeschutz:

Für die Ermittlung des Endenergiebedarfes an die Gebäudehülle, zählt als wesentliches Merkmal der U-Wert des jeweiligen Bauteiles, z.B. 0,35 W/m²K als Grenzmaß für die Außenwand. Durch diese Betrachtung an den Baustoff wird der Energiebedarf nur in der Gebäudenutzung betrachtet jedoch wird in diesem Wert nicht auf den notwendigen Energiebedarf hinsichtlich Herstellung, Wiederverwendung bzw. Deponierung des Baustoffes eingegangen.

Fragestellung OIB-Richtlinie 6:

- 10) In welcher Form fließt der Energiebedarf für die Herstellung/Wiederverwendung/Deponierung des Baustoffes in die OIB-RL allgemein ein?
- 11) Falls dies nicht der Fall ist, warum ist das so?
- 12) Gerade Lehmbau ist der perfekte Baustoff, der ein Minimum an Energiebedarf für dessen Herstellung aufweist, gleiches gilt für die Rückführung des Baustoffes nach Nutzung in die Natur. Dieser Umstand ist ein maßgebender Faktor, der durch den Berechnungsansatz über das Alleinstellungsmerkmal dem „U-Wert“ unberücksichtigt bleibt. Wie kann dieser Umstand trotzdem in der OIB-RL abgebildet/berücksichtigt werden?
- 13) Für Brennstoffe gibt es Konversionsfaktoren, warum nicht auch für Baustoffe? Oder besser über das Treibhauspotenzials (Global warming potential – GWP) für eine funktionale Einheit zu berechnen, z.B. 1m² Wandbauteil. Die Herstellung von Lehmbaumaterialien ist um ein Vielfaches geringer belastend für die Umwelt, als wie es etwa Beton darstellt. Wäre so eine Vorgangsweise denkbar?

OIB-RL 7, Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen:

Die OIB-RL 7 beschreibt allgemeine Überlegungen zu Themen wie Material und Ressource, Bauabfälle, Aushub, Nutzungsdauer, Anpassungsfähigkeit und Rückbau, ohne konkrete Ziele bzw. messbare Systeme vorzuschlagen (außer der Nennung von ÖNORM EN 15978-1).

Fragestellung OIB-Richtlinie 7:

- 14) Um eine Bewertung des Bauwerkes im gesamten Kreislauf durchführen zu können, wird es wohl notwendig sein, künftig die beiden OIB-RL 6 und OIB-RL 7 miteinander zu kombinieren. OIB-RL 6 behandelt ja nur einen Teilaspekt nämlich die Nutzung von Gebäuden. Wie wird das in den dafür zuständigen Gremien diskutiert?

Leistungsbeschreibung Hochbau

Die Leistungsbeschreibung für den Hochbau wird durch das Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft erstellt. Diese liefert Texte für die Erstellung von Leistungsverzeichnissen im Sinne des BVergG bzw. der ÖNORM A 2050.

Fragestellung zur Leistungsbeschreibung:

- 1) Wird in der Leistungsbeschreibung Hochbau bereits Lehmbau abgebildet?

4.1.2. Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaunormen

Weltweit betrachtet sind bereits eine Vielzahl von Normen zum Lehmabau publiziert. Zum Beispiel gibt es aus Deutschland DIN-Normen zu den Lehmabauprodukten wie Lehmsteine, Lehmputz, Lehmmauermörtel und Lehmplatten sowie Anforderungen zur Konstruktion, Bemessung und Ausführung von tragendem Lehmsteinmauerwerk. Weitere Beispiele in diesem Zusammenhang wären Normen aus Neuseeland oder USA, die teilweise umfangreiche Angaben für den Lehmabau beinhalten.

Für die Fragestellung der Anwendbarkeit dieser Lehmabauormen für Österreich wird zunächst eine Zusammenstellung aller weltweitgültigen Lehmabau-Normen durchgeführt und danach für die wichtigsten Normen ein Kurzreferat erstellt.

Aufbauend darauf soll über Befragungen von Expert:Innen im Speziellen der Behörde und dem österreichischen Normeninstitut die Frage geklärt, wie eine Anwendung dieser Normen in Österreich denkbar wäre.

Zusammenstellung weltweitgültiger Lehmabauormen

Betrachtet man die aktuelle Situation der Normung von Lehmabauprodukten bzw. Lehmabauwerken kann man festhalten, dass es weltweit bereits eine große Anzahl unterschiedlicher Regelwerke gibt.

In Europa ist vor allem Deutschland die treibende Kraft, um das Thema Normung auch für den Lehmabau entsprechend zu etablieren. Mit den erstmals 2013 erschienen DIN-Normen zu den unterschiedlichen Lehmabauprodukten gelang es auch für den europäischen Raum erste Grundlagendokumente für diese Bauweise zu schaffen, die schließlich mit der 2024 erschienen Bemessungsnorm von Lehmsteinen ein erstes geschlossenes Regelwerk für ein tragendes Lehmabausystem – nämlich dem Lehmstein – darstellt.

Aber auch außerhalb von Europa gibt es eine große Anzahl an Standards, die aus unterschiedlichen Motiven heraus entstanden sind. In Südamerika oder Asien mit der bspw. peruanischen oder nepalesischen Norm war es vor allem die Fragestellung rund um ein erdbebensicheres Bauen mit Lehm normative Anforderungen zu definieren. Oder in Afrika gelang es mit der Veröffentlichung der Normenreihe ARS 670 bis ARS 683 im Jahr 1996 einen einheitlichen Standard für den gepressten Lehmstein („*Compressed Earth Block (CEB)*“) herausgegeben durch ARSO („*African Organisation for Standardisation*“) zu generieren.

Ein erstaunlich umfangreiches Regelwerk stellen die Lehmabauormen aus Neuseeland dar. Die erstmals 1999 veröffentlichten Normen NZS 4297, NZS 4298 und NZS 4299 bilden für nahezu sämtliche Lehmabaukonstruktionen einen Standard, die von Erstuntersuchung des Baulehms bis hin zu Herstellung, Bemessung auf Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit so gut wie sämtliche Bereiche für ein kreislauffähiges Bauen mit Lehm darstellen.

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt eine Übersicht zu den wichtigsten aktuell gültigen Lehmabauormen³³. Dabei wird neben der Normnummer und -titel auch das Land, wo die Norm gültig ist, sowie das Erscheinungsjahr und der jeweilige Herausgeber angeführt.

³³ Trotz Zurückziehung der beiden Normen aus der Schweiz, werden diese zur Information mitabgebildet.

Tabelle 4: Übersicht weltweit gültiger Lehmbaunormen

Nummer	Titel	Land	Jahr	Herausgeber
DIN 18940	<i>Tragendes Lehmsteinmauerwerk - Bemessung, Konstruktion und Ausführung</i>	Deutschland	2023	DIN
DIN 18942-1	<i>Lehmbaumstoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe</i>	Deutschland	2024	DIN
DIN 18942-100	<i>Lehmbaumstoffe und Lehmbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis</i>	Deutschland	2024	DIN
DIN 18945	<i>Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>	Deutschland	2024	DIN
DIN 18946	<i>Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>	Deutschland	2024	DIN
DIN 18947	<i>Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>	Deutschland	2024	DIN
DIN 18948	<i>Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>	Deutschland	2024	DIN
ÖNORM EN 13914-2	<i>Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Innenputze</i>	Österreich	2017	ASI
TE Lehmputz	<i>Technische Empfehlung Lehmputze - Teil 1: im Werk hergestellte Lehmputzmörtel (Lehmwerkmörtel)</i>	Österreich	2024	Netzwerk Lehm
DIN 18550-2	<i>Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen - Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze</i>	Deutschland	2018	DIN
Lehmbau Regeln	<i>Lehmbau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile</i>	Deutschland	2009	DV-Lehm
TM01	<i>Technisches Merkblatt TM01: Anforderungen an Lehmputz als Bauteil</i>	Deutschland	2014	DV-Lehm
TM05	<i>Technisches Merkblatt TM05: Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaumstoffe - Richtlinie</i>	Deutschland	2011	DV-Lehm
TM06	<i>Technisches Merkblatt TM06: Lehmdünnlagenbeschichtungen - Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren, Deklaration</i>	Deutschland	2015	DV-Lehm
D0111	<i>Regeln zum Bauen mit Lehm</i>	Schweiz	1994 ³⁴	SIA
D077	<i>Bauen mit Lehm</i>	Schweiz	1991 ³⁵	SIA
UNE 41410	<i>Compressed earth blocs for walls and partitions – Definitions, specifications and test methods</i>	Spanien	2023	AENOR
XP P13-901	<i>Earth bricks and earth blocks for walls and partitions - Definitions - Specifications - Test methods - Delivery acceptance conditions</i>	Frankreich	2022	AFNOR
ASTM E 2392	<i>Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems</i>	USA	2024	ASTM

³⁴ zurückgezogen³⁵ mit 31.03.2017 zurückgezogen

Nummer	Titel	Land	Jahr	Herausgeber
NMAC 14.7.4	<i>Housing and construction, Building codes general, New Mexico earthen building materials code</i>	USA	2021	CID
NTE E.080	<i>Diseño y construcción con tierra reforzada</i>	Peru	2020	SENCICO
NEC-SE-VIVENDA	<i>Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m</i>	Ecuador	2015	MIDUVI
IS 13827	<i>Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines</i>	Indien	1993	BIS
GB 50011	<i>Code for Seismic Design of Buildings</i>	China	2010	SAC
NBC 204	<i>Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building (EB)</i>	Nepal	2015	DUDBC
NZS 4297	<i>Engineering design of earth buildings</i>	Neuseeland	2024	NZSO
NZS 4298	<i>Materials and workmanship for earth buildings</i>	Neuseeland	2024	NZSO
NZS 4299	<i>Earth buildings not requiring specific design</i>	Neuseeland	2024	NZSO
ARS 670 – ARS 689	<i>Compressed Earth Blocks</i>	Afrika	1996	ARS
SADC ZW HS 983	<i>Rammed earth structures – Code of practice</i>	Zimbabwe	2014	SAZ

4.1.3. Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehmbau

Den besten Mehrwert für ein kreislauffähiges Bauen mit Lehm erzielt man dann, wenn man direkt auf der Baustelle die geplanten Lehmbauprodukte gewinnt. Um dies erreichen zu können ist es notwendig, den Vor-Ort gewonnenen Bodenaushub auf dessen Qualität und Anwendbarkeit für den Lehmbau zu bewerten.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wird überprüft, inwieweit die vorhandenen fachverwandten Baunormen verwendet werden können, um Aussagen über die bautechnischen Eigenschaften für das Bodenaushubmaterial zur Herstellung von Lehmbaustoffen treffen zu können.

Das Grundmaterial, der Baulehm, kann im Wesentlichen über die Normenreihen ÖNORM EN ISO 17982 (für geotechnische Untersuchungen im Labor) sowie ÖNORM EN ISO 14688 (zur Klassifizierung und Beschreibung von Lockergestein, sprich Boden) näher untersucht werden.

Ergibt diese Prüfung, dass ein Bodenaushub für den Lehmbau anwendbar ist, muss als nächster Schritt der Bodenaushub für die Herstellung zu einem Lehmbaustoffes wie Lehmstein, Lehmmörtel und Lehmputz entsprechend aufbereitet werden. Dies erfolgt beispielsweise durch etwaige Zugabe von mineralischen und/oder organischen Zusatzstoffen. Daher wird in dieser Phase der Untersuchung wieder auf die bestehenden DIN-Normen zurückgegriffen und geprüft welche fachverwandten Baunormen im Analogieschluss für die Herstellung der genannten Baustoffe herangezogen werden könnte.

Ziel ist es am Ende über die bereits bestehenden Regelungen (wie fachverwandte Baunormen und DIN-Lehmbaunormen) eine normgerechte Prüfung von Baulehm zur Herstellung eines Lehmbaustoffes für die Baustelle definieren zu können.

Die nachfolgende Tabelle 5 zeigt eine aktuelle Zusammenstellung der vorhandenen Normen/Richtlinien, die derzeit für die Herstellung von Lehmbaustoffen im Werk oder Vor-Ort auf der Baustelle sowie für die Bemessung, Planung und Ausführung von Lehmbauwerken existieren.

Tabelle 5: Prüfungen für „Im Werk hergestellte“ und „Vor Ort hergestellte“ Lehmprodukte

	Im Werk hergestellt	Vor Ort hergestellt
Baulehm		
(z.B. aus Bodenaushub/Lehmgrube)	TM 05	keine Norm
Produkt		
Lehmstein	DIN 18945	
Lehmmauermörtel	DIN 18946	
Lehmputzmörtel	DIN 18947	keine Norm
Lehmplatten	DIN 18948	
Stampflehm	keine Norm	
Bemessung/Planung		
Lehmstein	DIN 18940	ÖNORM EN/B 1996-3
Lehmputzmörtel	ÖNORM EN 13914-2	
Stampflehm	ÖNORM EN 1990:2013, Anhang D (versuchsgestützte Bemessung)	ÖNORM EN 1990:2013, Anhang D (versuchsgestützte Bemessung)
Konstruktion		
Lehmstein	DIN 18940	keine Norm
Stampflehm	keine Norm	keine Norm
Ausführung		
Lehmstein	DIN 18940	
Lehmputzmörtel	ÖNORM EN 13914-2	keine Norm
Stampflehm	keine Norm	

Im Folgenden werden nun an dieser Stelle alle fachverwandten Baunormen, die für den Lehmbau von Bedeutung sein könnten, angeführt. Ausgehend von der Überprüfung des Baulehms auf dessen Erstbeurteilung auf der Baustelle bis hin zur Überprüfung im Labor werden die entsprechenden Normen genannt. Danach wird noch auf die wesentlichen Lehmbaustoffe wie Lehmstein, Lehmmauermörtel und Lehmputz eingegangen und die dafür wesentlichen normativen Grundlagen genannt.

Zusammenstellung fachverwandte Normen zur Baulehmprüfung

Für die Baulehmprüfung kann im Wesentlichen auf die bestehenden Normen aus dem Bereich der Geotechnik zurückgegriffen werden.

Für die Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden kann die ÖNORM EN ISO 14688 verwendet werden.

ÖNORM EN ISO 14688, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden*

Teil 1: Benennung und Beschreibung

*Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen*³⁶

Neben der Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden enthält diese Norm auch die für den Lehmabbau relevanten einfachen Handtests wie die Beschreibung und/oder Bewertung eines feinkörnigen Bodens auf dessen Ton- und Schluffanteil oder zur Abschätzung des Kalk- und Humusgehaltes im Boden. Diese einfachen Handtests sind dafür gedacht, um Vor-Ort eine Erstcharakterisierung des Bodenaushubs vornehmen zu können, um so rasch erkennen zu können, ob das vorhandene Bodenaushubmaterial sich für einen Baulehm eignet.

Für eine genauere Bestimmung der Bodeneigenschaften im Labor gilt in weiterer Folge vor allem die Normenreihe ÖNORM EN ISO 17892³⁷, die aus zwölf Teilen besteht, wobei für den Lehmabbau im Wesentlichen folgende Teile von Relevanz sind:

ÖNORM EN ISO 17892, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben

Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts (ISO 17892-1:2014)

Teil 3: Bestimmung der Korndichte (ISO 17892-3:2015, korrigierte Fassung 2015-12-15)

Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung (ISO 17892-4:2016)

*Teil 12: Bestimmung der Zustandsgrenzen (ISO 17892-12:2018)*³⁸

Neben den genannten geotechnischen Prüfnormen gibt es seit 2019 auch eine europäische Normenreihe, die allgemein für Erdarbeiten heranzuziehen ist. Diese Normenreihe besteht wiederum aus folgenden Teilen:

ÖNORM EN 16907, Erdarbeiten

Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln

Teil 2: Materialklassifizierung

Teil 3: Ausführungen von Erdarbeiten

Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln

Teil 5: Qualitätskontrolle und Überwachung

Teil 6: Landgewinnung mit nassgebagertem Einbaumaterial

Von dieser Normenreihe ist vor allem der zweite Teil von Bedeutung. Dieser enthält Bestimmungen zur Materialklassifizierung und liefert in einem informativen Anhang eine Liste maßgebender Versuchsnormen für Erdarbeiten, und zwar für fein- und grobkörnigen Böden sowie für Felsen. Dabei werden Parameter für Erdarbeiten aufgelistet (siehe Tabelle 6) und dazu die jeweilige Referenznorm genannt.

³⁶ Es handelt sich dabei um eine internationale Norm, erarbeitet durch die Arbeitsgruppe ISO/TC 182/WG 1 „Identification and classification of soil and rock“

³⁷ Zuständig für diese Internationale Norm ist das ISO/TC 182 „Geotechnics“ sowie CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“

³⁸ Die weiteren Teile dieser Norm sind: Teil 5: Oedometerversuch; Teil 6: Fallkegelversuch; Teil 7: Einaxialer Druckversuch; Teil 8: Unkonsolidierter undrännierter Triaxialversuch; Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden; Teil 10: Direkte Scherversuche; Teil 11: Bestimmung der Durchlässigkeit mit konstanter und fallender Druckhöhe

Tabelle 6: Zusammenstellung der Parameter, welche insbesondere für Böden gemäß ÖNORM EN 16907-2 geeignet sind³⁹

Parameter	ÖNORM EN	Bemerkungen
Probenahme	EN ISO 22475-1	geeignet für Probenahme von Böden für eine geotechnische Erkundung
	EN 932-1	geeignet für Probenahme von Gesteinskörnungen ⁴⁰
Vorbereitung der Probekörper	EN ISO 17892 (alle Teile)	geeignet für Vorbereitung von Bodenprobekörpern
	EN 1997-2	geeignet für Vorbereitung von Bodenkörpern
Korngrößenverteilung	EN ISO 17892-4	Geeignet für Böden
Verlauf der Körnungslinie	EN ISO 14688-2	Klassifizierung von Böden
Plastizitätsgrenzen	EN ISO 17892-12	geeignet für Böden
Methylenblau-Methode	EN 939-9	geeignet für Böden
Chemische Parameter	EN 1744-1	
Korndichte	EN ISO 17892-3	geeignet für Böden
Protorversuch	EN 13286-1	
	EN 13286-2	
Mineralogische Zusammensetzung	EN ISO 14688-1	bietet ein System für die Feldbeschreibung von Böden
Wassergehalt	EN ISO 17892-1	Siehe oben
Dichte	EN ISO 17892-2	Siehe oben
Undränierete Festigkeit	EN ISO 17892-6	
	EN ISO 17892-7	Siehe oben
	EN ISO 17892-8	
Dränierete Festigkeit	EN ISO 17892-9	
	EN ISO 17892-10	Siehe oben
Hydraulische Leitfähigkeit	EN ISO 17892-11	Siehe oben

Zur Beschreibung einer genormten Probeentnahme dient ÖNORM EN ISO 22475-1.

ÖNORM EN ISO 22475-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen — Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung*

Diese Norm liefert u.a. Angaben zur Entnahme von Bodenproben, um damit eine geotechnische Erkundung bzw. Prüfung gemäß ÖNORM EN 1997-1 und ÖNORM EN 1997-2 auf dessen bodenmechanische Eigenschaften durchführen zu können.⁴¹ Diese Norm gilt für die Untersuchung des Bodenaushubes.⁴²

³⁹ Vgl. (ÖNORM EN 16907-2, 2019) Tabelle A.1

⁴⁰ ÖNORM EN 932-1 legt ein Verfahren zur Entnahme von Proben aus Gesteinskörnungen aus Lieferung, Aufbereitungs- und Bearbeitungsanlagen fest, d.h. diese Norm wäre relevant für eine Vorgabe zur Probeentnahme von bspw. Bodenaushubdeponie, um die entsprechende Probemenge zur Untersuchung zu gewinnen. (Vgl. Anwendungsbereich ÖNORM EN 932-1:1997)

⁴¹ Vgl. Anwendungsbereich der ÖNORM EN ISO 22475-1

⁴² Für die Entnahme von Gesteinskörnungen aus etwa Bearbeitungsanlagen (einschließlich Vorratslagern) gilt ÖNORM EN 932-1.

Vorgaben für die Erkundung und Untersuchung eines Baugrundes enthält ÖNORM EN 1997-2.

ÖNORM EN 1997-2, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*⁴³.

Allgemein liefert diese Norm folgende Anforderungen:

- Planung von Baugrunduntersuchungen wie Zweck, Abfolge, Vor-, Haupt- und Kontrolluntersuchungen und Überwachung,
- Probenahme von Böden mittels Bohrungen, Schürfen, Stollen oder Schächten,
- Felduntersuchungen in Boden, hier aber in der Regel zum Zwecke der Überprüfung von Standsicherheit (Grundbruch, Setzungen, etc.) sowie Nachweise für unterschiedliche Gründungsarten hinsichtlich Verformbarkeit des Baugrundes
- Versuche zur Klassifikation, Benennung und Beschreibung von Boden im Wesentlichen auf Basis der ÖNORMEN EN ISO 14688 und EN ISO 17892, darunter fallen Angaben zum Wassergehalt, Bodendichte, Korndichte, Korngrößenverteilung, Konsistenzgrenzen nach Atterberg, Zerfallsempfindlichkeit an tonigen Böden in erster Linie im Hinblick auf Erddämme, Dichtungen und andere Bauwerke, die im Kontakt mit Wasser stehen, Frostempfindlichkeit
- Chemische Untersuchungen an Böden wie organischer Anteil, Kalkgehalt, pH-Wert, Chloridgehalt
- Versuche zur Bestimmung der Festigkeit von Böden zur Bestimmung der dränierten oder undränierten Scherparameter
- Versuche zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit und der Verformungen von Böden (Oedometer)
- Bestimmung der Verdichtung an Böden durch den Proctorversuch
- Detaillierte Informationen zur Herstellung von Probekörpern aus Boden für Versuche.

Ein vereinfachtes Verfahren, um den Boden auf quellfähige Tonmineralien zu untersuchen, ist die Methylenblau-Methode. Diese Methode wird in der ÖNORM EN 933-9 geregelt und ist dabei geeignet für Böden mit einer Kornklasse von 0 bis 2mm.

ÖNORM EN 933-9, *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 9: Beurteilung von Feinanteilen — Methylenblau-Verfahren*

Für die Prüfungen chemischer Eigenschaften von Gesteinskörnungen liefert die ÖNORM EN 1744-1 nähere Prüfverfahren.

ÖNORM EN 1744-1, *Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 1: Chemische Analyse*

Diese Norm liefert dabei u.a. Angaben zu folgende Prüfverfahren:

- Bestimmung von wasserlöslichen Chloriden oder Sulfate
- Bestimmung des Gesamtschwefelgehalts
- Bestimmung der säurelöslichen Sulfate oder Sulfide
- Bestimmung von organischen Bestandteilen
- Bestimmung des Glühverlustes.

⁴³ Hrsg. vom CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ im Unterkomitee SC 7 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“

Um einen Boden optimal zu verdichten, liefert der Proctorversuch entsprechende Vorgaben, der wiederum in den ÖNORMEN EN 13286-1 und -2 sowie in einer nationalen Umsetzung in der ÖNORM B 4418 näher beschrieben ist.

EN 13286-1, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 1: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt — Einführung, allgemeine Anforderungen und Probenahme*

EN 13286-2, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes — Proctorversuch*

ÖNORM B 4418, *Geotechnik - Durchführung von Proctorversuchen im Erdbau unter Einbeziehung der ÖNORM EN 13286-2*

Weitere nationale Normen aus dem Fachbereich der Geotechnik, die für die Anwendung im Lehm- und Schluffbau relevant sein könnten, sind:

ÖNORM B 4401, *Geotechnik - Zusammenhang zwischen Bohrverfahren, Güteklassen von Bodenproben und Probenmengen für geotechnische Laboruntersuchungen*

ÖNORM B 4422-2, *Erd- und Grundbau - Untersuchung von Böden - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit - Feldmethoden für oberflächennahe Schichten*

ÖNORM B 4414-2, *Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Dichte des Bodens; Feldverfahren*

Neben den bautechnischen Normen können auch die Normen aus dem Fachbereich Umwelttechnik, bei dem der Boden aus dem Blickwinkel für einen Pflanzenstandort betrachtet wird, herangezogen werden. Gerade beim Bodenaushub, wo Bodentyp, Bodenart, Zuordnung von Bodenhorizonten etc. eine bedeutende Rolle spielen, können diese Normen eine wichtige Hilfestellung sein.⁴⁴ Aus diesem Bereich gibt es folgende Normen:

ÖNORM L 1050, *Boden als Pflanzenstandort – Begriffe und Untersuchungsverfahren*

ÖNORM L 1051, *Physikalische Bodenuntersuchungen – Probenahme unter Beibehaltung der Bodenstruktur (Stechzylindermethode)*

ÖNORM L 1052, *Physikalische Bodenuntersuchungen – Probenahme unter Zerstörung der Bodenstruktur*

ÖNORM L 1053, *Bodenuntersuchungen – Allgemeine Grundlagen*

ÖNORM L 1054, *Probenahme von Böden – Allgemeines, Terminologie*

ÖNORM L 1055, *Bodenuntersuchungen – Probenahme ohne Aufrechterhaltung der Bodenstruktur*

ÖNORM L 1061-1, *Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden – Teil 1: Grobboden*

ÖNORM L 1061-2, *Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden – Teil 2: Feinboden*

ÖNORM L 1071, *Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Farbe des Bodens*

⁴⁴ Die digitale Bodenkarte (www.bodenkarte.at) basiert im Wesentlichen auf Normen aus diesem Fachbereich.

ÖNORM L 1075, *Grundlagen für die Bewertung der Gehalte ausgewählter chemischer Elemente in Böden*

ÖNORM L 1065, *Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit in gesättigten Stechzylinderproben*

Zusammenstellung fachverwandte Normen zur Prüfung von Lehmbaustoffe

An dieser Stelle werden die bestehenden Baunormen für das Mauerwerk (Lehmstein und Lehmmauermörtel) und Putzsysteme zusammengestellt. Betrachtet werden hier nur die für die Herstellung des Produktes relevanten Normen. Auf die Anforderungen zur Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten auf Basis des Eurocodes 6 wird in dieser Zusammenstellung nicht näher eingegangen.

Für das Mauerwerk gibt es eine Reihe von nationalen und europäischen Prüf- und Anforderungsnormen, die in Analogie auch für den Lehmbau anwendbar sind. Dazu zählen Normen für den Mauerziegel, Mauer- und Putzmörtel sowie das Mauerwerk selbst.

Folgende Normen gelten für den Mauerstein bzw. Mauerziegel:

ÖNORM EN 771, *Festlegungen für Mauersteine*

ÖNORM EN 772, *Prüfverfahren für Mauersteine*

ÖNORM B 3200, *Mauerziegel – Anforderungen, Prüfungen, Klassifizierung und Kennzeichnung – Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 771-1*

Folgende Normen gelten für das Mauerwerk:

ÖNORM EN 1052, *Prüfverfahren für Mauerwerk*

ÖNORM EN 845, *Festlegungen für Ergänzungsbauteile für Mauerwerk*

ÖNORM EN 846, *Prüfverfahren für Ergänzungsbauteile für Mauerwerk*

ÖNORM B 3358, *Nichttragende Innenwandsysteme*

Folgende Normen gelten für den Mauer- und Putzmörtel:

ÖNORM B 3344, *Baustellengemischte Mauer- und Putzmörtel*

ÖNORM B 3346, *Putzmörtel – Regeln für die Verwendung und Verarbeitung*

ÖNORM B 3347, *Textilglasgitter für Putzarmierung*

ÖNORM EN 1015, *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk*

ÖNORM EN 13914, *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen*

ÖNORM EN 15824, *Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln*

ÖNORM EN 998, *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau*

ÖNORM B 3641, *Schilfrohr in Bündeln*

ÖNORM B 3642, *Stukkaturrohrgewebe, Schilfrohrgewebe und -matten*

4.2. Methoden

4.2.1. Vorgaben aus dem Bautechnikgesetzen/Bundesvergabegesetz

Die auf Basis der Analyse aus 4.1.1 abgeleiteten Fragestellungen bildeten die Grundlage für die Befragungen von Bauexpert:innen, die folgendermaßen erfolgten:

- Interviews, Gespräche in Form von Präsenzterminen bzw. Online-Meetings,
- schriftliche Beantwortungen kurzer Fragebögen.

Im Folgenden werden nun die verschiedenen Stakeholder-Gruppen vorgestellt und die Personen genannt, mit denen eine Kontaktaufnahme erfolgte bzw. in den meisten Fällen auch eine Befragung durchgeführt werden konnte.

Behörde

Von Seiten der Bundesverwaltung wurde mit folgenden Stellen die genannten Fragen thematisiert:

- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie: Gespräche mit Frau Dr.ⁱⁿ Jutta Kraus und Herrn Dipl.-Ing. Roland Starke
- Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft: Leistungsbeschreibung: schriftliche Stellungnahme von Herrn Dipl.-Ing. Roman Duskanich (Leiter der Abteilung VII/3 Bau- und Haustechnik)

Von Seiten der Landesverwaltung wurde mit folgenden Stellen die genannten Fragen thematisiert:

in Wien:

- Magistratsabteilung 19, Architektur und Stadtgestaltung: Gespräch mit Frau Dipl.-Ing.in Claudia Prinz Brandenburg
- Magistratsabteilung 21, Stadtteilplanung und Flächenwidmung: Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Lukas Lang, (Projektleitung Stadtentwicklungsgebiet RothNEUsiedl)
- Magistratsabteilung 39, Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle: Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Dieter Werner, MSc (Leiter Bauphysiklabor)
- Magistratsabteilung 37 Baupolizei: Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Dr. Viktor Dunjic
- VIE.CYCLE – zirkuläres Bauen, ein Programm der Wirtschafts- und Innovationsstrategie der Stadt Wien, Gespräche mit Frau Arch. Dipl.-Ing.in Bernadette Luger, MSc (Programmleiterin von DoTank) und Herrn Dipl.-Ing. Georg Hofmann

in Niederösterreich

- Abteilung Bau- und Raumordnungsrecht: schriftliche Stellungnahme von Herrn Mag. Severin Nagelhofer

Weiters wurden kontaktiert:

- Wirtschaftskammer Österreich (WKO) angefragt jedoch keine Rückmeldung oder Stellungnahme erhalten von

- Bundesinnung Bau
- Fachverband der Bauindustrie
- Fachverband Steine und Keramik
- Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB): schriftliche Stellungnahme von Herrn Dipl.-Ing. Dr. Nikolaus Fuchs (Referatsleiter Produktinformationsstelle für das Bauwesen)

Industrie und Handel

Aus der Bauwirtschaft konnte mit folgenden Unternehmen Gespräche geführt werden:

- Bauunternehmen:
 - PORR Bau GmbH: Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Mag. Thomas Kaspar (Abfallrechtlicher Geschäftsführer PORR Bau GmbH, Prokurist PORR Recycling GmbH)
 - STRABAG: Gespräch mit Frau M.Eng Winona Reddig (Expertin für Baumaterialien)
 - LOPAS GmbH: Gespräch mit Herrn Roland Meingast (Forschung und Entwicklung)
- Baustoffproduzenten
 - Wienerberger Österreich GmbH: Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Mario Kubista (Leitung PM Wand & Fassade)
 - Martin Pichler Ziegelwerk GmbH: Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Ekkehart Pichler (Geschäftsführer)
 - Ziegelwerk Nicoloso: Gespräch mit Frau Monica Nicoloso (Geschäftsführerin)
 - CLAYTEC Lehmbaustoffe GmbH: Gespräch mit Herrn Simon Breidenbach (Geschäftsführung Büro Wien)

Wissenschaft und Forschung

Von Seiten der Wissenschaften konnte mit folgenden Universitäten Gespräche geführt werden:

- Kunstuniversität Linz (Architektur): Gespräch mit Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Sigi Atteneder (Head Department of Architecture and BASEhabitat)
- Technische Universität Wien (Forschungsbereich Digitaler Bauprozess): Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Alexander Gerger (Universitätsassistent)

NGO

Aus dem Bereich Non-Government-Organisation konnten folgende Gesprächspartner gewonnen werden:

- Austrian Standards: Gespräch mit Herrn Mag. Erich Zeisl (Head of Production) und Herrn Dipl.-Ing. Javier Valencia (Komitee-Manager)
- Baustoff-Recycling Verband (BRV): Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Mag. Thomas Kaspar (Präsident des Österreichischen Baustoff-Recycling Verbandes)

4.2.2. Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaunormen

Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung erfolgte über Literaturrecherche, in dem eine detaillierte Aufstellung aller weltweit gültigen Lehmbaunormen vorgenommen werden konnte. Des Weiteren erfolgte im Zuge der Befragungen von Expert:Innen im Speziellen aus den Bereichen der Behörde und

dem Österreichischen Normungsinstitut (siehe 4.2.1.) die Prüfung spezieller normentheoretischer Hintergründe zur Anwendbarkeit von weltweit gültigen Normen.

Um einen Überblick zu erhalten über die bestehenden Lehmbaunormen wird im Folgenden für jede Norm ein kurzer Normensteckbrief angeschrieben mit folgenden Punkten:

- Titel,
- Herausgeber, Erscheinungsjahr,
- Anwendungsbereich,
- Schlagwörter.

Zu Beginn wird zu jeder Norm noch dessen Besonderheiten angeführt bzw. erweiterte Informationen über den Inhalt bzw. Hintergründe.

Lehmbaunormen in Österreich

ÖNORM EN 13914-2

Diese Norm ist deshalb interessant für Österreich, da es das erste normative Dokument darstellt, in dem eine Lehmbauweise, nämlich der Lehmputz, explizit genannt wird (Tabelle 65). Sie stellt die Grundlagennorm für die Planung, Zubereitung und Ausführung von Innenputze dar, in der eben seit 2016 auch der Lehmputz als mögliches Material genannt wird. Dabei lässt sie für das jeweilige CEN-Mitgliedsland es frei, zu bestimmten Bereichen auch nationale Anforderungen zu definieren. Dies hat etwa Deutschland zum Lehmputz gemacht, indem man in der DIN 18550-2 einen eigenen Anhang dazu verfasste. Für Österreich wäre das nationale Anwendungsdokument zu ÖNORM EN 13914-2 die ÖNORM B 3346. Aktuell wird jedoch in diesem Dokument der Lehmputz nicht behandelt. Da jedoch der Lehmputz in Österreich zu einer der wichtigsten Anwendungen für den Lehmbau zählt, wurde im Rahmen dieses FFG-Projektes in mehreren Workshops gemeinsam mit Österreichischen Expert*innen zum Lehmbau eine Technische Empfehlung ausgearbeitet, die nun für Österreich ergänzende Festlegung beinhaltet.

Technische Empfehlung Lehmputz

Diese Technische Empfehlung stellt gemeinsam mit der ÖNORM B 3346 das Umsetzungsdokument zur europäischen Grundlagennorm ÖNORM EN 13914-2 für den Lehmputz im Innenbereich dar (Tabelle 66). Sie liefert Angaben zu den Festigkeitseigenschaften, unterschiedlichen Putzsysteme (Unterputz, Oberputz, Lehmdünnlagenputz) sowie zur natürlichen und technischen Trocknung. Ferner gelten für die Anwendung dieses Dokumentes die Anforderung nach DIN 18947, das die Anforderung für ein im Werk hergestelltes Lehmputzprodukt definiert.

Betreffend Anforderungen zu Oberflächengüte eines Lehmputzes gelten zum einen die Vorgaben aus ÖNORM EN 13914-2 und ÖNORM B 3346 und zum anderen befindet sich für alle funktional weiterführenden Leistungen eine eigene Technische Empfehlung in Ausarbeitung.

Lehmbaunormen in Deutschland

Allgemeines

Für Österreich besonders spannend sind naheliegenderweise deutschsprachige Normen. Und da stellt gerade das seit 2013 erarbeitete DIN-Normenpaket zu den Lehmbaumaterialien eine große Bedeutung dar. Zu diesem Paket zählen folgende Normen:

- DIN 18940, *Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Bemessung, Konstruktion und Ausführung*

- DIN 18942-1, *Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 1: Begriffe*
- DIN 18942-100, *Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*
- DIN 18945, *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*
- DIN 18946, *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*
- DIN 18947, *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*
- DIN 18948, *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18940, Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Bemessung, Konstruktion und Ausführung

Diese Norm (Tabelle 67) ist die Grundlagennorm für die Bemessung, Konstruktion und Ausführung von tragendem Lehmsteinmauerwerk, die im Wesentlichen folgende Angaben bzw. Anforderungen an das Lehmsteinmauerwerk stellt:

- Angaben zum Produkt: Lehmstein, Lehmmauermörtel, Dämmung, Lehmputz
- Festlegungen zur Planung und Konstruktion: Nutzungsklassen, Ringanker, Ringbalken, Deckenaufleger, Sturzausbildung, Auflager von Einzellasten, Mindestwandfläche, Mischmauerwerk, Mischkonstruktionen, Schlitze, konstruktiver Feuchteschutz, Wärme- und Schallschutz
- Erforderlicher Bemessungsnachweis: Nachweis mit Teilsicherheitsmethode, charakteristische Druckfestigkeit von Lehmsteinwand, Gebäudeaussteifung, Erdbeben, Berechnungsmethoden für vertikal und durch Wind beanspruchte Wände, tragende Lehmsteinmauerwerkswände im Brandfall, Ermittlung des Feuerwiderstands
- Angaben zur Ausführung: Witterungsschutz auf der Baustelle, handwerkliche Ausführung, Schwinden, Verputz
- Abschließende Anhänge zu Rückbau und Recycling.

DIN 18942-1, Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 1: Begriffe

Diese Norm (Tabelle 68) bildet eine einheitliche Begriffsnorm für den Lehmbaum mit folgender Gliederung:

- Lehmbaumstoffe, allgemeine Begriffe
- Begriffe für Lehmsteine
- Begriffe für Lehmmörtel
- Begriffe für Lehmplatten

DIN 18942-100, Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis

Diese Norm (Tabelle 69) definiert Anforderungen für den Konformitätsnachweis von Lehmbaumstoffen, wobei folgende Punkte behandelt werden:

- Erstprüfung
- Werkseigene Produktionskontrolle (WPK) u.a. mit Mindestprüfhäufigkeit (z.B. 250m³ Lehmstein ist bspw. Form, Steinrohndichte, Druckfestigkeit zu prüfen), Art der Prüfung, Dokumentation
- Probenahme

DIN 18945, Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Diese Norm (Tabelle 70) legt Anforderungen für den Lehmstein fest. Dabei werden u.a. Anwendungsklassen (AK) für den Lehmstein definiert. Die nachstehende Abbildung 3 zeigt dabei die unterschiedlichen Anwendungsklassen für den Lehmstein.

Abbildung 3: Anwendungsklasse von Lehmsteinen

	1	2
	Anwendungsbereich	AK
1	verputztes, der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk von Sichtfachwerkwänden ^a	Ia
2	durchgängig verputztes, der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk ^a	Ib
3	verkleidetes oder anderweitig konstruktiv witterungsgeschütztes Außenmauerwerk, Innenmauerwerk	II
4	trockene Anwendungen (z. B. Deckenfüllungen, Stapelwände)	III
^a Beanspruchungsgruppe I nach DIN 4108-3 bzw. nach sorgfältiger Prüfung der örtlichen Schlagregenexposition.		

DIN 18946, Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Diese Norm (Tabelle 71) legt Anforderungen für den Lehmmauermörtel fest.

DIN 18947, Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Diese Norm (Tabelle 72) legt Anforderungen für den Lehmputz fest. Sie gilt für den Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich.

DIN 18948, Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Diese Norm (Tabelle 73) gilt für Lehmplatten für die Beplankung (A) oder Bekleidung (B).

DIN 18550-2

Diese Norm (Tabelle 74) ist für Deutschland die Ergänzungsnorm zur Europäischen Grundlagennorm EN 13914-2 für Putze im Innenbereich⁴⁵. Dabei enthält der normative Anhang F Anforderungen für den Lehmputz, und zwar zu den Punkten: Anwendung, Festigkeitseigenschaften, Putzsysteme und Trocknung und ist in Verbindung mit DIN 18947 anzuwenden.

Technisches Merkblatt TM 05

In den einzelnen DIN-Normen zu den Lehmbauprodukten wie Lehmstein, Lehmmörtel, Lehmputz und Lehmplatten finden sich für die Prüfung von den unterschiedlichen bautechnischen Eigenschaften von Baulehm keine Angaben.

Diese Anforderungen werden im Technischen Merkblatt TM05 für die anfängliche Eignungsprüfung und danach laufenden Qualitätsüberwachung von Baulehm näher definiert (Tabelle 75). Dabei fallen unter die Eignungsprüfung folgende Prüfungen:

- einfache Handtests gemäß Lehm bau-Regeln,
- Bindekraft,
- Plastizität,
- Korngrößenverteilung.⁴⁶

Für die laufende Überprüfung der Baulehmqualität ist mindestens zweimal jährlich bzw. mindestens einmal je 1000 Tonnen, wobei bei langjähriger Erfahrung die Häufigkeit auf je 3000 Tonne reduziert werden darf, durchzuführen. Dabei sind folgende Prüfungen vorgeschrieben:

⁴⁵ in Österreich ist dies die ÖNORM B 3346 und für den Lehmputz kann die Technische Empfehlung zu den Lehmputzen angewendet werden.

⁴⁶ (Volhard & Röhlen, Lehm bau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 2.4.3 und 2.4.4)

- Korngrößenverteilung,
- Riech- und Sichtprobe auf Humusbestandteile,
- Gehalt an bauschädlichen Salzen,
- Lineares Schwindmaß,
- Druckfestigkeit,
- Plastizität,
- Bindekraft.

Lehmbaunormen in Neuseeland

Allgemeines

Das neuseeländische Normungsinstitut publizierte zum ersten Mal 1999 einen umfangreichen Standard zum Lehmbau. 2024 erfolgte eine Neuausgabe des revidierten Standards.

Die Normenreihe besteht aus folgenden Normen:

- NZS 4297, *Engineering design of earth buildings*
- NZS 4298, *Materials and workmanship for earth buildings*
- NZS 4299, *Earth buildings not requiring specific design*

Dabei kann folgende inhaltliche Gliederung zu diesen Normen vorgenommen werden:

- NZS 4297 entspricht einer Grundlagennorm für den Lehmbau
- NZS 4298 liefert Angaben zum Material und Konstruktion
- NZS 4299 liefert Angaben zur Ausführung von Lehmbauwerken

NZS 4297

Diese Norm (Tabelle 76) beinhaltet folgende Punkte:

- Grenzzustände
 - Grenzwerte für Einwirkungen aus Nutzlast und Widerstandseite (Druckfestigkeit, Schubspannung, Scherspannung zufolge Wind und Erdbeben), Biegezugfestigkeit von Mauerwerk aus Lehmsteinen oder CEBs
 - Nachweis auf Tragsicherheit mit oder ohne Berücksichtigung von Erdbeben
- Allgemeine Angaben auf die Dauerhaftigkeit (Gebrauchstauglichkeit) für Baulehm
- Angaben zum Feuerwiderstand (so ist etwa ein Brandversuch nur für Lehmwänden mit einer Dichte von weniger als 1400kg/m³ vorgeschrieben)
- Bewehrung/Verstärkungen im Zusammenhang mit erdbebensicheren Bauen
- Gründungen
- Nachweise der Grenzzustände für die Tragfähigkeit (ULS) und Gebrauchstauglichkeit (SLS) nach NZS 1170⁴⁷ mit folgenden Detailangaben
 - Scherfestigkeit von in der Erde verankerten Bolzen,
 - Biegung mit oder ohne axiale Belastung,
 - Schubnachweis.
- Angaben zu Stützen.

⁴⁷ NZS 1170.0:2002 Structural Design Actions - General principles: *“This Standard specifies general procedures and criteria for the structural design of a building or structure in limit states format. It covers limit states design, actions, combinations of actions, methods of analysis, robustness and confirmation of design. The Standard is applicable to the structural design of whole buildings or structures and their elements.*

Scope: This Standard covers the following actions: (a) Permanent action (dead load); (b) Imposed action (live load); (c) Wind; (d) Snow; (e) Earthquake; (f) Static liquid pressure; (g) Ground water; (h) Rainwater ponding; and (i) Earth pressure.” URL: <https://codehub.building.govt.nz/resources/1170-02002asnzs> [Zugriff am 20.08.2024]

NZS 4298

Diese Norm (Tabelle 77) enthält allgemeine Angaben zum Material und Konstruktion von Lehmbaustoffen mit gesonderten Ergänzungen für Stampflehm, Lehmstein, CEB, Wellerlehm und Lehmsteinen bei Vor-Ort-Herstellung. Des Weiteren finden sich Angaben zum Oberflächenschutz und umfangreiche Anhänge u.a. zu folgenden Prüfverfahren:

- Bestimmung des Tongehaltes im Baulehm und Einteilung nach den jeweiligen Anwendungsmöglichkeiten
- Kugeltest für die Eignung des Mörtels
- Ermittlung der Designwerte aus den Testergebnissen,
- Ermittlung der charakteristischen ein-axialen Druckfestigkeit,
- Kontrolle der Festigkeit von Lehmsteinen durch Falltest inkl. Skizze,
- Bestimmung der Biegezugfestigkeit inkl. Skizze zu Vor-Ort-Prüfung,
- Schrumpfungstest,
- Kontrolle des Feuchtegehaltes durch Falltest inkl. Skizze,
- nass/trocken Abriebtest,
- Erosionstest (Drucksprühverfahren) inkl. Skizzen,
- Erosionstest („*Geelong method*“) inkl. Skizze,
- Dichtepprüfung,
- Biegezugfestigkeit durch Bond Wrench Prüfung.

NZS 4299

Diese Norm (Tabelle 78) beinhaltet folgende Angaben:

- Allgemeine Angabe, die bei der Ausführung von Lehmbauwerken zu beachten sind, wie:
 - Materialien,
 - Dauerhaftigkeit,
 - klimatische Bedingungen: Wind, Witterungsschutz,
 - Zusammenhang Dichte und U-Wert,
 - Feuchteschutz
- Anforderungen an den Standort,
- Schutz vor Erdbeben,
- Ausführung von Gründungen und Fußbodenaufbau,
- Wände (vertikale und horizontale Einwirkungen mit oder ohne Verstärkungen, Schubverbindungen),
- Decken (schubsteife) und Ringanker, Stürze,
- Wandöffnungen sowie Befestigungen an der Wand,
- Kontrollfugen zur Rissvermeidung,
- Lehmfußboden,
- Anhänge u.a. zu
 - Leichtlehmabau,
 - Strohballenkonstruktion
 - Angabe zur Wartung.

Lehmbaunormen in Süd- und Nordamerika

ASTM E 2392

2005 wurde vom amerikanischen Normungsinstitut ASTM International erstmals die Norm ASTM E 2392 zum Lehmabau publiziert und gilt somit als Richtlinie für alle Staaten der USA (Tabelle 79).

Diese Norm wurde zunächst 2010 bzw. 2016 überarbeitet und liegt seit 2023 nach einer neuerlichen Revision in der aktuell gültigen Fassung vor.

ASTM E 2392 gilt für Lehmsteine, Stampflehm und gepressten Lehmsteinen (CEB). Neben den in dieser Norm genannten ökologischen Vorteilen in Hinblick auf Ressourcenschonung finden sich in dieser Norm Angaben zu den benötigten Materialien, dessen Herstellungsprozess und prinzipielle Vorgaben zur Ausführung von Lehmbauten (bspw. Feuchteschutz einer Lehmwand). Zur Prüfung des Baustoffes Lehm werden einfache Handtests zur Rissprüfung, Zugfestigkeit, Plastizität sowie Kornverteilung beschrieben. Ferner werden für Lehmbauten in Erdbebengebieten unterschiedliche konstruktive Lösungsansätze wie beispielsweise Mindestangaben zu Wandöffnungen angegeben.

NMAC 14.7.4

Die „*Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department*“ (CID) des US-Bundesstaates New Mexico publiziert seit 2001 detaillierte Standards zum Lehmnbau. Die erste Richtlinie NMAC 14.11.11 lieferte bspw. Angaben für den Stampflehmbau. Diese Regel wurde 2004 durch die Norm NMAC 14.7.4 ersetzt, die nach mehreren Revisionen nun seit 2021 in der aktuellen Fassung vorliegt (Tabelle 80). NMAC 14.7.4 gilt für bis zu zweigeschoßige Lehmgebäude und behandelt den Lehmstein, Stampflehmbau und gepresster Lehmstein (CEB). Dabei liefert diese Norm Angaben zu

- Baulehmgewinnung und Materialanforderungen für die verschiedenen Lehmbautechniken,
- Mindestfestigkeitswerte,
- Ausführungsdetails zu Mindestwanddicken, Gründungen, Ringbalken/Sturz, Anschlüsse und Aussparungen.

Für die Ausführung von Lehmsteinwänden finden sich in dieser Norm noch zusätzliche Anforderungen für den zu verwendenden (Lehm)Mörtel, Putz (Lehm-, Zement- oder Kalkputz) und Wärmedämmplatten mit Angaben zu konstruktiven Detaillösungen für Bauten aus Lehmstein oder Stampflehm.

NTE E.080

Diese Norm E.080 (Tabelle 81) definiert Mindestanforderungen, um ein erdbebensicheres Bauen mit Lehm sicherzustellen. Im Wesentlichen wird dies nach dieser Norm durch folgende Maßnahmen erreicht:

- Verstärkungen (Bewehrungen) bei Wänden aus Stampflehm oder Lehmsteinen durch das Einlegen von Maschengitter oder Ähnlichem,
- Angaben zu Gründungen für das Bauen im Erdbebengebiet,
- Bemessungskonzept nach dem globalen Sicherheitskonzept unter Ermittlung einer Erdbeben-Ersatzlast. Die Berechnung dieser erfolgt mittels Faktoren zu Bodentyp, Gebäudenutzung, Erdbebenkoeffizient und Gesamtgewicht des Gebäudes.
- Konstruktive Mindeststandards für Tür und Fensteröffnungen, Eckausbildungen sowie Verstärkungen bzw. Aussteifungen durch Querwände.

Neben den Angaben zu erdbebensicheren Bauen finden sich in dieser Norm auch allgemein gültige konstruktive Mindestanforderungen, wie z.B.:

- Feuchte- und Witterungsschutz,
- Verlegung von Sanitär- oder Leerrohren,
- Überprüfung des Baulehms im Labor durch

- Druck- und Zugfestigkeit für Bauwerke aus Stampflehm und Lehmstein,
- Mindestzugkraft für den Mörtel,
- Mindestdruckkraft in der Mauer und Ermittlung der indirekten Wandspannung.
- Überprüfung des Baulehms durch Handtests wie
 - Trockenfestigkeit,
 - Falltest zur Abschätzung der Zusammensetzung,
 - Bandtest zur Prüfung der Plastizität.

Lehmbaunormen in Asien

IS 13827

1993 erfolgte durch das BIS die Publikation der Erdbebennorm IS 13827 (Tabelle 82). Diese Norm ist bis heute gültig und wurde 1995 bzw. 2002 durch Änderungen noch ergänzt. Diese beiden Änderungen befinden sich als Anhänge in der Norm IS 13827.

Dieser Standard enthält Anforderungen für die Planung und Ausführung von Lehmbauten in Erdbebengebieten ohne Verwendung von jeglicher Art von Stabilisierungszusätzen, wie z.B. Zement oder Kalk. Nach dieser Norm können folgende Lehmbaukonstruktionen in Erdbebengebiete verwendet werden:

- handgeformte Lehmblöcke,
- Lehmstein,
- Stampflehm,
- Lehmfachwerk aus Holz, Bambus oder Schilfrohren.

Dabei definiert diese Norm für Konstruktionen in Erdbebengebieten folgende allgemeine Anforderungen für die Ausführung der Gebäude:

- konstruktiver Mindestabmessungen, Eckenausbildung sowie Angaben zu Querwänden,
- Angaben zu Gründungen und Ringbalken,
- Angaben, abhängig vom vorhandenen Klima (feucht/trocken), zum Witterungsschutz,
- Baulehmprüfung durch Handtests wie
 - Trockenfestigkeit,
 - Risskontrolltest
 - Festigkeitstest.
- Baulehmprüfung im Labor mittels Druckfestigkeit an Probewürfeln.

NBC 204

In Folge eines schweren Erdbebens, das sich 1988 in Nepal ereignete, erschien 1994 die erste Norm für ein erdbebensicheres Bauen mit Lehm (Tabelle 83). Diese wurde 2015 in die heute gültige Fassung als überarbeitete Version neu herausgegeben und ist in Nepal verpflichtend für die Ausführung sämtlicher Lehmbauten anzuwenden. Unter „*Earthen Buildings*“ (EB) versteht dieser Standard Lehmbauten (aus Lehmstein oder Stampflehm) aus nicht stabilisiertem Baulehm.

Dazu finden sich Anforderungen zu:

- Materialeigenschaften,
- Mindestwanddicke,
- konstruktive Lösung zur Verstärkung der Wand und Eckenausbildung,
- Anforderungen an den Bauplatz, Grund- und Aufrissformen des Gebäudes,
- Angaben zur Gründung bzgl. Dimensionierung und Ausführung bei Geländesprüngen,
- Darstellung zu Wandöffnungen, Anschlüssen von Wand zur Decke sowie

- vertikalen, horizontalen und diagonalen Verstärkungen im Gebäude.

Lehmbaunormen in Afrika

ARS 670 bis ARS 683

Der Begriff „*Compressed Earth Blocks (CEBs)*“ („gepresster Lehmstein“) wird nach dieser Normenreihe folgendermaßen definiert:

„Compressed earth blocks (CEBs) are masonry elements, which are small in size and which have regular and verified characteristics obtained by the static or dynamic compression of earth in a humid state followed by immediate demoulding.“⁴⁸

Diese Normenreihe liefert dabei folgende Angaben für die Herstellung von CEBs

- Terminologie von CEBs
- Kornverteilung sowie mögliche Additive und Zuschläge,
- Herstellungsprozess: Baulehmaufbereitung (Trocknung, Siebung, Pulverisierung), Mischvorgang der einzelnen Komponenten, das Pressen und Trocknung
- Kennzeichnungsvorgaben bei sechs unterschiedlichen Grundtypen,
- Typischen Abmessungen inklusive Toleranzen,
- Festlegungen zur geometrischen Charakteristik, dem Erscheinungsbild (z.B. Beschädigungen, Löcher, Rauheit, Risse und Absplitterungen) und den physikalisch-chemischen Eigenschaften.

Ferner liefert diese Normenreihe Angaben für die Herstellung des Mauerwerks aus CEBs (Tabelle 84 und Tabelle 85).

SADC ZW HS 983

Dieser Standard (Tabelle 86) behandelt ausschließlich Ausführungen aus Stampflehm mit folgenden Inhalten:

- Angaben für einen geeigneten Baulehm
- Mindestwerte für die Druckfestigkeit: in der Regel 1,5N/mm², bei Wänden mit einer Höhe zwischen drei und sechs Metern bei 2,0N/mm²,
- Angaben zu Gründungen, Schutz gegen Feuchtigkeit (u.a. Vorgaben für den Dachüberstand abhängig von der Gebäudehöhe), Wasserabsorption und Wandsdichte,
- Kontrolle der Ausführung durch Sichtprüfung auf mögliche Fugenrisse, Schrumpfrisse und Eckenausbrüche,
- Angaben zu Wandöffnungen, Stürze, unterschiedliche Verbindungsarten und Befestigungen,
- Oberflächenschutz von Außen- und Innenwänden

Zur Prüfung des Stampflehms liefert die Norm eine Reihe von Prüfmethoden, u.a. folgende:

- Nachweis der Bodenbeschaffenheit mittels Rolltest,
- Feuchtegehalt durch Falltest,
- Schalungsverformungstest,
- Druckfestigkeitstest,
- Dichtetest,
- Erosionstest: Drucksprühverfahren und „*Geelong Method*“ inkl. Skizzen
- Putzhaftungstest.

⁴⁸ ARS 671:1996, Abschnitt 2.1

4.2.3. Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehmbau

Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung erfolgte über die Auswertung der wesentlichen fachverwandten Baunormen auf dessen Anwendbarkeit für den Lehmbau und daraus resultierend eine Festlegung der erforderlichen Prüfanforderungen für den Baulehm, Lehmstein, Lehmmauermörtel und Lehmputz.

Anschließend wurde für unterschiedliche Baulehme mit dem zuvor festgelegten Prüfprogramm auf Basis der wesentlichen fachverwandten Baunormen in der Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik diese auf dessen Produkteigenschaften geprüft, ausgewertet und verglichen.

Ausgangsstoffe für den Lehmbaustoff

Allgemein besteht ein Lehmbaustoff aus Baulehm, dem falls notwendig mineralische oder organische Zusatzstoffe zugeführt werden.

Daher ist es zunächst wichtig zu klären, was unter dem Begriff „*Baulehm*“ zu verstehen ist. Dazu gibt es im deutschsprachigen Raum über DIN 18942-1 folgende Begriffsdefinition:

Unter „*Baulehm*“ versteht man einen „*zur Herstellung von Lehmbaustoffen geeigneten Lehm*“⁴⁹. Dabei ist „*Lehm*“ ein „*Verwitterungsprodukt natürlicher Gesteine, welches neben der für die Bindung wirksamen Tonfraktion schluffige und in der Regel auch sandige, kiesige bis steinige Bestandteile enthält*“⁵⁰.

In den Lehmbau-Regeln wird noch zum Verwitterungsprodukt festgehalten, dass dieses „*durch natürliche Prozesse verfrachtet wurde, Lehmvorkommen können regional und örtlich sehr verschiedenartig sein.*“⁵⁰ Daher werden auch noch folgende Lehmarten unterschieden: Berg- oder Gehängelehm, Geschiebelehme, Mergel (kalkhaltiger Geschiebelehm), Schwemmlehm und Löss-Lehm.

Aus geotechnischer Sicht ist Lehm allgemein ein Gemisch aus grob- und feinkörnigen Bodenbestandteilen.

Die Gewinnung des Baulehms kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Wird er direkt aus einer Lehmgrube gewonnen, dann wäre dieser ein Primärrohstoff und kann auch als „*Grubenlehm*“ bezeichnet werden. Aus rechtlicher Sicht würde dieser gezielte Abbau unter das Mineralrohstoffgesetz (MinroG)⁵¹ fallen (siehe 0).

Im Sinne einer optimalen Nutzung der Rohstoffe, gerade bei der immer knapper werdenden Ressource von Sand und Kies, ist neben der primären Entnahme bevorzugt die Verwendung von über Erdarbeiten anfallenden sekundäre Rohstoffen anzustreben. Der aus Bodenaushub gewonnen Sekundärrohstoff fällt in die Rechtsmaterie des Abfallrechts und ist gemäß Deponieverordnung entsprechend als Abfall zu behandeln und zu lagern. Bei Nutzung dieses Rohstoffes würde nicht nur die Verfügbarkeit von Primärrohstoffen entlastet werden, sondern auch das Deponievolumen reduziert werden (s. Kapitel Baulehmgewinnung zufolge Bodenaushub auf Seite 24).

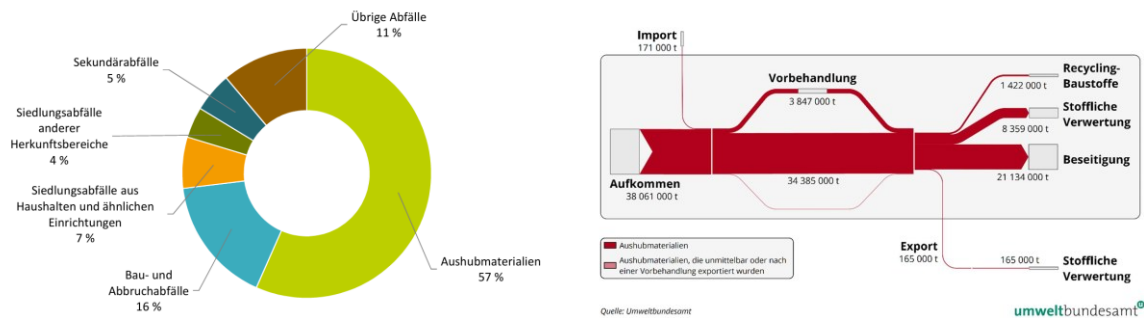
⁴⁹ (DIN 18942-1, 2024), Begriff 3.1.2, (DVL TM 05, 2011, S. 2) und (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009), Abschnitt 2.1

⁵⁰ (DIN 18942-1, 2024), Begriff 3.1.1, vgl. (DVL TM 05, 2011, S. 2) und vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009), Abschnitt 2.1

⁵¹ <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008040>

Die Abbildung 4 zeigt diesen Zusammenhang sehr gut auf. Vom anfallenden Bodenaushub im Jahr 2023 mit rund 38 Millionen Tonnen wurden mehr als die Hälfte beseitigt in Form von Deponierung. Das wäre Bodenmaterial, das eigentlich als Sekundärrohstoff für die Herstellung von Lehmbaustoffen zur Verfügung stehen könnte.

Abbildung 4: Linke Darstellung: Abfallaufkommen 2023, Zusammensetzung nach Abfallgruppen in %; rechte Darstellung: Stoffstrombild für Aushubmaterial 2023 in Tonnen



Des Weiteren kann Baulehm im Zuge des Kiesabbaus aus Kiesgruben gewonnen werden. Diese Gewinnung kann über zwei Produktionsschritte erfolgen:

- Um an den abzubauenen Kieshorizont zu gelangen, ist es zunächst notwendig die darüberliegende Deckschicht abzubauen. Dabei konnte festgestellt werden, dass gerade diese Deckschicht als Baulehm besonders nutzbar ist.
- Nach Abbau der Kiesschicht wird Kies durch industrielle Prozesse für die weitere bautechnische Verwendung aufbereitet. Beispielsweise ist es notwendig, das feinkörnige Bodenmaterial wie Ton und Schluff durch Kieswäsche dem abgebauten Kies zu entziehen. Für den Baulehm könnte dieser ausgewaschene Feinkornanteil weiterverwendet werden. Dies müsste aber noch näher untersucht werden, um sicher zu gehen, dass durch diesen industrielle Aufbereitungsprozess keine Kontaminierung des Tones erfolgt.

Neben den Abbautätigen aus Aushub und Kies kann Baulehm auch aus Abbrucharbeiten stammen. Dieser Baulehm wird dann als „*Recyclinglehm*“ bezeichnet. Bei dieser Art des Baulehms ist jedoch insbesondere auf mögliche Verunreinigungen im Lehm zu achten wie beispielsweise einer Vorbelastung durch Pilzsporen.

Alle diese genannten Prozesse fallen rechtlich unter das Abfallwirtschaftsgesetz und Deponieverordnung.

Produkteigenschaften von Baulehm

Zur Beurteilung von Baulehm gibt es im deutschsprachigen Raum derzeit nur zwei Empfehlungen, die in diesem Zusammenhang anwendbar wären:

- Technische Merkblatt TM05, *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaustoffe*
- Lehm bau-Regeln.

Das Technische Merkblatt TM05, herausgegeben vom deutschen Dachverband Lehm (DVL),⁵² beschreibt für die Prüfung des Baulehms zwei Stufen: zunächst eine Eignungsprüfung des Baulehms sowie anschließend nach erfolgreicher Eignungsprüfung im Zuge der laufende Baulehmgewinnung eine durchzuführende Qualitätsüberprüfung.

Die Eignungsprüfung nach TM05 ist für einen bislang noch nicht geprüften Lehm durchzuführen. Dabei verweist TM05 auf die in den Lehm-Bau-Regeln beschriebenen Untersuchungsmethoden. Diese Prüfungen sind einfache Handtests und Labormethoden⁵³. Grundsätzlich werden nach diesem Merkblatt folgende Eigenschaften von Baulehm untersucht:

- Bindekraft (Kohäsion),
- Plastizität,
- Korngrößenverteilung,
- Sonstige Bestandteile wie Verunreinigungen, Kalkgehalt, organische Anteil und bauschädliche Salze.⁵⁴

Wird im Zuge der Eignungsprüfung festgestellt, dass sich der untersuchte Boden für einen Baulehm eignet, wird für die Baulehmgewinnung eine fortlaufende Qualitätsüberprüfung nach TM05 vorgeschrieben. Dabei ist der Baulehm auf folgendes zu prüfen:

- plastische und bindende Eigenschaften mittels Bindekraft, Plastizität, lineares Schwindmaß und Druckfestigkeit,
- Korngrößenverteilung,
- organische Bestandteile,
- Gehalt an bauschädlichen Salzen (dies nur dann, wenn in der Abbaustätte ein Verdacht auf Salzgehalt vorliegt).⁵⁵

Für die Prüfung der plastischen und bindenden Eigenschaften ist zu beachten, dass abhängig von der Art des Baulehms, das richtige Verfahren ausgewählt wird. So sind bei sehr mageren Baulehmen die Versuche für die Bindekraft und die Plastizität nur bedingt geeignet, da diese kaum durchführbar sind und so zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen führen. Bei mindestens fast fetten Baulehm sind wiederum die Verfahren für das Lineare Schwindmaß und Druckfestigkeit nur bedingt geeignet.⁵⁵

Nach Analyse des Technischen Merkblattes TM05 und der Lehm-Bau Regeln konnte zur Prüfung eines Baulehmes folgende Produkteigenschaften als Wesentlich definiert werden:

- Zusammensetzung
 - Korngrößenverteilung,
 - Gehalt an organische Bestandteile,
 - natürlicher Kalkgehalt,
 - Gehalt an bauschädlichen Salzen,
 - pH-Wert,
 - Radioaktivität.
- Verhalten bei Wassereinwirkung
 - Lineares Trockenschwindmaß,

⁵² (DVL TM 05, 2011)

⁵³ (Volhard & Röhlen, Lehm-Bau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009), für einfache Handtests Abschnitt 2.4.3 und Laborprüfungen Abschnitt 2.4.4

⁵⁴ Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehm-Bau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 5-6) und (DVL TM 05, 2011, S. 3)

⁵⁵ Vgl. (DVL TM 05, 2011, S. 4)

- Plastische Eigenschaften,
- Wassergehalt.
- Festigkeiten
 - Bindekraft,
 - Biegezug- und Druckfestigkeit.

Im Folgenden werden nun für die einzelnen Produkteigenschaften folgende Grunddaten ermittelt:

- *“Grundlegendes”*: allgemeine Beschreibung der prinzipiellen Eigenschaften des Parameters.
- *“Prüfung”*: Beschreibung der relevanten Prüfnormen/-methoden für die jeweilige Eigenschaften
- *“Klassifikation”*: Auflistung der aus den Prüfmethodeen ermittelten Merkmale zur Klassifikation von Baulehm anhand bestehender Referenznormen.

Zusammensetzung

Korngrößenverteilung

Grundlegendes: Baulehm besteht aus Ton, Schluff, Sand und Kies. Abhängig von der Zusammensetzung dieser genannten Bestandteile, lässt sich der Baulehm unterschiedlich charakterisieren. „Fetter“ Lehm weist beispielsweise in der Regel einen hohen Tonanteil auf bzw. „magerer“ Lehm einen niedrigen Tonanteil.

Die Bodenkörner sind dabei über mechanische und/oder chemische Verwitterung aus den unterschiedlichen Festgesteinen wie magmatisches, metamorphes oder sedimentäres Gestein entstanden. Dabei können folgende Unterscheidungen vorgenommen werden:

Primäre Mineralien: diese sind durch mechanische Verwitterung von magmatischen Gesteinen entstanden, dazu gehören z.B. Feldspat, Quarz, Glimmer, Hornblende.

Sekundäre Mineralien: diese sind durch mechanische Verwitterung von metamorphen Gesteinen entstanden, wie z.B. Calcit und Dolomit (beide wasserunlöslich), Anhydrit (schwer wasserlöslich), Gips (wasserlöslich). Schluff besteht zumeist aus wasserunlöslichen sekundären Mineralien. Weiters gehören zu den sekundären Mineralien auch jene Minerale, die durch chemische Verwitterung der magmatischen und metamorphen Gesteine entstanden sind, z.B. Kaolinit, Montmorillonit, Illit.⁵⁶ Diese werden auch als Tonminerale bezeichnet.

Die Tabelle 7 zeigt für die jeweiligen Kornfraktionen die unterschiedliche Zusammensetzung zufolge der Mineralien. Die Tonfraktion besteht dabei in der Regel fast nur aus Sekundär Mineralien, die wiederum aus der geologischen Entstehungsgeschichte aus mechanischer oder chemischer Verwitterung entstanden sind, wobei zu beachten ist, dass nur Tonminerale für die bindende Wirkung im Lehm verantwortlich sind.

⁵⁶ (Boley, 2019, S. 15-16)

Tabelle 7: Korngrößengruppen und Mineralzusammensetzung⁵⁷

		Sand	Schluff	Ton	Korndichte
Primäre Mineralien	Mehrere Mineralien	----			2,65 – 2,90
	Quarz	-----	--		2,65
	Feldspat	-----	-----		2,55
	Glimmer	-----	--		2,80 – 2,90
Sekundäre Mineralien	Kaolin		--- -----		2,64
	Illit		--- -----		2,60 – 2,86
	Montmorillonit			-----	2,75 – 2,78
	Calcit		-----	---	2,72
	Dolomit		-----	---	2,85 – 2,95

Prüfung: Eine erste Einschätzung der Korngrößenverteilung erfolgt durch einfache Handtests gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1 oder den Lehmbau-Regeln. Diese Tests sind vor Ort auf der Baustelle oder aber auch im Labor anwendbar. Die nachfolgende Tabelle 8 enthält eine Auflistung möglicher Tests, wobei die ÖNORM EN ISO zur Bestimmung des Ton-/Schluffgehaltes drei zusätzliche Prüfungen anführt.⁵⁸

Tabelle 8: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort zur Bestimmung der Korngrößenverteilung

Prüfparameter	Bezeichnung: Lehmbau-Regeln	Bezeichnung: ÖNORM EN ISO 14688-1
Ton/Schluffgehalt	Schneideversuch 2.4.3.	Schneideversuch NC.6
Ton/Schluffgehalt	Trockenfestigkeitsversuch 2.4.3.	Trockenfestigkeit A.3.5
Korngrößenverteilung	Kugelfallprobe	
Ton/Schluffgehalt	Reibeversuch 2.4.3.	Griffigkeit A.3.6
Sichtprüfung	Bestimmung des Mineralgerüstes 2.4.3.	Beurteilung der Korngrößenverteilung in situ NC.2, A.2
Ton/Schluffgehalt		Dilatanz A.3.2
Ton/Schluffgehalt		Zähigkeit A.3.3
Ton/Schluffgehalt		Verhalten an der Luft und im Wasser A.3.7

Die Beschreibungen der einzelnen Handtests werden nun in den folgenden Tabellen nach den beiden Regelwerken gegenübergestellt und verglichen.

Tabelle 9 zeigt die detaillierte Beschreibung für den „Schneideversuch“. Dabei zeigt sich, dass der Versuch in beiden Normen gleich ist.

⁵⁷ Vgl. (Boley, 2019, S. 15, Tabelle 2.2)

⁵⁸ (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020)

Tabelle 9: Schneideversuch

Lehmbau-Regeln (2009, S. 7)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 8, NC.6)
Ziel	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil
Bezeichnung	Schneideversuch	Schneideversuch
Beschreibung	Eine erdfeuchte Probe wird mit einem Messer durchgeschnitten.	Eine erdfeuchte Probe wird mit einem Messer durchgeschnitten.
Ergebnis	Ist die Schnittfläche glänzend, so weist dies auf einen fetten Lehm oder Ton hin, eine stumpfe auf Schluff mit geringer Bindekraft	Ist die Schnittfläche glänzend, so weist dies auf einen fetten Lehm oder Ton hin, eine stumpfe auf Schluff oder tonig-sandigen Schluff mit geringer Plastizität.
Hinweis	–	Diese Beurteilung kann getroffen werden, wenn die Oberfläche der Probe mit dem Fingernagel eingeritzt oder geglättet werden kann

Die Tabelle 10 zeigt die detaillierte Beschreibung für die „*Trockenfestigkeit*“. Für diesen Versuch zeigt sich, dass unter der gleichen Versuchsbezeichnung in den beiden Normen zwei unterschiedlichen Prüfungen fallen. Wird in den Lehmbau-Regeln darunter der Widerstand beim Zerbröckeln einer getrockneten Probe verstanden, so ist es in der ÖNORM EN ISO 14688-1 das Fallenlassen einer getrockneten Kugel auf den Boden. Dieser Versuch wird zwar auch in den Lehmbau-Regeln beschrieben, dabei aber als „*Kugelfallprobe*“ bezeichnet, siehe Tabelle 11.

Tabelle 10: Trockenfestigkeit

Lehmbau-Regeln (2009, S. 7)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 28)
Ziel	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil
Bezeichnung	Trockenfestigkeitsversuch	Trockenfestigkeit
Beschreibung	Der Widerstand beim Zerbröckeln der getrockneten Probe gibt Aufschluss über Art und Menge des Feinkornanteils.	Aus dem Boden wird eine Kugel mit einem Durchmesser von 12 geformt und getrocknet. Die Festigkeit ist durch das Zerdrücken zwischen den Fingern zu prüfen
Ergebnis	Fetter Lehm: Probe kann durch Fingerdruck nicht zerstört werden. Baulehm: zerfällt erst nach erheblichen Fingerdruck in einzelne Bruchstücke	Ton: hoch oder sehr hohe Festigkeit Schluff: keine bis niedrige Festigkeit
Hinweis	–	Das Vorhandensein von hochfestem, wasserlöslichem Verkittungsmaterial wie Kalziumkarbonat (Überprüfung durch verdünnte Salzsäure) kann zu einer höheren Trockenfestigkeit führen.

Die Tabelle 11 zeigt die detaillierte Beschreibung zur „*Trockenfestigkeit*“ mit ähnlicher Definition und gleicher Aussage.

Tabelle 11: Kugelfallprobe/Trockenfestigkeit

Lehmbau-Regeln (2009, S. 7)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 28)
Ziel	Korngrößenverteilung	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil
Bezeichnung	Kugelfallprobe	Trockenfestigkeit
Beschreibung	Erdfeucht geformte Kugeln lässt man in <u>getrocknetem</u> Zustand aus 80 cm Höhe auf eine feste Unterlage fallen.	Aus dem Boden wird eine Kugel mit einem Durchmesser von 12mm geformt und <u>getrocknet</u> . Die Festigkeit ist durch das Zerdrücken zwischen den Fingern zu prüfen
Ergebnis	Eine Kugel aus fettem Lehm zerspringt nicht, aus magerem in wenige Teile, aus sehr magerem Lehm in viele Teile, die an der Aufschlagstelle sandig zerkrümeln.	Ton: hoch oder sehr hohe Festigkeit Schluff: keine bis niedrige Festigkeit

Die Tabelle 12 zeigt die Beschreibung für den „Reibeversuch“ nach den Lehmbau-Regeln bzw. „Griffigkeit“ nach ÖNORM EN ISO 14688-1. Trotz unterschiedlicher Versuchsbezeichnung ist die Beschreibung und das Ergebnis nahezu gleich.

Tabelle 12: Reibeversuch

Lehmbau-Regeln (2009, S. 7-8)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 28)
Ziel	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil
Bezeichnung	Reibeversuch	Griffigkeit
Beschreibung	Bodenprobe wird durch das Reiben zwischen den Fingern beurteilt	Mit den Fingerspitzen die Griffigkeit des feinkörnigen Bodens probieren.
Ergebnis	Toniger Lehm: fühlt sich seifig an und bleibt an den Fingern kleben, lässt sich auch im trockenen Zustand nicht ohne Abwaschen entfernen	Ton: fühlt sich glatt an. Beim Verschmieren mit dem Daumen sieht er glänzend aus. Schluff: fühlt sich seidig an organischer Anteil: fühlt sich eher seifig an
Hinweis	–	–

Die Tabelle 13 zeigt die detaillierte Beschreibung zur Bestimmung der Korngrößenverteilung vor Ort durch eine augenscheinliche Abschätzung des Mineralgerüsts. Auch für diesen Versuch zeigt sich, dass beide Normen annähernd ident sind.

Tabelle 13: In Situ Korngrößenverteilung

Lehmbau-Regeln (2009, S. 8)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 7, NC.2)
Ziel		Beurteilung der Korngrößenverteilung
Bezeichnung	Bestimmung des Mineralgerüsts	Beurteilung der Korngrößenverteilung in situ
Beschreibung	Unterscheidung von Baulehm in: Grobsandig (über 0,2mm bis 2mm)	Sandkornbereich: Sichtbarkeitsgrenze bis zur Streichholzkopfgröße

Lehmbau-Regeln (2009, S. 8)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 7, NC.2)
Feinsandig (0,2mm bis eben noch fühlbar) Schluffig (nicht mehr fühlbar) 0,2mm = Größe von Grieskorn Gemischtkörnige Lehme werden in der Reihenfolge der Anteile benannt. Beispiel: schluffiger bis feinsandiger Lehm.		Kieskornbereich: Streichholzkopfgröße bis Hühnereigröße
Ergebnis	Abschätzung der Anteile z.B.: schluffiger bis feinsandiger Lehm	Bestimmung der Anteile z.B.: mittelsandiger TON
Hinweis	–	–

Die Tabelle 14 bis Tabelle 16 sind jene Verfahren, die nur in der ÖNORM EN ISO 14688-1 beschrieben sind und zur besseren Einschätzung von Ton/Schluff Anteil dienen.

Tabelle 14: Dilatanz

Lehmbau-Regeln (2009)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 27, 29)
Ziel	–	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil
Bezeichnung	–	Dilatanz
Beschreibung	–	Die Kugel ist zu kneten, bis sie eine weiche, aber nicht klebrige Konsistenz erreicht bei ev. Wasserzugabe. Die Kugel ist in der Handfläche mithilfe des Daumens/Spachtel/Messerklinge in eine flache Form zu glätten. Die Hand wird horizontal geschüttelt und dabei mehrmals kräftig gegen die andere Hand geschlagen. Die Geschwindigkeit, mit der Wasser während des Schüttelns auftritt und während des Quetschens wieder verschwindet ist aufzuzeichnen: keine, schnell oder langsam.
Ergebnis	–	Keine: Ton Langsam bis schnell: Schluff
Hinweis	–	

Tabelle 15: Zähigkeit

Lehmbau-Regeln (2009)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 27-29)
Ziel	–	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil
Bezeichnung	–	Zähigkeit
Beschreibung	–	Die Probe ist in eine längliche Form zu bringen und mit der Hand auf einer glatten Oberfläche zu einer Walze von 3 mm Dicke zu rollen. Ist die Probe zu feucht, um leicht ausgerollt zu werden, sollte die Probe für eine entsprechende Zeit trocknen gelassen werden.

Lehmbau-Regeln (2009)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 27-29)
		Die Probenwalzen sind zu falten und wiederholt zu rollen, bis sie bei einer Dicke von etwa 3 mm bröckeln (= nahe der Ausrollgrenze). Der erforderliche Druck zum Rollen der Walzen und die Zugfestigkeit der <u>Walze</u> sind zu dokumentieren. Nachdem die Walze zerbröckelt ist, sind die Teile mit der Hand zu einem <u>Klumpen</u> zu formen und zu kneten, bis auch dieser Klumpen bröckelt. Die Zähigkeit des Materials während des Knetvorgangs ist aufzuzeichnen. Für die Beschreibung der Zähigkeit (Walze und Klumpen) sind folgende Begriffe zu verwenden: niedrig, mittel oder hoch.
Ergebnis	–	<u>Zähigkeit</u> Hoch: Ton Niedrige Zähigkeit oder Walze nicht formbar: Schluff
Hinweis	–	

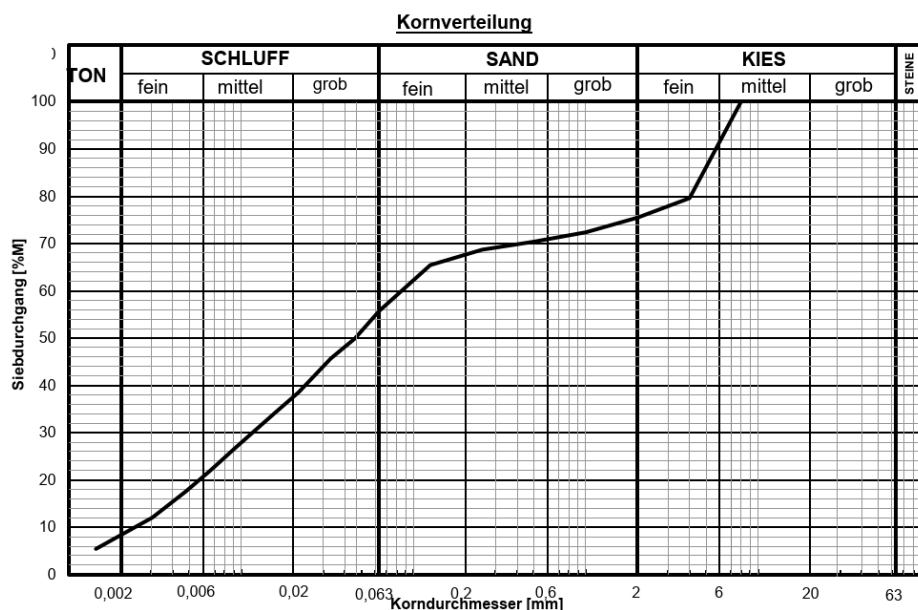
Tabelle 16: Verhalten an der Luft und im Wasser

Lehmbau-Regeln (2009)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 28-29)
Ziel	–	Einschätzung Ton/Schluff-Anteil
Bezeichnung	–	Verhalten an der Luft und im Wasser
Beschreibung	–	Aus dem Boden ist eine Kugel zu formen und in einem Eimer/Wanne mit sauberem Wasser zu platzieren. Schluff löst sich innerhalb weniger Minuten auf, wohingegen Ton für einen deutlich längeren Zeitraum unverändert bleibt. Feuchter Boden ist auf einer glatten Oberfläche (z. B. Glas oder Kunststoff) zu verschmieren. Schluff trocknet schneller als Ton. Im getrockneten Zustand kann Schluff leicht abgeburstet werden und neigt zur Staubbildung, wohingegen Ton beim Abbürsten dazu neigt, zu verkleben und Flocken zu bilden. Ein ähnliches Verfahren kann durch Verschmieren des Bodens auf dem Handrücken durchgeführt werden. Der Vorteil liegt dabei in der schnelleren Trocknung des Bodens.
Ergebnis	–	<u>Verhalten im Wasser:</u> Zerfällt langsam und schrumpft: Ton Zerfällt schnell im Wasser: Schluff <u>Verhalten an der Luft:</u> trocknet langsam und schrumpft: Ton trocknet schnell, lässt sich abbürsten: Schluff
Hinweis	–	

Die Auswertung der Handtests für die Korngrößenverteilung liefert stets eine Beurteilung, ob der Boden überwiegend schluffig oder tonig ist. Ergänzt wird dies durch das augenscheinliche Beschreiben der Korngrößen durch die „*Beurteilung der Korngrößen in Situ*“.

Die Ermittlung der Korngrößenverteilung⁵⁹ im Labor wird nach ÖNORM EN ISO 17892-4 durchgeführt. Dafür wird zunächst das grobkörnige Material vom feinkörnigen Material getrennt. Danach wird das grobkörnige Material durch Siebung und das feinkörnige Material mittels Aräometerverfahren auf dessen Zusammensetzung untersucht. Als Ergebnis erhält man für die einzelnen Kornfraktionen den jeweiligen prozentuellen Masseanteil bezogen auf die Gesamtmasse der untersuchten Bodenprobe. Die detaillierte Durchführung der beiden Verfahren ist der ÖNORM EN ISO 17892-4 zu entnehmen. Als Beispiel, wie so eine gewonnene Korngrößenverteilung aussieht, ist in der Abbildung 5 für den Baulehm BL16 dargestellt.

Abbildung 5: Korngrößenverteil BL 16



Alternativ kann die ÖNORM EN 933-9 zur Beurteilung von Feinanteilen herangezogen werden.

ÖNORM EN 933-9, *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 9: Beurteilung von Feinanteilen — Methylenblau-Verfahren*

Die Methylenbau-Methode ist ein vereinfachtes Verfahren, um den Boden auf quellfähige Tonmineralien zu untersuchen. ÖNORM EN 933-9 ist dabei geeignet für die Kornklasse 0/2mm.

Klassifikation: Auf Grundlage der Hand- und Laborprüfung wird zur Klassifikation die ÖNORM EN ISO 14688-2 verwendet.⁶⁰

Zufolge der Handtests kann der untersuchte Baulehm als Schluff oder Ton bezeichnet werden.

⁵⁹ Nach (DVL TM 05, 2011) wird empfohlen für die Korngrößenverteilung eine Nasssiebung für das grobkörnige Material durchzuführen. Die Bestimmung des Feinkorns ist dabei nicht zwingend erforderlich.

⁶⁰ An dieser Stelle sei auch auf die Normen aus dem Bereich Charakterisierung von Böden für land- und forstwirtschaftliche Nutzung hingewiesen. Hierbei erfolgt die Ermittlung der Korngrößenverteilung über die beiden Prüfnorm ÖNORM L 1061. Interessant ist dabei die Klassifikationsnorm ÖNORM L 1050, die im Anhang, das in diesem Zusammenhang oft genannte Bodentexturdreieck enthält aus Ton, Schluff und Sand. Dieses Dreieck liegt auch der Beschreibung der Bodenart in der österreichischen Bodenkartierung (www.bodenkarte.at) zu Grunde.

Aus der durch den Laborversuch ermittelten Korngrößenverteilung kann der Baulehm noch detaillierter beschrieben werden.

Baulehme sind in der Regel immer Gemische aus den unterschiedlichen Bodengruppen. Die Tabelle 17 zeigt den Korngrößenbereich und die Bezeichnung für die unterschiedlichen Bodengruppen.

Tabelle 17: Relevante Korngrößenfraktionen für den Baulehm⁶¹

Bodengruppe	Korngrößenfraktionen (Symbol)	Korngrößenbereich [mm]
Grobkörniger Boden	Kies (Gr), kiesig (gr)	> 2,0 und ≤ 63
	Grobkies (cGr), grobkiesig (cgr)	> 20 und ≤ 63
	Mittelkies (mGr), mittelkiesig (mgr)	> 6,3 und ≤ 20
	Feinkies (fGr), feinkiesig (fgr)	> 2,0 und ≤ 6,3
	Sand (Sa), sandig (sa)	> 0,063 und ≤ 2,0
	Grobsand (cSa), grobsandig (csa)	> 0,63 und ≤ 2,0
	Mittelsand (mSa), mittelsandig (msa)	> 0,2 und ≤ 0,63
	Feinsand (fSa), feinsandig (fsa)	> 0,063 und ≤ 0,2
Feinkörniger Boden	Schluff (Si), schluffig (si)	> 0,002 und ≤ 0,063
	Grobschluff (cSi), grobschluffig (csi)	> 0,02 und ≤ 0,063
	Mittelschluff (mSi), mittelschluffig (msi)	> 0,0063 und ≤ 0,02
	Feinschluff (fSi), feinschluffig (fsi)	> 0,002 und ≤ 0,0063
	Ton (Cl), tonig (cl)	≤ 0,002

Zufolge der genannten Tabelle kann der Baulehm wie folgt eingeteilt werden:

- „*grobkörniger*“ Baulehm: Gemische, deren Feinkornanteil weniger als 5% der Masse beträgt.
- „*feinkörniger*“ Baulehm: Gemische, deren Feinkornanteil mehr als 35% der Masse beträgt.
- „*gemischt-körniger*“ Baulehm: Gemische, deren Feinkornanteil 5% bis 35% der Masse beträgt.

Weiters kann über die erhaltenen Massenanteile für die einzelnen Korngrößenfraktionen der Boden gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1 zwischen Haupt- und Nebenanteile unterschieden werden, wobei die Hauptanteile mit einem Substantiv und die Nebenanteile mit einem Adjektiv benannt werden. Bei einem Nebenanteil, der bei 5% bis 15% Masseanteil liegt, wird der Nebenanteil zusätzlich mit dem Wort „*schwach*“ ergänzt. Sind Korngrößenbereich mit etwa gleichen Massenanteile über 30% vorhanden, so sind beide als Hauptanteile zu bezeichnen und diese mit einem Schrägstrich zu verbinden.

Für den Baulehm BL16 (siehe Abbildung 5) kann daher folgende nähere Bezeichnung vorgenommen werden:

- „*feinkörniger Boden*“, da der Feinkornanteil größer als 35% ist.
- Bezeichnung: „*schwach toniger, kiesiger, sandiger Schluff*“ mit der Abkürzung „cl' gr sa Si“, da dieser Baulehm folgende Anteile für die Korngrößenfraktionen aufweist: Ton 8,4%; Schluff 47,3%, Sand 19,8% und Kies 24,5%.

⁶¹ Vgl. (ÖNORM EN 16907-2, 2019), Tabelle A.1

Als weitere Auswertung lassen sich aus der Korngrößenverteilung die Ungleichförmigkeitszahl C_U und Krümmungszahl C_C ermitteln, und zwar mit folgenden Formeln:

$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} \cdot D_{60})} \text{ und } C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Mit diesen beiden Parametern kann gemäß Tabelle 18 die Form der Korngrößenverteilung näher beschrieben werden.

Tabelle 18: Form der Korngrößenverteilung⁶²

Bezeichnung	C_U	C_C
gleichmäßig ⁶³ gestuft	< 3	< 1
eng gestuft	3 bis 6	< 1
mäßig gestuft	6 bis 15	< 1
weit gestuft	> 15	1 bis 3
intermittierend gestuft	> 15	< 0,5

Generell gilt, dass die beste Bodenverdichtung bei einer „weit gestuften“ bis „intermittierenden gestuften“ Korngrößenverteilung erreicht werden kann. Bei solchen Mischungen lässt sich so eine höhere Druckfestigkeit erzielen, ohne die kohäsive Wirkung des Tones mit einzubeziehen.⁶⁴

Für den Baulehm BL16 ergibt sich beispielsweise eine Krümmungszahl $C_C = \frac{(0,012)^2}{(0,002 \cdot 0,085)} = 0,85$ und eine Ungleichförmigkeitszahl $C_U = \frac{0,085}{0,002} = 42,5$. Daraus kann nach Tabelle 18 folgende Bezeichnung getroffen werden: „weit gestuft“ bzw. fast „intermittierend gestuft“. Diese typische Ausbildung einer Stufe in der Korngrößenverteilung lässt sich sehr gut in der Abbildung 5 im Sandbereich erkennen.

Nachfolgende Tabelle 19 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zur Korngrößenverteilung.

Tabelle 19: Vorschlag zur Klassifikation von „Korngrößenverteilung“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Korngrößenverteilung	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Ton/Schluff/KGV in situ
	ÖNORM EN ISO 17892-4	(L)	Gr, Sa, Si, Cl in % fein, grob-, gemischtkörnig Form der KGV über C_U , C_C

Organische Bestandteile

Grundlegendes: Baulehm sollte frei von Humus sowie pflanzlichen Bestandteilen sein. Das bedeutet, dass dieser nicht aus dem A-Horizont nach ÖNORM L 1050 entnommen werden darf, sondern den

⁶² Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-2:2018, Tabelle 2

⁶³ Im Vorwort der ÖNORM EN ISO wird nicht „gleichmäßig“, sondern „sehr eng“ verwendet, was auch der Analogie zur Geradengleichung besser entspricht.

⁶⁴ Durch die Fuller-Kurve könnte eine optimal abgestufte Korngrößenverteilung eingestellt werden.

darunter liegenden Horizonten (i.R. B-Horizont). Als Richtwert kann dabei angenommen werden, dass dies ab einer Tiefe von mehr als 40 cm erfüllt ist.⁶⁵

Prüfung: Die Prüfung, ob der Baulehm organische Bestandteile enthält, erfolgt quantitativ im Labor gemäß ÖNORM EN 17685-1 oder in Form einfacher Handtests über den Geruchs- und Farbtest gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1⁶⁶, siehe Tabelle 20.

Tabelle 20: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort zur Bestimmung des organischen Anteils⁶⁷

Prüfparameter	Bezeichnung: Lehm bau-Regeln		Bezeichnung: ÖNORM EN ISO 14688-1	
Organischer Anteil	Riechversuch	2.4.3.	Geruchtest	NC.7
Organischer Anteil	Farbbestimmung	2.4.3.	Organischer Anteil	6.1.8.

Die Tabelle 21 zeigt dabei die Gegenüberstellung für den „Riechversuch“ bzw. „Geruchtest“.

Tabelle 21: Riechversuch⁶⁸

Lehm bau-Regeln (2009, S. 8)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 20-21)
Ziel	Überprüfung organische Bestandteile	Überprüfung organische Bestandteile
Bezeichnung	Riechversuch	Geruchtest
Beschreibung	Feststellung des Geruches einer Bodenprobe	Der Geruch eines Bodens gibt einen Hinweis auf die anorganische oder organische Art eines Bodens und bei einem erdfeuchten Boden bestimmt.
Ergebnis	Geruch der feuchten Probe nach Humus gibt einen Hinweis auf organische Bestandteile. Durch Erhitzen der feuchten Probe kann dies besonders kenntlich gemacht werden. Ein solcher Lehm ist als Baulehm unbrauchbar.	Organischer Boden: moderiger Geruch (kann durch Erhitzen verstärkt werden) verwesende, faulige organische Bestandteile im Boden: Geruch von Schwefelwasserstoff trockene anorganische Tone: beim Anfeuchten erdiger Geruch
Hinweis	–	Durch Übergießen der Probe mit verdünnter Salzsäure kann der mögliche Geruch von Schwefelwasserstoff verstärkt werden.

⁶⁵ Organische Anteile reduzieren die Trockendruckfestigkeit, da diese die Wasseraufnahmefähigkeit vergrößern und so die Plastizität beeinflussen, vgl. (Schröder, 2019, S. 125)

⁶⁶ (DVL TM 05, 2011): Riechen und Sichtung an der erdfeuchten Probe, die ggf. erwärmt werden kann. Sehr geringe Humusanteile kann man über das mehrtägige Sumpfen der Probe in einem geschlossenen Behälter über die Riechprobe identifizieren.

⁶⁷ (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020)

⁶⁸ Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden die erweiterten Vorgaben wie Erhitzen der feuchten Probe nach den Lehm bau-Regeln bzw. Verwendung der verdünnten Schwefelsäure gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1, um den Geruch zu verstärken, nicht vorgenommen.

Die Tabelle 22 zeigt eine Gegenüberstellung zum Handtest „Farbbestimmung“ zu den beiden Normen, um den organischen Gehalt augenscheinlich festzustellen.

Tabelle 22: Farbbestimmung

Lehmbau-Regeln (2009, S. 7)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 15, 19-20)
Ziel	Hinweis auf chemische/organische Zusammensetzung	Hinweis auf chemische/organische Zusammensetzung
Bezeichnung	Bestimmung der Farbe	Farbtest
Beschreibung	Die Farbe des Lehmes weist auf seine chemische Zusammensetzung hin. Es wird die Farbe des erdfeuchten Lehms bezeichnet. Lehmfarben reichen von grau, gelbbraun, lehm Braun, rotbraun bis rot.	Feststellung der Farbe des Bodens
Ergebnis	Dunkle Färbung kann auf Humusanteile hindeuten, ansonsten ist die Lehmfarbe für die Verwendbarkeit ohne Bedeutung	Grau: leicht organisch Dunkelgrau: organisch Schwarz: stark organisch
Hinweis	–	–

Im Labor erfolgt die Prüfung zur Feststellung der organischen Bestandteile im Baulehm gemäß ÖNORM EN 17685-1. Dabei wird eine getrocknete Prüfmenge in einem Muffelofen bei 550°C bis zur Massenkonstanz geglüht. Der Glühverlust wird dann aus der Differenz der beiden Massen vor und nach dem Glühvorgang bestimmt und daraus der organische Anteil berechnet.

An dieser Stelle sei noch auf die breite Farbpalette, die ein Baulehm aufweisen kann, hingewiesen. Allgemein deutet die Farbe des Baulehms auch auf die chemische Zusammensetzung des Feinkornanteils hin, wobei die Farbgebung im Zuge der Trocknung von dunkel auf hell umschlagen kann. Somit ist die Farbe nicht nur ein Hinweisgeber für den organischen Anteil, sondern auch Indiz bestimmter chemischer Verbindungen.

Betrachtet man zunächst nur die Tonmineralien, so reicht dessen Farbpalette tatsächlich von weiß über grau bis schwarz.⁶⁹ Gleiches gilt ebenfalls für den Baulehm. Auch dieser kann eine Farbtönung von Schwarz, Grau, beige, Ocker, gelb, braun, rot bis weiß aufweisen, die dann folgende Hinweise liefern:

- Hell – Weiß: Baulehm, der Ca- und Mg- haltig ist
- Dunkelbraun: Baulehm, der Mn-haltig ist
- Grün: Baulehm, der Cl-haltig ist
- Rötlich, gelb bis braun: Baulehm, der Fe-haltig ist
- Grau bis schwarz: Baulehm mit einem erhöhten organischen Bestandteil⁷⁰
- Violett: Hanglehm als Verwitterungsprodukt von Flysch.

Klassifikation: Eine Klassifizierung von Böden auf dessen organischen Anteil mit einer Korngröße kleiner 2mm ist nach ÖNORM EN ISO 14688-2 gemäß Tabelle 23 möglich.

⁶⁹ (Schröder, 2019, S. 75)

⁷⁰ Vgl. (Schröder, 2019, S. 85) und (Minke, 2009, S. 58)

Tabelle 23: Klassifizierung von organischen Bestandteilen in Böden mit einer Korngröße $\leq 2\text{mm}$ ⁷¹

Bezeichnung	Organischer Anteil der Trockenmasse [%]
schwach organisch	2 bis 6
mäßig organisch	6 bis 20
stark organisch	> 20

Diese Bezeichnungen decken sich gut mit der von (Schröder, 2019) vorgenommenen Klassifizierung, wie die Tabelle 24 zeigt.

Tabelle 24: Klassifizierung von Böden mit organischer Beimengung⁷²

Bezeichnung	Glühverlust [%]
Anorganische Böden	< 5
Organogene Böden bzw. Böden mit organischen Beimengungen	5 bis 30
Organische Böden (z.B. Torf)	> 30

Nachfolgende Tabelle 25 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft für organische Bestandteile.

Tabelle 25: Vorschlag zur Klassifikation von „Organische Bestandteile“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Organische Bestandteile	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Organisch: deklarierte Wert Farbe: deklarierte Wert
	ÖNORM EN 17685-1	(L)	organischer Anteil in %

Natürlicher Kalkgehalt

Grundlegendes: Prüfungen bzw. Forschungsergebnisse über die Auswirkungen des natürlichen Kalkgehaltes auf die Eigenschaften von Lehmstoffen sind bislang kaum vorhanden oder liefern teilweise unterschiedliche Aussagen. So bewirkt dieser nach den Lehmregeln eine Verringerung der Bindekraft des Baulehms, jedoch hält (Röhlen & Ziegert, 2020) fest, dass dieser auch zu einer Festigkeitssteigerung führen kann. Hier fehlen noch verlässliche Daten, die über einen längeren Betrachtungszeitraum mehrerer Jahre validiert wurden.⁷³

Ferner hat der Kalkgehalt auch eine Auswirkung auf die Bodenreaktion. So weist ein kalkfreier Boden ein saures Milieu auf, also einen pH-Wert unter 5,5 hat.⁷⁴

⁷¹ Vgl. (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019) Tabelle 3

⁷² Vgl. (Schröder, 2019, S. 125)

⁷³ (Minke, 2009, S. 38): „Kalkhaltige Lehme sehen in der Regel weisslich aus, haben eine geringe Bindekraft und sind deshalb ungeeignet für den Lehm- und Zieglerbau.“ In (Röhlen & Ziegert, 2020, S. 25) wird jedoch zum natürlichen Kalkgehalt folgendes festgehalten: „Wird ein Lehmstoff, der feinste und gleichmäßig verteilte Kalksteinpartikel enthält, längere Zeit feucht gelagert, werden diese Partikel an der Oberfläche angelöst. Trocknet der Lehmstoff, bilden sich zusätzlich zur Tonbindung zur Festigkeit des Baustoffs beitragende Kalkstein- und Calcitmineralstrukturen aus.“

⁷⁴ URL: <https://geo.bfw.ac.at/bodenseminar/kalk.html> [Zugriff am 24.10.2025]

Prüfung: Die Bestimmung bzw. Klassifizierung des natürlichen Kalkgehaltes eines Baulehms erfolgt durch den Salzsäuretest gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1 oder Lehmbau-Regeln (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort zur Bestimmung des natürlichen Kalkgehalts

Prüfparameter	Bezeichnung: Lehmbau-Regeln	Bezeichnung: ÖNORM EN ISO 14688-1
Salzsäure	Bestimmung des Kalkgehalts 2.4.3.	Kalkgehalt 6.1.9.

Tabelle 27 zeigt die Gegenüberstellung zu den Lehmbau-Regeln und der ÖNORM EN ISO 14688-1.

Tabelle 27: Kalkgehalt

Lehmbau-Regeln (2009, S. 8-9)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 21)
Ziel	Bestimmung des Kalkgehalts	Bestimmung des natürlichen Kalkgehalts
Bezeichnung	Bestimmung des Kalkgehalts	Kalkgehalt
Beschreibung	Auftropfen von verdünnter Salzsäure (Wasser zu Salzsäure 3:1) auf die Probe	Der Kalkgehalt wird durch Betropfen der Bodenprobe mit verdünnter Salzsäure (HCl) (10 % bestimmt.
Ergebnis	schwaches oder starkes, andauerndes Aufbrausen	kein Aufbrausen: nicht kalkhaltig schwaches oder sporadisches Aufbrausen: leicht kalkhaltig deutliches, aber nicht anhaltendes Aufbrausen: kalkhaltig starkes und langandauerndes Aufbrausen: sehr kalkhaltig
Hinweis	Ein natürlicher Kalkgehalt setzt die Bindekraft des Baulehms herab.	bei nassen und feuchten tonigen Böden tritt das Aufbrausen gewöhnlich verzögert ein.

Eine Alternative zum Salzsäuretest stellt die Prüfnorm DIN 18129 dar, die eine quantitative Beurteilung des Kalkgehaltes im Labor erlaubt.⁷⁵

Klassifikation: Eine qualitative bzw. quantitative Klassifizierung des natürlichen Kalkgehaltes im Baulehm kann nach Tabelle 28 vorgenommen werden.

Tabelle 28: Klassifizierung des natürlichen Kalkgehalts⁷⁶

Bezeichnung	Kalkgehalt (CaCO ₃)	Prüfergebnis mit 10%iger Salzsäure
nicht kalkhaltig	< 1	Die Zugabe von HCl führt nicht zu einem Aufbrausen
leicht kalkhaltig	1 bis 5	Die Zugabe von HCl führt zu einem schwachen oder sporadischen Aufbrausen.

⁷⁵ (DIN 18129, 2011) Anwendungsbereich: „Diese Norm gilt für die quantitative Bestimmung des Kalkgehaltes im Labor bei fein- und gemischtkörnigen Böden. Der Versuch wird im Erd- und Grundbau angewendet.“

⁷⁶ Vgl. (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019) Tabelle 4 und ÖNORM EN ISO 14688-1:2018, Tabelle 7

Bezeichnung	Kalkgehalt (CaCO ₃)	Prüfergebnis mit 10%iger Salzsäure
kalkhaltig	5 bis 25	Die Zugabe von HCl führt zu einem deutlichen, aber nicht anhaltenden Aufbrausen.
sehr kalkhaltig	25 bis 50	Die Zugabe von HCl führt zu einem starken und langandauernden Aufbrausen.
Sehr stark kalkhaltig	> 50	

Nachfolgende Tabelle 29 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft für den natürlichen Kalkgehalt.

Tabelle 29: Vorschlag zur Klassifikation von „Natürlicher Kalkgehalt“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Natürlicher Kalkgehalt	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Kalkgehalt ja/nein Aufbrausen
	DIN 18129, ÖNORM EN ISO 14688-1	(L)	Natürlicher Kalkgehalt in %

Gehalt an bauschädlichen Salzen

Grundlegendes: Durch die Auskristallisierung von Salzen wie beispielsweise Chlorid können Schäden an der Bauteiloberfläche entstehen in Form von Auflockerungen oder Aufbrüchen. Um dies zu vermeiden, werden für diese bauschädliche Salze Grenzwerte angegeben. Wobei neben der Betrachtung der Einzelwerte auch der Summengehalt sämtlicher Salze zu berücksichtigen ist.

Prüfung: Die Bestimmung auf bauschädliche Salze ist mit geeigneten Verfahren wie z. B. das Spektralphotometrie oder Ionenchromatographie durchzuführen. Analog dazu kann die ÖNORM EN 1744-1 für Chlorid und Sulfat herangezogen werden.⁷⁷

Klassifikation: Nach den DIN-Lehmbaunormen gelten folgende Grenzwerte:

- Nitrate $\leq 0,02$ % Massenanteil;
- Sulfate $\leq 0,10$ % Massenanteil;
- Chloride $\leq 0,08$ % Massenanteil.
- Gesamtgehalt $\leq 0,12$ % Massenanteil

Eine Bewertung könnte aber auch nach ÖNORM B 3355 erfolgen. Diese legt folgende Grenzwert für Bauteile fest, bei denen keine Maßnahme im Sinne dieser Norm, notwendig sind:

- Nitrate $\leq 0,05$ % Massenanteil;
- Sulfate $\leq 0,10$ % Massenanteil;
- Chloride $\leq 0,03$ % Massenanteil.

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Grenzwert für Chloride. Denn nach dieser Norm wäre dieser aus den DIN-Normen mit 0,08% in die Stufe 2 einzuordnen, womit nach ÖNORM eine Maßnahme im Einzelfall zu prüfen ist.

Überprüft man die weltweit gültigen Lehmbaunormen auf Anforderung zum Salzgehalt, kann man feststellen, dass hier teilweise die Grenzwerte um ein Vielfaches höher angesetzt werden als die

⁷⁷ Wirkung der Salze siehe (Schröder, 2019, S. 123, 466)

oben beschriebenen Werte. So definiert der indische Standard IS 2110 einen Summenwert für den Gesamtsalzgehalt von 1% und für „Sodium salt“ einen Wert von 0,1%. Und das Regelwerk aus New Mexico NMAC 14.7.4 legt den Grenzwert für den Gesamtsalzgehalt mit 2% fest.⁷⁸

Der neuseeländische Standard NZS 4298 löst wiederum diese Problematik in dem die Anforderung zu den Grenzwerten allgemein beschrieben wird, ohne einen Zahlenwert festzulegen. So darf nach NZS der Gehalt an wasserlöslichen Salzen weder die Festigkeit noch die Gebrauchsanforderung des Bauwerkes negativ beeinflussen.⁷⁹

Nachfolgende Tabelle 30 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zu den bauschädlichen Salzen.

Tabelle 30: Vorschlag zur Klassifikation von „Bauschädliche Salze“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Bauschädliche Salze	Vgl. ÖNORM EN 1744-1 Vgl. ÖNORM B 3355	(L)	Nitrate in %
			Sulfate in %
			Chloride in %
			Gesamtgehalt in %

pH-Wert

Grundlegendes: Der pH-Wert im Baulehm ist in Bezug auf eine mögliche Schimmelpilzbildung von Relevanz. So benötigen die meisten Schimmelpilze ein saures Milieu mit einem pH-Wert zwischen 4,5 und 6,5.

Prüfung: Die Bestimmung des pH-Wertes von Baulehm kann nach elektrometrischem Verfahren nach ÖNORM EN 1997-2 erfolgen oder nach ÖNORM EN ISO 10390. Ein einfacher Handtest kann durch die Verwendung von Lackmus-Indikator-Streifen durchgeführt werden.⁸⁰

Klassifikation: Eine Klassifizierung kann gemäß Tabelle 31 vorgenommen werden.

Tabelle 31: Klassifizierung pH-Wert

Bezeichnung	pH-Wert
sauer	weniger als 7
neutral	7
alkalisch	mehr als 7

Nachfolgende Tabelle 32 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zum pH-Wert.

⁷⁸ (NMAC 14.7.4, 2015), Abschnitt 9 (D)

⁷⁹ (NZS 4298, 2020, S. 18)

⁸⁰ Vgl. (Minke, 2009, S. 67) und (ÖNORM EN ISO 10390, 2022), Anwendungsbereich: „Dieses Dokument legt ein instrumentelles Verfahren zur routinemäßigen Bestimmung des pH-Werts innerhalb des Bereichs pH = 2 bis pH = 12 fest, bei dem eine Glaselektrode in einer Suspension von Boden, Schlamm und behandeltem Bioabfall in entweder Wasser (pH-Wert in H₂O), in einer 1-mol/l-Kaliumchloridlösung (pH-Wert in KCl) oder in einer 0,01-mol/l-Calciumchloridlösung (pH-Wert in CaCl₂), jeweils im Volumenverhältnis 1 : 5, verwendet wird.“

Tabelle 32: Vorschlag zur Klassifikation von „pH-Wert“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
pH-Wert	ÖNORM EN ISO 10390	(L)	deklarierte Wert

Radioaktivität

Grundlegendes: Fast alle Baustoffe, die heute verwendet werden, weisen eine natürliche Strahlenbelastung in Gebäuden auf. Aus der Literatur kann zwar entnommen werden, dass in Gebieten mit magmatischen Gesteinen wie Granit und den daraus entstandenen Verwitterungsprodukten höhere Radonwerte vorliegen. Dennoch halten (Schröder, 2019) oder (Minke, 2009) in diesem Zusammenhang auch für diese Regionen fest, dass Lehmbaustoffe als unbedenklich eingestuft werden können.⁸¹

Prüfung: Zur Ermittlung der Radioaktivität von Boden kann die ÖNORM EN ISO 18589-3 herangezogen werden. Ferner finden sich in den Anhängen der DIN-Lehmbaunormen, wie auf Basis der durch die zuvor genannten ÖNORM EN ISO ermittelten Leitnukliden wie Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 ein Aktivitätskonzentrationsindex ermittelt werden kann.

Klassifikation: Für Lehmbaustoffe wird dabei ein Aktivitätskonzentrationsindex kleiner 1 empfohlen.

Nachfolgende Tabelle 33 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zur Radioaktivität.

Tabelle 33: Vorschlag zur Klassifikation von „Radioaktivität“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Radioaktivität	ÖNORM EN ISO 18589-3		deklarierte Wert

Weitere bodenphysikalische Prüfverfahren

Weitere bodenphysikalische Prüfverfahren zur vertieften Beurteilung eines Baulehms wären:

- Korndichte nach ÖNORM EN ISO 17892-3,⁸²
- Kornform nach ÖNORM EN ISO 14688-1, relevant nur für Kies ($D > 2\text{mm}$).

Verhalten bei Wassereinwirkung

Lineare Trockenschwindmaß

Grundlegendes: Unter dem Linearen Trockenschwindmaß wird die Verkürzung des Probekörpers in Längsrichtung bei Erreichen der Massenkonstanz verstanden, das wiederum von folgenden Faktoren beeinflusst wird:

- Menge der Wasserzugabe bei Prüfkörperherstellung,
- Art, Menge und Struktur der Tonmineralien,
- Anteil der grobkörnigen Fraktion im Baulehm,
- und Austrocknungsbedingungen.

⁸¹ Vgl. (Schröder, 2019, S. 458f), (Minke, 2009, S. 67). In diesem Zusammenhang sei auf das aktuell laufende Forschungsprojekt RE-FORM earth verwiesen, das sich genau dieser Problematik widmet ([RE-FORM earth - IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie](#)).

⁸² Die Korndichte kann nach (Schröder, 2019, S. 230-232) mit 2,65 bis 2,80 g/cm³ angenommen werden.

Für den Lehmbaustoff selbst führt dies zu möglichen Rissbildungen bis hin zu einer Zerstörung des Baustoffes.

Prüfung: Für die Herstellung geeigneter Prüfprismen mit den Abmessungen 160x40x40mm kann die ÖNORM EN 1015-11 verwendet werden. Der Prüfablauf zur Messung des Schwindmaßes kann auch in Analogie zu den ÖNORMEN EN 12390-16 oder EN 13454-2 erfolgen. Parallel zum Einbau ist immer der Wassergehalt gemäß ÖNORM EN ISO 17892-1 zu bestimmen.⁸³ Die mit diesem unter definiertem Wassergehalt hergestellten Prismen werden bei 23°C und 50% Luftfeuchte bis zur Massenkonzanz getrocknet.⁸⁴ Nach dem Erreichen der Massenkonzanz werden die Prismen über die Längsseite in halber Höhe abgemessen, um so die verkürzte Prismenlänge l_2 zu bestimmen. Aus der Anfangslänge l_1 und der Länge l_2 kann nun das lineare Schwindmaß errechnet werden. Dieses ist dann die Längenänderung $\Delta l = l_1 - l_2$ bezogen auf die Ausgangslänge l_1 und wird in % angegeben.

Klassifikation: Nachfolgende Tabelle 34 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zum Trockenschwindmaß.

Tabelle 34: Vorschlag zur Klassifikation von „Trockenschwindmaß“

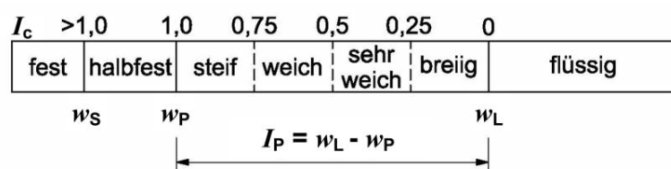
Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Trockenschwindmaß (optional)	ÖNORMEN EN 1015-11, EN 12390-16 oder EN 13454-2	(L)	Lineares Schwindmaß in %

Plastizität

Grundlegendes: Lehm kann allgemein in Kombination mit Wasser unterschiedliche Konsistenzen aufweisen. Diese Zustandsformen reichen von „fest“, „halbfest“, „steif“, „weich“, „sehr weich“, „breiig“ sowie „flüssig“ und werden durch das Konsistenzband (siehe Abbildung 6) beschrieben.

Dabei stellen die Fließgrenze w_L (Übergang von „flüssig“ auf „breiig“) und Ausrollgrenze w_P . (Übergang von „steif“ auf „halbfest“) wesentliche Bezugsgrößen für den Lehmbebau dar.⁸⁵ Aus diesen lässt sich dann die Plastizitätszahl errechnen mit $I_P = w_L - w_P$.

Abbildung 6: Konsistenzband nach ÖNORM EN ISO 14688-2



Die Tabelle 35 zeigt typische Werte für die Fließ- und Ausrollgrenze sowie der Plastizitätszahl unterschiedlicher Bodenarten.

⁸³ Einflussgrößen für das Schwindmaß sind: Wassergehalt (damit erreichte Zustandsform des Baulehms), Art und Anteile der Tonminerale, Porenstruktur des Baulehms (vgl. (Schröder, 2019, S. 236). Daher ist es immer notwendig den Wassergehalt vor dem Einbau in die Prüfform zu bestimmen.

⁸⁴ (DVL TM 05, 2011): nach diesem Merkblatt kann man das Trockenschwindmaß auch mit Mörtelkonsistenz nach ÖNORM EN 1015-2 erstellen. Dann ist ein Ausschalen erst nach 2 bis 7 Tagen möglich.

⁸⁵ Vgl. (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019, S. 7)

Tabelle 35: Typische Werte für w_L , w_P , I_P in % für unterschiedliche Bodenarten⁸⁶

Bodenart	w_L	w_P	I_P
Sand mit Feinkorn	20 – 40	15 – 40	5 – 25
Schluff	25 – 50	20 – 23	4 – 20
Ton, hochplastisch	60 – 85	20 – 35	33 – 55

Aus der Plastizitätszahl I_P und dem Massenanteil der feinsten Körner ($< 0,002\text{mm}$) bezogen auf die Trockenmasse m des Bodens kleiner als $0,4\text{mm}$ lässt sich die Aktivitätszahl I_A nach ÖNORM EN ISO 17892-12 mit der Formel $I_A = \frac{I_P}{CF}$ ausrechnen⁸⁷. Diese Zahl ist deshalb interessant, da sie über das zumeist unterschiedliche Wasserbindungsvermögen von Tonen einen Rückschluss auf die mögliche Tonmineralart liefert. Dabei gilt, dass je mehr quellfähige Tonminerale in einer Tonfraktion vorhanden sind, desto größer ist das Wasserbindungsvermögen und dies wird wiederum durch die Aktivitätszahl I_A ausgedrückt. Die Tabelle 37 zeigt dabei für unterschiedliche Tonminerale die zugehörige Aktivitätszahl. Desto höher diese Zahl ist, desto quellfähiger sind die Tonminerale. Mit dieser neu gewonnenen Zahl lässt sich die Aktivität der Minerale in einem feinkörnigen Boden beschreiben und nach Tabelle 37 klassifizieren.

Tabelle 36: Benennung der Aktivität bindiger Böden⁸⁸

Benennung	Inaktiv	Normal	aktiv
Aktivitätszahl	$\leq 0,75$	$0,75 < I_A \leq 1,25$	$> 1,25$

Tabelle 37: Zusammenstellung der Fließgrenze und Aktivitätszahl für unterschiedliche Mineralarten⁸⁹

Mineralart	Fließgrenze [%]	Aktivitätszahl
Kaolin	60	0,4
Illit	100	0,9
Ca-Montmorillonit	500	1,5
Na-Montmorillonit	700	7

Prüfung: Eine Beschreibung der Plastizität im Feld über einen einfachen Handtest kann gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1 durchgeführt werden.⁹⁰

In der nachfolgenden Tabelle 38 wird der Handversuch zur Einschätzung der Plastizität des Bodens gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1 näher beschrieben. Ähnlich wie für die Ausrollgrenze selbst wird dies über das Formen einer Walze mit einem Durchmesser von 3mm überprüft und beschrieben. Dieser

⁸⁶ (Boley, 2019, S. 25, Tabelle 2.9)

⁸⁷ (ÖNORM EN ISO 17892-12, 2018), Anhang B.1.3: CF ist dabei die Trockenmasse der Partikel mit einem äquivalenten Durchmesser kleiner als $0,002\text{ mm}$, dividiert durch die Trockenmasse der Probe (oder die der Trockenmasse der Probe nach Entfernung der Grobfraction), ausgedrückt als Prozentsatz.

⁸⁸ (Boley, 2019, S. 25, Tabelle 2.10)

⁸⁹ (Boley, 2019, S. 25, Tabelle 2.11)

⁹⁰ (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020)

Versuch ist dabei eine einfache und effektive Methode, um vor Ort einen ersten Hinweis über die plastischen Eigenschaften des Bodens zu erhalten.

Tabelle 38: Plastizität

	Lehmbau- Regeln (2009)	ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 27-29)
Ziel	–	Einschätzung der Plastizität des Bodens
Bezeichnung	–	Plastizität
Beschreibung	–	Auf Grundlage der während der Prüfung zur Beurteilung der Zähigkeit gemachten Beobachtungen ist die Plastizität des Materials in Übereinstimmung mit Tabelle A.1 zu beschreiben.
Ergebnis	–	<u>Plastizität</u> nicht plastisch: unabhängig vom Wassergehalt kann keine 3 mm dicke Walze gerollt werden. Gering: Eine Walze kann kaum gerollt werden und der Klumpen kann nicht geformt werden, wenn der Wassergehalt unterhalb der Ausrollgrenze liegt. Mittel: Eine Walze kann leicht gerollt und die Ausrollgrenze kann in kurzer Zeit erreicht werden. Die Walze kann nach Erreichen der Ausrollgrenze nicht erneut gerollt werden. Der Klumpen bröckelt, wenn sein Wassergehalt unterhalb der Ausrollgrenze liegt. hoch Es wird viel Zeit zum Rollen und Kneten benötigt, bis die Ausrollgrenze erreicht ist. Die Walze kann nach Erreichen der Ausrollgrenze mehrmals erneut gerollt werden. Der Klumpen kann ohne zu bröckeln geformt werden, wenn sein Wassergehalt unterhalb der Ausrollgrenze liegt. Hoch: Ton Nicht plastisch oder niedrige Plastizität: Schluff
Hinweis	–	

Im Labor wird die Plastizität gemäß ÖNORM EN ISO 17892-12 untersucht und über ÖNORM EN ISO 14688-2 anhand des Plastizitätsdiagrammes klassifiziert. Bestimmt werden dabei die Fließgrenze w_L (mit dem Gerät nach Casagrande) und die Ausrollgrenze w_p an einem mit 0,4mm abgesiebten Probematerial.

Aus der „Differenz des Wassergehalts an der Fließgrenze [...] und der Ausrollgrenze [...] eines feinkörnigen Bodens“ kann die Plastizitätszahl $I_p = w_L - w_p$ berechnet werden.⁹¹

Die Konsistenzzahl $I_c = (w_L - w) / I_p$ ist ein „Verhältniswert der Differenz zwischen dem Wassergehalt an der Fließgrenze [...] und natürlichem Wassergehalt [...] und der Plastizitätszahl“.⁹²

Klassifikation: Über die Plastizitätszahl I_p und die Fließgrenze w_L kann mit dem Plastizitätsdiagramm (siehe Abbildung 7) eine Klassifikation für den Baulehm vorgenommen werden, und zwar über die Bodenart (Unterscheidung zwischen Ton und Schluff) sowie über dessen plastische Eigenschaft. Dazu wird in das Diagramm auf der Y-Achse I_p und auf X-Achse w_L aufgetragen.

⁹¹ (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019), Begriff 3.10

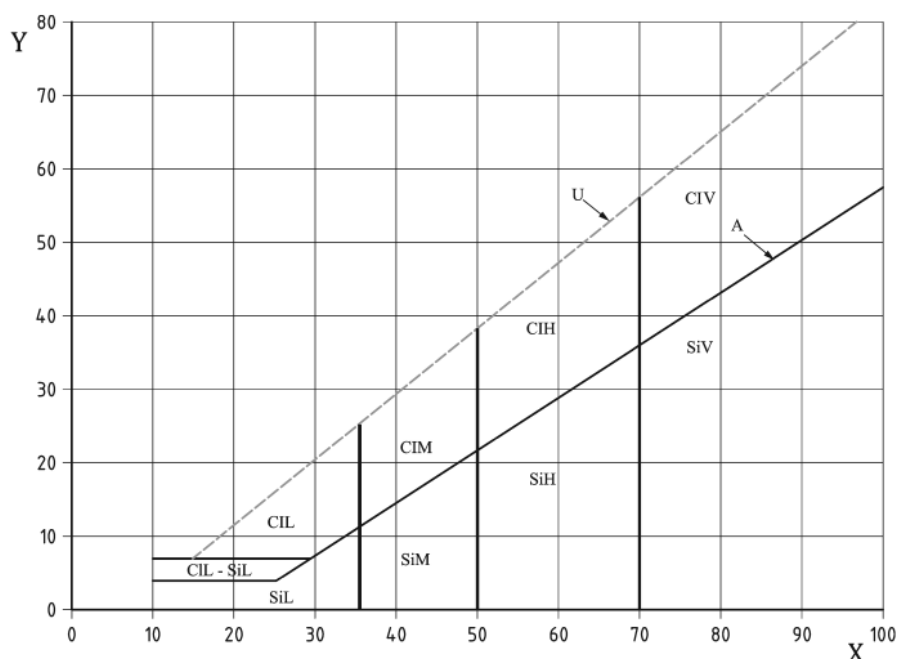
⁹² (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019), Begriff 3.3

Gemäß nationalem Anhang der ÖNORM EN ISO 14688-2 kann für den eingetragenen Punkt folgende Einordnung getroffen werden:

- Anorganische Böden unterhalb der A-Linie, werden als „*Schluffe*“ bezeichnet
- Anorganische Böden oberhalb der A-Linie, werden als „*Tone*“ bezeichnet
- Punkte unterhalb der A-Linie und mit einem $w_L > 35\%$ können durch organische Anteile beeinflusst sein.⁹³

Ferner gilt gemäß Legende zur Abbildung aus der ÖNORM EN ISO 14688-2 die Bezeichnung der Plastizität von „*niedrig*“ bis „*sehr hoch*“.

Abbildung 7: Plastizitätsdiagramm



Legende

X Wassergehalt an der Fließgrenze, w_L		Y Plastizitätszahl, I_p	
Art des Bodens		Bezeichnung für die Plastizität	
		Wassergehalt an der Fließgrenze	
Cl	Ton	L	niedrig
Si	Schluff	M	mittel
		H	hoch
		V	sehr hoch
		O	organisch
		zur Klassifizierung für organisches Material (z. B. CIHO) hinzufügen	
U-Linie	$I_p = 0,9 (w_L - 8)$		A-Linie $I_p = 0,73 (w_L - 20)$

Für den Baulehm BL16 ergaben sich beispielsweise folgende Werte:

$$I_p = w_L - w_P = 46,3 - 27,2 = 19,1\%$$

Nach A-Linie ergibt sich $I_p = 0,73 \cdot (w_L - 20) = 0,73 \cdot 26,3 = 19,199 > 19,1 \rightarrow$ daher liegt der Punkt knapp unter der A-Linie, das bedeutet:

- Art des Bodens: Schluff

⁹³ Vgl. NA.3 (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019, S. 6)

- Bezeichnung für die Plastizität: mittel plastisch, eventuell durch organischen Anteil beeinflusst, da $w_L = 46,3\%$ zwischen 35 und 50% liegt.

Für den Baulehm BL02 ergeben sich folgende Werte:

$$I_P = w_L - w_P = 58,3 - 27,1 = 31,2\%$$

Nach A-Linie ergibt sich $I_P = 0,73 \cdot (w_L - 20) = 0,73 \cdot 38,3 = 27,96 < 31,2 \rightarrow$ daher liegt der Punkt oberhalb der A-Linie, jedoch deutlich unter der U-Linie $I_P = 0,9 \cdot (w_L - 8) = 45,27$, das liefert als Ergebnis einen hochplastischen Ton (*CIH*). Ferner ist dieser Baulehm als „hoch plastisch“ zu bezeichnen, da die Fließgrenze mit 58,3% zwischen 50 bis 70% liegt.

Ferner kann über die Konsistenzzahl I_C und über den vorhandenen Wassergehalt eines Baulehms die Zustandsform des Bodens (siehe Tabelle 39) bestimmt werden oder jener Wassergehalt eingestellt werden, der für die Verarbeitbarkeit des Baulehms zur Herstellung eines Lehmbaustoffes notwendig ist. Dies geschieht durch das Umformen der obigen Gleichung:

$$w = w_L - I_C \cdot I_P$$

Tabelle 39: Konsistenzzahl I_C für die unterschiedlichen Zustandsformen im Boden⁹⁴

Bezeichnung	Konsistenzzahl I_C
Breiig	< 0,25
Sehr weich	0,25 bis 0,50
Weich	0,5 bis 0,75
Steif	0,75 bis 1,00
Halbfest	> 1,00

Am Beispiel BL01: in den Untersuchungen konnte die Fließgrenze mit $w_L = 32,4\%$ ermittelt werden und über die Ausrollgrenze die Plastizitätszahl $I_P = 12,3\%$. Damit wäre unter der Vorgabe, dass man eine „sehr weiche“ Baulehmmischung einstellen möchte der notwendige Wassergehalt $w = 29,3\%$.

$$w = w_L - I_C \cdot I_P = 32,4 - 0,25 \cdot 12,3 = 29,3\%$$

Nachfolgende Tabelle 40 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zur Plastizität.

Tabelle 40: Vorschlag zur Klassifikation von „Plastizität“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Plastizität	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Plastisch ja/nein
	ÖNORM EN ISO 17892-12	(L)	I_P, w_L, w_A Bodenart Plastische Eigenschaft

⁹⁴ Vgl. (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019) Tabelle 8

Wassergehalt

Grundlegendes: Lehm bindet auf drei Arten Wasser: „Kristallwasser“, „Adsorptionswasser“ und „Kapillarwasser/Porenwasser“.

„Kristallwasser“ (= chemisch gebundene Wasser der Tonminerale) entweicht bei Temperaturen von 400 bis 900°C. Wird das Kristallwasser entzogen, führt dies auch zur Zerstörung des Materials. Tonminerale weisen die Eigenschaft auf, Kristallwasser chemisch zu binden. Beispiele dafür sind etwa Illit $(K,H_3O)Al_2(Si_3Al)O_{10}(H_2O,OH)_2$ dessen chemische Zusammensetzung aus Aluminium, Silicium, Kalium, Sauerstoff, Wasserstoff besteht.⁹⁵

Für den Lehmbau relevant ist das über Oberflächenspannung auf dem Festkörper gebundene „Adsorptionswasser“ und das freie „Kapillarwasser/Porenwasser“ (= physikalisch gebundene Wasser). Dabei entweicht über die Verdunstung annähernd das Porenwasser und bei einer Trocknung bei Temperaturen von 105°C bis 110°C komplett das Adsorptions- und Porenwasser.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass abhängig vom Tonanteil und Art des Tones im Baulehm mehr oder weniger Wasser benötigt wird, um diesen auf eine bestimmte Konsistenz einzustellen. Aus der Baulehmprüfung wäre dies typischerweise für die Einstellung der Normsteife beim Bindekraftversuch der Fall.

Prüfung: Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgt gemäß ÖNORM EN ISO 17892-1.

Klassifikation: Nachfolgende Tabelle 41 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zum Wassergehalt.

Tabelle 41: Vorschlag zur Klassifikation von „Wassergehalt Normsteife“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Wassergehalt Normsteife	ÖNORM EN ISO 17892-1	(L)	w_{norm}

Festigkeit

Bindekraft

Grundlegendes: Die Bindekraft beschreibt jene Kraft, bei der ein plastischer Baulehm im Zerreißversuch versagt. Nach den Lehmbau-Regeln muss dabei der Baulehm bei einem definierten Wassergehalt (= „Normsteife“) eingestellt werden. Die so ermittelte Kraft wird in g/cm² angegeben.

Prüfung: Eine erste Einschätzung der Kohäsion des Baulehms und somit Aussage zur Bindekraft liefert die „Kugelformprobe“ nach den Lehmbau-Regeln bzw. „Kohäsion“ nach ÖNORM EN ISO 14688-1, siehe Tabelle 43.⁹⁶

Tabelle 42: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort

Prüfparameter	Bezeichnung: Lehm-Regeln	Bezeichnung: ÖNORM EN ISO 14688-1
Bindekraft	Kugelformprobe 2.4.3.	Kohäsion A.3.8

⁹⁵ Vgl. URL: <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Illit> [Zugriff am 27.8.2025]

⁹⁶ (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020)

Die nachstehende Tabelle 43 zeigt eine Gegenüberstellung dieser beiden Versuchsformen.

Tabelle 43: Kugelformprobe

Lehmbau-Regeln (2009, S. 7)		ÖNORM EN ISO 14688-1 (ÖNORM EN ISO 14688-1, 2020, S. 29)
Ziel	Einschätzung der Bindekraft	Einschätzung der Kohäsion
Bezeichnung	Kugelformprobe	Kohäsion
Beschreibung	Aus erdfeuchtem Lehm werden mit den Händen mehrere Kugeln mit einem Durchmesser 5cm geformt und zwischen den Fingern zusammengedrückt	Kugelförmige Probe (Durchmesser 25mm) wird zwischen Fingern zusammengedrückt.
Ergebnis	Fetter Lehm klebt beim Formen an den Händen, zu magerer Lehm lässt sich nicht formen oder fällt nach dem Trocknen leicht auseinander.	Ton: formt sich plastisch, ohne zu brechen Schluff: neigt eher zu zerbröckeln als sich zu verformen

Im Labor wird der Bindekraftversuch nach den Lehmbau-Regeln durchgeführt.⁹⁷ Dieser Versuch ist die einzige typische Lehmbauprüfung, für die es keine bestehende fachverwandte Baunorm gibt, die gleich ist oder zumindest über einen Analogieschluss Ähnlichkeiten aufweist.

Genau beschrieben wird dieser Versuch in den Lehmbau-Regeln, die auf das Verfahren aus der 1971 zurückgezogenen DIN 18952 zurückgreift.⁹⁸ Die im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Prüfungen wurden anhand der Lehmbau-Regeln vorgenommen. Für den genau beschriebenen Ablauf wird daher auf diese Regelung verwiesen.

Klassifikation: Nachfolgende Tabelle 44 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zur Bindekraft.

Tabelle 44: Vorschlag zur Klassifikation von „Bindekraft“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Bindekraft (optional)	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	deklarierte Wert
	Lehmbau-Regeln	(L)	Bindekraft in g/cm ²

Biegezug- und Druckfestigkeit

Grundlegendes: Für den Lehmbau ist die Druckfestigkeit eine maßgebende Größe. Als Druckfestigkeit wird dabei jene Normalspannung bezeichnet, die durch eine Normkraft (=Prüfkraft) bezogen auf eine Prüffläche entsteht und wird in N/mm² angegeben. Diese liegt in der Regel zwischen 2 und 6 N/mm². Bei sehr mageren Baulehm kann sie auch geringer ausfallen.

Als Biegezugfestigkeit wird jene Spannung bezeichnet, die durch ein Biegemoment (erzeugt durch die Dreipunktprüfung (siehe Abbildung 8) bezogen auf das Trägheitsmoment des Prüfquerschnittes

⁹⁷ (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009) diese beziehen sich dabei auf die zurückgezogene DIN 18952.

⁹⁸ Hinweis: diese DIN-Normen wurden nicht aus technischen Gründen zurückgezogen, sondern aus der damaligen Überlegung, dass Lehmbau keine wirtschaftliche Relevanz für den Bausektor mehr darstellt.

(beim Rechteckquerschnitt ist dies das Widerstandsmoment $W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$) entsteht und wird in N/mm² angegeben. Dieser Wert stellt grundsätzlich für den Lehmbau kein relevantes Maß dar ausgenommen davon sind Vorgaben an die Kantenfestigkeit, Umlagerung der Kräfte im Baustoff selbst oder Beanspruchung beim Transport. Da zur Ermittlung dieser Grenzspannung gegenüber der Druckfestigkeit eine geringere Prüfkraft erforderlich ist, wird diese Festigkeit in internationalen Lehmbaunormen auch als Parameter herangezogen, um einen indirekten Rückschluss auf die Druckfestigkeit angeben zu können. So schätzt etwa die neuseeländische Norm die Druckfestigkeit als das Dreifache der Biegezugfestigkeit ab.

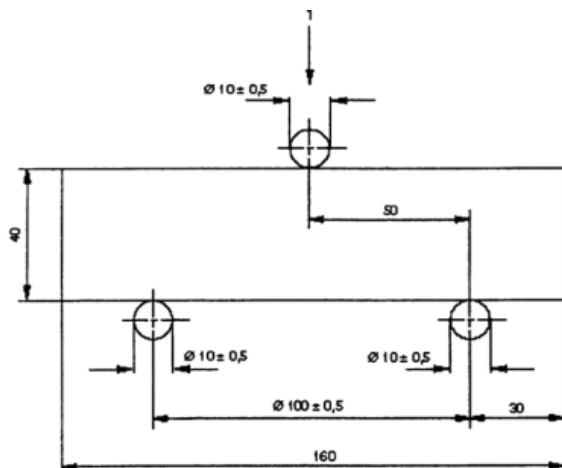
Prüfung: Die Ermittlung der Biegezug- und Druckfestigkeit erfolgt gemäß ÖNORM EN 1015-11. Dafür werden drei Prismen 160x40x40mm in Versuchskonsistenz nach dem Bindekraftversuch und/oder Mörtelkonsistenz nach ÖNORM EN 1015-2⁹⁹ in Anlehnung an TM05 hergestellt. Im Rahmen der durchgeführten Versuche wurde für die Baulehmprüfung stets die Versuchskonsistenz gemäß dem Bindekraftversuch verwendet. Die Lagerung der so gewonnenen Prismen erfolgt bei 23°C und 50% relativen Luftfeuchte, und zwar so lange bis Massenkonzanz erreicht ist.

Durch mittiges Durchbrechen kann nun zunächst die Prüfkraft zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit bestimmt werden. Für die Biegezugprüfung werden folgende Prüfgeschwindigkeiten angenommen:

- Bruch innerhalb von 30 bis 90 s,
- dies kann in der Regel bei mageren Baulehm mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 5 N/s erreicht werden, bei fetten Lehm ist der Wert höher.

Die Auswertung erfolgt gemäß ÖNORM EN 1015-11, wobei die Einzelwert- und Mittelwerte der Prüfung in N/mm² angegeben werden.

Abbildung 8: Biegezugprüfung nach ÖNORM EN 1015-11



Zufolge des Biegeversuches erhält man nun sechs Prüfkörper, mit denen nun die Druckfestigkeit ermittelt werden kann. Für diese Prüfung werden folgende Prüfgeschwindigkeiten angenommen:

- Bruch innerhalb von 30 bis 90 s,

⁹⁹ (DVL TM 05, 2011) enthält zu dieser Aufbereitungsform spezifische Festlegungen für den Lehmbau.

- dies kann in der Regel bei mageren Baulehm mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 50 N/s erreicht werden, bei fetten Lehmen ist der Wert höher.

Die Auswertung erfolgt wieder gemäß ÖNORM EN 1015-11, wobei die Einzelwert- und Mittelwerte der Prüfung in N/mm² angegeben werden.¹⁰⁰

Klassifikation: Nachfolgende Tabelle 45 zeigt einen Vorschlag für eine mögliche Klassifikation für die Produkteigenschaft zur Biegezug- und Druckfestigkeit.

Tabelle 45: Vorschlag zur Klassifikation von „Biegezug- und Druckfestigkeit“

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Druckfestigkeit	ÖNORM EN 1015-11	(L)	Druckfestigkeit in N/mm ²
Biegezugfestigkeit (optional)	ÖNORM EN 1015-11	(L)	Biegezugfestigkeit in N/mm ²

Zusammenfassung der Anforderungen/Klassifizierung

Nachfolgende Tabelle 46 enthält nun zusammengefasst sämtliche mögliche Anforderungen zur Beschreibung des Baulehms auf dessen Zusammensetzung, Verhalten bei Wassereinwirkung und Festigkeit.

Tabelle 46: Zusammenfassung der Anforderungen an Baulehm

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
Zusammensetzung			
Korngrößenverteilung	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Ton/Schluff/KGV in situ
	ÖNORM EN ISO 17892-4	(L)	Gr, Sa, Si, Cl in % fein, grob-, gemischtkörnig Form der KGV über Cu, Cc
Organische Bestandteile	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Organisch: deklarierte Wert Farbe: deklarierte Wert
	ÖNORM EN 17685-1	(L)	organischer Anteil in %
Natürlicher Kalkgehalt	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Kalkgehalt ja/nein Aufbrausen
	DIN 18129, ÖNORM EN ISO 14688-1	(L)	Natürlicher Kalkgehalt in %
Bauschädliche Salze	Vgl. ÖNORM EN 1744-1 Vgl. ÖNORM B 3355	(L)	Nitrate in %
			Sulfate in %
			Chloride in %
			Gesamtgehalt in %
pH-Wert	ÖNORM EN ISO 10390	(L)	deklarierte Wert
Radioaktivität	ÖNORM EN ISO 18589-3		deklarierte Wert
Verhalten bei Wassereinwirkung			
Trockenschwindmaß (optional)	ÖNORMEN EN 1015-11, EN 12390-16 oder EN 13454-2	(L)	Lineares Schwindmaß in %
Plastizität	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Plastisch ja/nein

¹⁰⁰ Vgl. Ebda, S. 4-5

Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Typ	Klasse, Anforderung
	ÖNORM EN ISO 17892-12	(L)	I_P, w_L, w_A Bodenart Plastische Eigenschaft
Wassergehalt Normsteife (optional)	ÖNORM EN ISO 17892-1	(L)	w_{norm}
Festigkeit			
Bindekraft (optional)	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	deklarierte Wert
	Lehmbau-Regeln	(L)	Bindekraft in g/cm ²
Druckfestigkeit	ÖNORM EN 1015-11	(L)	Druckfestigkeit in N/mm ²
Biegezugfestigkeit (optional)	ÖNORM EN 1015-11	(L)	Biegezugfestigkeit in N/mm ²

Produkteigenschaften von Lehmbaustoffen

Allgemeines

Auf Basis der zuvor definierten Eigenschaften des Baulehms werden nun in weiterer Folge drei verschiedene Lehmbaustoffarten auf deren spezifischen Anforderungen näher untersucht, und zwar: Lehmputzmörtel, Lehmmauermörtel und Lehmsteine.

Dabei soll die Anwendbarkeit der zuvor genannten Prüfparameter von Baulehm für die Herstellung der Lehmbaustoffen Lehmputz, Lehmmauermörtel und Lehmsteine überprüft werden. Darüber hinaus steht für das jeweilige Lehmbauprodukt die Frage, wie weit es auch für diese bestehende fachverwandte Prüfnormen gibt, die in diesem Zusammenhang wieder verwendet werden könnten.

Wie beim Baulehm gibt es auch für die Lehmbaustoffe Lehmputz, Lehmmauermörtel und Lehmsteine aus Deutschland bestehende Regelwerke, die im Rahmen dieser Untersuchung näher betrachtet und für die Anwendbarkeit in Österreich überprüft wurden.

Es handelt sich dabei um die DIN-Normen:

DIN 18945, *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18946, *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18947, *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

Als Grundlage hinsichtlich Anforderung an den Lehmbaustoff für die Anwendung von Lehmputz und Lehmmauermörtel können folgende Normen herangezogen werden:

ÖNORM EN 1015, *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk*

Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung (durch Siebanalyse)

Teil 2: Probenahme von Mörteln und Herstellung von Prüfmörteln

Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch)

Teil 4: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Eindringgerät)

Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel

Teil 7: Bestimmung des Luftgehaltes von Frischmörtel

Teil 9: Bestimmung der Verarbeitbarkeitszeit und der Korrigierbarkeitszeit von Frischmörtel

Teil 10: Bestimmung der Trockenrohichte von Festmörtel

Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel

Teil 12: Bestimmung der Haftzugfestigkeit zwischen Putz und Untergrund

Teil 18: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von erhärtetem Mörtel (Festmörtel)

Teil 19: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Festmörteln aus Putzmörteln¹⁰¹

ÖNORM EN 998, *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau*

Teil 1: Putzmörtel

Teil 2: Mauermörtel

Als Grundlage hinsichtlich Anforderung an den Lehmbaustoff für die Anwendung von Lehmsteine können folgende Normen herangezogen werden:

ÖNORM EN 771, *Festlegungen für Mauersteine*

Teil 1: Mauerziegel¹⁰²

ÖNORM EN 772, *Prüfverfahren für Mauersteine*

ÖNORM B 3200, *Mauerziegel – Anforderungen, Prüfungen, Klassifizierung und Kennzeichnung – Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 771-1*

ÖNORM EN 1052, *Prüfverfahren für Mauerwerk*

Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit

Teil 2: Bestimmung der Biegezugfestigkeit

Teil 3: Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)

Teil 4: Bestimmung der Scherfestigkeit bei einer Feuchtesperrschicht

Teil 5: Bestimmung der Biegehaftzugfestigkeit

Im Folgenden werden nun die spezifischen Produkteigenschaft für die Lehmbaustoffe Lehmputz, Lehmmauermörtel und Lehmsteine einzeln näher vorgestellt.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass derzeit an einer Ausarbeitung von Normvorschlägen für Österreich bei Austrian Standards gearbeitet wird. Es handelt sich dabei im folgende:

ÖNORM B 3230, *Bauprodukte aus Lehm*

Teil 1: Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Teil 2: Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Teil 3: Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Teil 4: Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

Grundlagen dieser Ausarbeitungen sind dabei die Erkenntnisse und Empfehlungen, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelt werden konnten.

Ausgangsstoffe

Die notwendigen Vorgaben für den Baulehm hinsichtlich Korngrößenverteilung, Bindekraft und Plastizität für die Herstellung von Lehmmörtel (=Lehmputz/Lehmmauermörtel) und die Lehmsteine enthält die Tabelle 47.

¹⁰¹ Teil 5 und Teil 8 sind derzeit nicht publiziert.

¹⁰² Teil 2: Kalksandstein, Teil 3: Mauersteine aus Beton, Teil 4: Porenbetonsteine, Teil 5: Betonwerksteine, Teil 6: Natursteine; für die Normenreihe ÖNORM EN 771 und EN 772 ist das CEN/TC 125 „Mauerwerk“ zuständig.

Tabelle 47: Mögliche Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation¹⁰³

Charakteristik Baulehm nach	Mögliche Klassifikation	Geeignet für
KGV: feinkörnig schluffig bis sandig Bindekraft: mager bis fett Plastizität: schwach	Feinkornanteil > 35% (81-110) bis (201-280g/cm ²) $w_L < 35\%$	Lehmmörtel (allgemein)
Bindekraft: mager bis fast fett Plastizität: schwach	(81-110) bis (111-200g/cm ²) $w_L < 35\%$	Lehmmauermörtel
KGV: Schluffig-sandiger Boden, mit ausreichendem Anteil im Grobschluff- bis Mittelsandbereich Bindekraft: Gerade ausreichender Anteil an Tonmineralien Fehlt Ton: Zugabe von Tonmehl	cl'SaSi (mäßig gestuft) 0,02 bis 0,63mm (Grobschluff bis Mittelsand) (81-110g/cm ²)	Lehmputzmörtel
Bindekraft/Plastizität/KGV muss entsprechen $Ip=17-33\%$, $wl=32-50\%$	(111-200) bis (201-280g/cm ²) $w_L < 35$ bis 50%	Lehmsteine

Als Zusatzstoffe können nach den DIN-Normen mineralische und organische Zusatzstoffe verwendet werden. Diese werden zumeist in europäischen Grundlagedokumenten näher definiert, für die es dann in der Regel auch ein nationales Umsetzungsdokument gibt. Falls vorhanden werden diese im Folgenden sogleich zu den unterschiedlichen Zusatzstoffen genannt, im Detail wären das:

- Mineralische Zusatzstoffe wie
 - Natürliche Gesteinskörnungen nach ÖNORM EN 12620,
 - Recycelte Gesteinskörnungen,
 - Ziegelsplitt (für Lehmsteine und Lehmmauermörtel) bzw. Ziegelmehl (für Lehmputze) aus der Ziegelproduktion,
 - Bläherlit, Blähton, Blähglas, Schaumglas, Blähschiefer und Naturbims gemäß ÖNORM EN 13055-1.
- Organische, chemisch unbehandelte Zusatzstoffe
 - Pflanzenteile und -fasern,
 - Tierhaar,
 - zerkleinertes Holz (keine Holzwerkstoff).
- Organische, chemisch behandelte Zusatzstoffe
 - Zellulosefasern.

Die oben genannten Normen beinhalten ebenfalls für das jeweilige Bauprodukt unterschiedliche Produkteigenschaften mit möglichen Kategorien und Anforderungen. Für den Lehmbau wäre es noch erforderlich aus diesen Klassen die entsprechenden Vorgaben festzulegen. Dies würde eine entsprechende Planungs-, Ausführungs- und damit auch Rechtssicherheit für die Anwendung liefern. Beispielsweise gilt für natürliche Gesteinskörnungen ÖNORM EN 12620 das nationale Umsetzungsdokument ÖNORM B 3131. In dieser nationalen Norm werden folgende Merkmale mit den dazu anzugebenden Kategorien oder Werte aufgelistet, wobei es sich hier nicht um eine vollständige Auflistung handelt:

- Siebgrößen zur Festlegung von Korngruppen (=Merkmal): 0, 1, 2, 4, 5, 8, 11, 16, 22, 32, 45 und 63 (=Werte)
- Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1 (=Merkmal): GC85/20, GC90/15, GF85, GNG90, GA90 (=mögliche Kategorien)

¹⁰³ Vgl. (Schröder, 2019, S. 176f)

- Verminderte Grenzabweichungen für die vom Hersteller angegebene typische Kornzusammensetzung von feinen Gesteinskörnungen: gemäß ÖNORM EN 12620
- Kornform von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-3: F_{NR}
- Kornform von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-4: SI15, SI20, SI40 oder SINR
- Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-7: SC10b
- Gehalt an Feinanteilen gemäß ÖNORM EN 933-1 grob: f1,5; natürlich zusammengesetzt 0/8: f3, f10, f16; Korngemisch: f3, f11, fangegeben; fein: f3, f10, f16, f22, fangegeben
- Qualität der Feinanteile: bestanden, keine Anforderung
- Kornrohichte gemäß ÖNORM EN 1097-6: als ρ_a anzugeben; geforderte Bandbreite 0,06 Mg/m³ (z.B. 2,70 Mg/m³ bis 2,76 Mg/m³)
- Frost-Tau-Widerstand von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1367-1: F1d, F2d, FNR
- Raumbeständigkeit – Schwinden infolge Austrocknens gemäß ÖNORM EN 1367-4: bestandene

In gleicher Weise wie für ÖNORM B 3131 gibt es auf Basis der ÖNORM EN 12620 auch für die rezyklierten Gesteinskörnungen nationale Umsetzungsdokumente, nämlich ÖNORM B 3140 und ÖNORM B 3141. Wobei gerade letztgenannte Norm für den Lehmabbau besonders interessant ist, da diese die Anforderungen im speziellen für rezyklierten Gesteinskörnung aus Bodenaushub behandelt.

ÖNORM EN 12620, Gesteinskörnungen für Beton

ÖNORM B 3131, Gesteinskörnungen für Beton - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12620

ÖNORM B 3140, Rezyklierte Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Anwendungen sowie für Beton

ÖNORM B 3141, Herstellung von Recycling-Baustoffen aus Aushubmaterialien - Anforderungen

Leichte Gesteinskörnungen werden in ÖNORM EN 13055 behandelt und das dazugehörige nationale Umsetzungsdokument ist dabei ÖNORM B 3136.

ÖNORM EN 13055, Leichte Gesteinskörnungen

ÖNORM B 3136, Leichte Gesteinskörnungen - Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13055-1

Die Zugabe von anorganischen Pigmenten nach ÖNORM EN 12878 oder pflanzlichen Farbstoffen für Lehmputze ist zulässig.¹⁰⁴

ÖNORM EN 12878, Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen — Anforderungen und Prüfverfahren

Für den Lehmklebe- und Armiermörtel ist die laut DIN 18947 auch die Zugabe von bis zu zwei Masseprozent stabilisierende Zusatzmittel erlaubt, soweit die stabilisierende Wirkung durch Wasserzugabe reversibel ist. Als solche Zusatzmittel dürfen etwa Polysaccharide, z. B. Methylzellulose oder Stärke, verwendet werden.¹⁰⁵

Werden Faserstoffe hinzugefügt, so haben diese folgenden Funktionen im Putz zu erfüllen:

¹⁰⁴ Vgl. (DIN 18947, 2024, S. 6-7)

¹⁰⁵ (DIN 18947, 2024, S. 7)

- Vermeidung von Rissbildung beim Austrocknen,
- Erhöhung einer mechanischen Stabilität des Lehmputzes auch im Gebrauchszustand gegenüber Abrieb und Stoßbeanspruchung,
- Verbesserung der Wärmedämmwirkung.¹⁰⁶

Gehalt an bauschädlichen Salzen

Wie bereits zuvor näher ausgeführt, dürfen sämtliche Lehmbaumstoffe nur bis zu folgenden Mengen bauschädliche Salze enthalten:

- Nitrate $\leq 0,02$ % Massenanteil;
- Sulfate $\leq 0,10$ % Massenanteil;
- Chloride $\leq 0,08$ % Massenanteil.

Des Weiteren darf der Gesamtgehalt nicht mehr als 0,12 % Massenanteil betragen.

Die Prüfung des Gehaltes an bauschädlichen Salzen muss mit geeigneten, hinreichend genauen Verfahren, wie z. B. Spektralphotometrie oder Ionenchromatographie, an wässrigen Auszügen des Mörtels durchgeführt werden.

Brandverhalten

Generell gilt für Lehmsteine, Lehmmauermörtel und Lehmputz, dass wenn diese ohne organische Zuschläge oder Fasern hergestellt werden, keine nähere Prüfung benötigt werden und in die Baustoffklasse A1 eingestuft werden können.

Das Gleiche gilt auch für die oben genannten Lehmbaumstoffe, wenn der Gehalt an homogen verteilten organischen Stoffen kleiner als 1 % Massen- oder Volumenanteil beträgt. Auch dann ist der Baustoffe der Klasse A1 zuzuordnen.

Hier am Beispiel Lehmputz nochmals vorgestellt die Gegenüberstellung der DIN-Lehmbaumnorm und die Mörtelgrundlagennorm ÖNORM EN 998-1.

Anforderung an das Brandverhalten nach DIN 18947:

*„Das Brandverhalten von Lehmputzmörtel ist durch Prüfung nach DIN 4102-1 zu bestimmen. Lehmputzmörtel ohne organische Zuschläge oder Fasern können nach DIN 4102-4 ohne Prüfung in die Baustoffklasse A1 eingestuft werden.
Lehmputzmörtel, die nicht mehr als 1,0 % Massenanteil homogen verteilte organische Bestandteile haben, können nach DIN 4102-4 ohne weitere Prüfung in die Baustoffklasse A1 eingestuft werden.“¹⁰⁷*

In nahezu gleicher Form wird das Brandverhalten auch nach ÖNORM EN 998-1 beschrieben:

„Putzmörtel, deren Gehalt an homogen verteilten organischen Stoffen ≤ 1 % Massen- oder Volumenanteil beträgt (der größere Wert ist maßgebend), werden der Brandverhaltensklasse A1 zugeordnet, ohne dass eine Prüfung erforderlich ist. Putzmörtel, dessen Gehalt an homogen verteilten organischen Stoffen mehr als 1 % der Masse oder des Volumens beträgt (der größere Wert ist maßgebend), ist

¹⁰⁶ (Schröder, 2019, S. 193)

¹⁰⁷ (DIN 18947, 2024, S. 14), sinngemäß gilt diese Anforderung auch für DIN 18945 und DIN 18946.

nach EN 13501-1 zu klassifizieren. Die entsprechende Brandverhaltensklasse ist anzugeben.“¹⁰⁸

Damit können auch die Anforderungen zum Brandverhalten aus den DIN-Normen auf das Europäische Grundnormenwerk umgelegt werden, und zwar über ÖNORM EN 13501:

ÖNORM EN 13501, *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten*

Produkteigenschaften für den Lehmputz

Allgemeines

Betreffend der Festlegungen an Anforderung, Prüfung und Kennzeichnung für den Lehmputz gibt es im deutschsprachigen Raum im Moment folgende Produktnorm:

DIN 18947, *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

Des Weiteren gilt für Putze allgemein die Europäische Grundlagennorm ÖNORM EN 998-1. Die nachfolgende Tabelle 48 enthält nun auf Basis der beiden Normen DIN 18947 und ÖNORM EN 998-1 eine Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen (=Prüfparameter, zweite Spalte) sowie Nennung der jeweiligen Referenzprüfverfahren (dritte Spalte). Die letzte Spalte dieser Tabelle bezieht sich auf die Bezeichnung einer Klasse sowie die dazugehörige Anforderung gemäß DIN 18947.

Man kann dabei erkennen, dass bis auf die Prüfparameter für das lineare Trockenschwindmaß und dem Abrieb, die bestehende fachverwandte Normen sämtliche Prüfverfahren abdecken.

Tabelle 48: Zusammenfassung der Anforderungen an Festmörtel für Lehmputz

Nr.	Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Klasse, Anforderung
1	Trockenrohdichte	ÖNORM EN 1015-10	0,9: 810 bis 900kg/m ³ ^a 1,0: 910 bis 1000kg/m ³ ^a 1,2: 1010 bis 1200kg/m ³ ^b 1,4: 1210 bis 1400kg/m ³ ^b 1,6: 1410 bis 1600kg/m ³ ^b 1,8: 1610 bis 1800kg/m ³ ^b 2,0: 1810 bis 2000kg/m ³ ^b 2,2: 2010 bis 2200kg/m ^{3b}
2	Lineares Trockenschwindmaß	DIN 18947:2024, 8.6	≤ 2,0% ≤ 3,0% ^c ≤ 4,0% ^d
3	Druckfestigkeit	ÖNORM EN 1015-11	S I: ≥ 1,0N/mm ² S II: ≥ 1,5N/mm ²
4	Biegezugfestigkeit	ÖNORM EN 1015-11	S I: ≥ 0,3N/mm ² S II: ≥ 0,7N/mm ²
5	Haftfestigkeit	ÖNORM EN 1015-12	S I: ≥ 0,05N/mm ² S II: ≥ 0,10N/mm ²
6	Abrieb ^e	DIN 18947:2024, 8.9	S I: ≤ 1,5g

¹⁰⁸ (ÖNORM EN 998-1, 2017, S. 11)

Nr.	Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Klasse, Anforderung
			S II: $\leq 0,7g$
7	Wasserdampfdiffusionszahl	ÖNORM EN ISO 12572	deklarerter Wert
8	Wärmeleitfähigkeit		deklarerter Wert
9	Brandverhalten	ÖNORM EN 13501-1	deklarerter Wert
^a	Einzelwerte dürfen die Klassengrenzen um nicht mehr als 50 kg/m ³ unter- bzw. überschreiten.		
^b	Einzelwerte dürfen die Klassengrenzen um nicht mehr als 100 kg/m ³ unter- bzw. überschreiten.		
^c	Faserbewehrte Lehmputzmörtel sowie mineralische Lehmdünnlagenputzmörtel dürfen ein lineares Trockenschwindmaß von bis zu 3,0 % aufweisen.		
^d	Für Lehmputzmörtel die ausschließlich als Unterputze eingesetzt werden ist der Nachweis des Abriebs nicht erforderlich. Als Referenzfläche für die Beurteilung des Abriebs gilt eine handwerksgerecht gefülzte oder abgeriebene Putzfläche, die nach Abtrocknung mit einer weichen Bürste leicht abgefeigt wird.		

Überkorn

Das Überkorn für Lehmputze kann nach ÖNORM EN 1015-1 bestimmt und nach ÖNORM EN 13139 bezeichnet werden. Dabei muss dieses kleiner sein als die Mindestauftragsdicke des Lehmputzes.

Zu den Bestimmung nach ÖNORM EN 13139 definiert DIN 18947 noch eine weitere zusätzliche Korngruppe mit der Bezeichnung 0/0,5mm. Diese weist die gleichen Anforderungen an den Siebdurchgang wie für die Korngruppe 0/1 auf.

Produkteigenschaften für den Lehmmauermörtel

Allgemeines

Betreffend der Festlegungen an Anforderung, Prüfung und Kennzeichnung für den Lehmmauermörtel gibt es im deutschsprachigen Raum im Moment folgende Produktnorm:

DIN 18946, *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

Des Weiteren gilt für Mauermörtel allgemein die Europäische Grundlagennorm ÖNORM EN 998-2. Die nachfolgende Tabelle 49 enthält nun auf Basis der beiden Normen DIN 18946 und ÖNORM EN 998-2 eine Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen (=Prüfparameter, zweite Spalte) sowie Nennung der jeweiligen Referenzprüfverfahren (dritte Spalte). Die letzte Spalte dieser Tabelle bezieht sich auf die Bezeichnung einer Klasse sowie die dazugehörige Anforderung gemäß DIN 18946.

Man kann dabei erkennen, dass für den Lehmmauermörtel bis auf das Lineare Trockenschwindmaß es für die restlichen Prüfparameter bestehende fachverwandte Prüfnormen vorhanden sind.

Zu beachten ist an dieser Stelle auch, dass spezielle Anforderungen an die einzelnen Prüfparameter für das tragende und nicht tragende Mauerwerk zu berücksichtigen sind.

Tabelle 49: Zusammenfassung der Anforderungen an Lehmmauermörtel

Nr.	Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Klasse, Anforderung
1	Rohdichte	ÖNORM EN 1015-10	0,9: 810 bis 900kg/m ³ ^a 1,0: 910 bis 1000kg/m ³ ^a 1,2: 1010 bis 1200kg/m ³ ^b 1,4: 1210 bis 1400kg/m ³ ^b 1,6: 1410 bis 1600kg/m ³ ^b

Nr.	Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Klasse, Anforderung
			1,8: 1610 bis 1800kg/m ³ ^b 2,0: 1810 bis 2000kg/m ³ ^b 2,2: 2010 bis 2200kg/m ^{3b}
2	Lineares Trockenschwindmaß	DIN 18947:2024, 8.6	≤ 2,5% ≤ 4,0%
3	Druckfestigkeit	ÖNORM EN 1015-11	M1: ≥ 1,0N/mm ² M2,5: ≥ 2,5N/mm ²
5	Haftscherfestigkeit	ÖNORM EN 1015-12	M1: ≥ 0,05N/mm ² M2,5: ≥ 0,04N/mm ²
7	Wasserdampfdiffusionszahl	ÖNORM EN ISO 12572	deklarerter Wert
8	Wärmeleitfähigkeit		deklarerter Wert
9	Brandverhalten	ÖNORM EN 13501-1	deklarerter Wert
^a	Einzelwerte dürfen die Klassengrenzen um nicht mehr als 50 kg/m ³ unter- bzw. überschreiten.		
^b	Einzelwerte dürfen die Klassengrenzen um nicht mehr als 100 kg/m ³ unter- bzw. überschreiten.		

Rohdichte

Für das tragende Lehmmauerwerk gilt nach DIN 18946, dass der Lehmmauermörtel mindestens der Rohdichteklasse 1,6 zu entsprechen hat.

Druckfestigkeit

Für das tragende Lehmmauerwerk gilt nach DIN 18946, dass der Lehmmauermörtel mindestens eine Druckfestigkeit von 2,5 N/mm² aufzuweisen hat.

Für das nicht tragende Lehmmauerwerk gilt nach DIN 18946, dass der Lehmmauermörtel eine ausreichende Druckfestigkeit aufweisen muss. Dies gilt nach dieser Norm in der Regel bei einer Druckfestigkeit von 1 N/mm².

Haftscherfestigkeit

Für das tragende Lehmmauerwerk gilt nach DIN 18946, dass der Lehmmauermörtel mindestens eine Haftscherfestigkeit von 0,04 N/mm² aufzuweisen hat.

Überkorn

Das Überkorn wird durch Nasssiebung nach ÖNORM EN 1015-1 bestimmt und nach ÖNORM EN 13139 bezeichnet.

Produkteigenschaften für Lehmsteine

Allgemeines

Betreffend der Festlegungen an Anforderung, Prüfung und Kennzeichnung für Lehmsteine gibt es im deutschsprachigen Raum im Moment folgende Produktnorm:

DIN 18945, *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

Allgemein werden in Österreich die Anforderung an Mauersteine in der ÖNORM EN 771 behandelt. Dabei kann am ehesten für Lehmsteine Teil 1 herangezogen werden. Deser Teil behandelt Mauerziegel, die per Definition Mauersteine aus Ton oder tonhaltigen Stoffen sind, die bei ausreichend hoher Temperatur gebrannt werden. Ergänzende nationale Bestimmungen zur ÖNORM EN 771-1 enthält dabei ÖNORM B 3200.

ÖNORM EN 771, Festlegungen für Mauersteine, Teil 1: Mauerziegel¹⁰⁹

ÖNORM B 3200, Mauerziegel – Anforderungen, Prüfungen, Klassifizierung und Kennzeichnung –
Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 771-1

Die unterschiedlichen Prüfverfahren für Mauersteine werden in der Normenreihe ÖNORM EN 772 behandelt:

ÖNORM EN 772, Prüfverfahren für Mauersteine

Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit

Teil 6: Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Mauersteinen aus Beton

Teil 9: Bestimmung des Loch- und Nettovolumens sowie des prozentualen Lochanteils von Mauerziegeln und Kalksandsteinen mittels Sandfüllung

Teil 11: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von Mauersteinen aus Beton, Porenbetonsteinen, Betonwerksteinen und Natursteinen sowie der anfänglichen Wasseraufnahme von Mauerziegeln

Teil 13: Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohdichte von Mauersteinen (außer Natursteinen)

Teil 16: Bestimmung der Maße

Teil 20: Bestimmung der Ebenheit von Mauersteinen

Teil 21: Bestimmung der Kaltwasseraufnahme von Mauerziegeln und Kalksandsteinen

Teil 22: Bestimmung des Frost-Tau-Widerstandes von Mauerziegeln

Die nachfolgende Tabelle 50 enthält nun auf Basis der beiden Normen DIN 18945 und ÖNORM EN 771-1 eine Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen (=Prüfparameter, zweite Spalte) sowie Nennung der jeweiligen Referenzprüfverfahren (dritte Spalte). Die letzte Spalte dieser Tabelle bezieht sich auf die Bezeichnung einer Klasse sowie die dazugehörige Anforderung gemäß DIN 18945.

Die Konditionierung der Prüfkörper erfolgt in der Regel bei 23 ± 2 °C und 50 ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit bis zur Massenkonstanz.

Tabelle 50: Zusammenfassung der Anforderungen an Lehmsteine

Nr.	Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Klasse, Anforderung
	Lochung und Stege	ÖNORM EN 772-9	DIN 18945 definiert hier Werte für alle Anwendungsklassen betreffend Lochanteil und Dicke der Außen- und Innenstege
	Maße	ÖNORM EN 772-16	
	Steinrohdichte (=Bruttotrockenrohdichte)	ÖNORM EN 772-13	0,5: 410 bis 500kg/m ^{3 a} 0,6: 510 bis 600kg/m ^{3 a} 0,7: 610 bis 700kg/m ^{3 a} 0,8: 710 bis 800kg/m ^{3 a} 0,9: 810 bis 900kg/m ^{3 a}

¹⁰⁹ Teil 2: Kalksandstein, Teil 3: Mauersteine aus Beton, Teil 4: Porenbetonsteine, Teil 5: Betonwerksteine, Teil 6: Natursteine; für die Normenreihe ÖNORM EN 771 und EN 772 ist das CEN/TC 125 „Mauerwerk“ zuständig.

Nr.	Prüfparameter	Referenzprüfverfahren	Klasse, Anforderung
			1,0: 910 bis 1000kg/m ^{3 a} 1,2: 1010 bis 1200kg/m ^{3 b} 1,4: 1210 bis 1400kg/m ^{3 b} 1,6: 1410 bis 1600kg/m ^{3 b} 1,8: 1610 bis 1800kg/m ^{3 b} 2,0: 1810 bis 2000kg/m ^{3 b} 2,2: 2010 bis 2200kg/m ^{3b}
	Stoffrohdichte	ÖNORM EN 772-9 ÖNORM EN 772-13	
3	Druckfestigkeit	ÖNORM EN 772-1	2: $f_{st}=2,5N/mm^2$, $f_{st,min}=2,0N/mm^2$ 3: $f_{st}=3,8N/mm^2$, $f_{st,min}=3,0N/mm^2$ 4: $f_{st}=5,0N/mm^2$, $f_{st,min}=4,0N/mm^2$ 5: $f_{st}=6,3N/mm^2$, $f_{st,min}=5,0N/mm^2$ 6: $f_{st}=7,5N/mm^2$, $f_{st,min}=6,0N/mm^2$
	Tauchprüfung ^c	DIN 18945	AK Ia, Ib: ≤5%, AK II: ≤20%,
	Kontaktprüfung ^c	DIN 18945	keine Risse oder Quellverformungen
	Saugprüfung ^c	DIN 18945	AK Ia≥24h, AK Ib≥3h, AK II≥0,5h
	Frostprüfung ^d	DIN 18945	AK Ia≥15, AK Ib≥5Zyklen
7	Wasserdampfdiffusionszahl	ÖNORM EN ISO 12572	deklarerter Wert
8	Wärmeleitfähigkeit		deklarerter Wert
9	Brandverhalten	ÖNORM EN 13501-1	deklarerter Wert
^a	Einzelwerte dürfen die Klassengrenzen um nicht mehr als 50 kg/m ³ unter- bzw. überschreiten.		
^b	Einzelwerte dürfen die Klassengrenzen um nicht mehr als 100 kg/m ³ unter- bzw. überschreiten.		
^c	Für Lehmsteine der Anwendungsklasse AK III gibt es keine Anforderungen		
^d	Für Lehmsteine der Anwendungsklasse AK II und AK III keine Anforderungen		

Anwendungsklassen

ÖNORM EN 771-1 unterscheidet Ziegeln gemäß ihrer Verwendung folgendermaßen:

- P-Ziegel: Mauerziegel zur Verwendung im geschützten Mauerwerk
- U-Ziegel: Mauerziegel zur Verwendung im ungeschützten Mauerwerk

Die Anwendung von Lehmsteinen fällt damit in die Kategorie von P-Ziegeln.

DIN 18945 unterteilt Lehmsteine in vier unterschiedliche Anwendungsklassen (AK), die allesamt im geschützten Bereich liegen:

- verputztes, der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk von Sichtfachwerkwänden: AK Ia
- durchgängig verputztes, der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk: AK Ib
- konstruktiv witterungsgeschütztes Außenmauerwerk (z. B. durch Verkleidung, WDVS), Innenmauerwerk: AK II
- trockene Anwendungen (z. B. Deckenfüllungen, Stapelwände): AK III

Nach DIN 18940 sind für tragende Wände AK Ia, AK Ib und AK II anwendbar.

Da in Österreich die Ausführung von Sichtfachwerkwänden so gut wie kaum vorkommt, könnten die Anwendungsklasse AK Ia und AK IB zu einer Klasse zusammengeführt werden, und zwar als ein durchgängig verputztes der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk mit der Abkürzung AK I.

Form und Formate

Die Form eines Lehmsteines muss nach DIN 18945 die Gestalt eines Quaders aufweisen, und darf an den Stirnflächen Nut- und Federsysteme aufweisen. Zur besseren Putzhaftung sind Profilierungen an den Seitenflächen zulässig. Diese wird an sechs Lehmstein geprüft.

Diese Vorgaben sind auch gleich der ÖNORM EN 771-1 zur Definition eines Mauerziegels. Dabei ist die Form beim Normalmauerstein allseitig von Rechtecken begrenzt und als Verbindungssysteme sind Nut- und Federsysteme zulässig. Gleiches gilt für die Anordnung bspw. von Rillen zur besseren Putzhaftung.

DIN 18945 enthält auf Basis der Maße mit Nennmaß und Maßspanne Beispiele für unterschiedliche Formate: z.B. NF (Normalformat) mit folgenden Nennmaßen, die über das arithmetische Mittel aus je zwei Messungen bestimmt werden:

- Länge $l = 240\text{mm}$,
- Breite $b = 115\text{mm}$ und
- Höhe $h = 71\text{mm}$.

Bei Steinen mit einem Lochanteil ist dieser ebenfalls zu ermitteln und kann im Zweifel analog zur ÖNORM EN 772-9 ermittelt werden.

Generell könnte für Maße, Formate und Ausbildung aber auch die Anforderungen der ÖNORM EN 771-1 angewendet werden.

Stein- und Stoffrohddichte

Die Steinrohddichte wird aus der Masse bezogen auf das Volumen des Lehmsteins einschließlich vorhandener Löcher berechnet. Zur Ermittlung der Stoffrohddichte wird nun als Volumen das Nettovolumen des Ziegels herangezogen. Einzelergebnisse und Mittelwert werden auf zwei Nachkommastellen in kg/m^3 angegeben.

Druckfestigkeit

Nach ÖNORM EN 772-1 sind für alle Mauerziegel vom Hersteller immer die mittlere und die normierte Druckfestigkeit anzugeben. Dabei enthält ÖNORM EN 772-1 Hinweise zur Umrechnung der Druckfestigkeit auf die normierte Druckfestigkeit. Dies ist zunächst abhängig von der Art der Konditionierung auf eine äquivalente Druckfestigkeit umzurechnen. Der Umrechnungsfaktor liegt dabei zwischen 0,8 und 1,2. Werden die Mauerziegel zum Erreichen der Konditionierung des lufttrockenen Zustandes mit einer Temperatur $\geq 15^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeucht $\leq 65\%$ gelagert¹¹⁰, so ist die aus der Prüfung erhaltene Druckfestigkeit mit dem Faktor 1,0 auf eine äquivalente Druckfestigkeit umzurechnen, also damit gleich der aus den Versuchen erhaltenen Druckfestigkeit.

Um nun die normierte Druckfestigkeit f_b zu erhalten, ist die äquivalente Druckfestigkeit des Mauersteines noch um einen Formfaktor d zu multiplizieren. Dieser ist von der Breite und der Höhe des Mauersteines abhängig.

Ähnlicher Vorgang findet sich auch in der DIN 18945. Auch hier werden die Versuchsergebnisse um einen Formfaktor F multipliziert. Auf einen Umrechnungsfaktor auf Grund der Konditionierung wird

¹¹⁰ ÖNORM EN 772-1, 7.3.2 a)

nicht näher beschrieben. Was sich auch mit der ÖNORM EN 772-1 deckt, da dieser bei $23 \pm 2 \text{ °C}$ und $50 \pm 5 \text{ \%}$ 1,0 ist.

In der Probenanzahl mit mindestens sechs Prüfkörper und in der Vorbereitung der Prüfkörper-Oberfläche mit Abgleichen oder Abschleifen sind beide Normen nahezu ident in den Vorgaben. Nach DIN 18945 erfolgt das Abgleichen der Druckflächen oder Fugen im Probekörper über einen Zementmörtel (alternativ auch Gips zulässig). Auf das Abgleichen kann verzichtet werden, wenn der Probekörper planparallel und eben geschliffen werden kann.

Lehmstein mit Nennhöhen $\leq 71\text{mm}$ sind normal zur Längsachse zu halbieren. Die Schlankheit h/b des Prüfkörpers muss dabei ≥ 1 sein. Die Hälften sind aufeinander zu mauern, so dass die Schnittflächen gegenläufig liegen. Lehmsteine mit Nennhöhen $> 71\text{mm}$ sind am ganzen Lehmstein zu prüfen.

Bei der Prüfung nach DIN 18945 muss der Druck stets senkrecht auf die Ziegelfläche wirken, wobei der Bruch innerhalb von 30 bis 90 s eintreten soll. Aus der Höchstlast kann dann die Druckfestigkeit f_{St} berechnet werden. Die Prüffläche ist dabei die volle umschlossene Querschnittsfläche des Probekörpers. Für die Deklaration der Lehmsteine ist vom Hersteller der Mittelwert und kleinste Einzelwert für die Druckfestigkeit f_{St} anzugeben, wobei alle Werte mit dem Formfaktor zu beaufschlagen sind.

Lehmsteine für nichttragendes Mauerwerk müssen nach DIN 18945 eine ausreichende Festigkeit für ihre Anwendung aufweisen. Dies ist in der Regel bei einer Druckfestigkeit von 1N/mm^2 der Fall.

Verhalten unter Feuchte und Frosteinwirkung

Um das Verhalten von Lehmsteinen unter Feuchte- und Frosteinwirkung zu prüfen, kennt die DIN 18945 folgende Prüfungen:

- Tauchprüfung,
- Kontaktprüfung,
- Saugprüfung,
- Frostprüfung.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden diese Prüfverfahren nicht näher in praktischen Versuchen untersucht. Dennoch werden sie an dieser Stelle kurz näher vorgestellt.

Tauchprüfung

Dazu werden drei Lehmstein bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte bis zur Massekonstanz konditioniert. Danach werden die Lehmstein stirnseitig 10cm tief in ein Wasserbecken für zehn Minuten eingetaucht. Der Materialverlust ist anschließend zu filtern, zunächst bei 40°C zu trocknen und danach bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte bis zur Massekonstanz zu konditionieren.

Der Tauchverlust ist das Verhältnis (gerundet auf 1%) aus der Masse des im Tauchverlust gewonnen Filtrates bezogen auf die Ausgangsmasse des Lehmsteins.

Kontaktprüfung

Dazu werden drei Lehmstein bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte bis zur Massekonstanz konditioniert. Danach wird auf der zum Verputzen vorgesehen Seite eine Zellstoff-Vliesstoff-Kompresse in der Größe des Ziegels aufgelegt (ein- und mehrlagig), das mit $0,5\text{g Wasser/cm}^2$ -Steinfläche bei AKII und $1,0\text{g Wasser/cm}^2$ -Steinfläche bei AKIa und AKIb gleichmäßig getränkt wurde.

Anschließend werden die Prüfkörper für 24h in einem geschlossenen Behälter gelagert. Danach werden die Prüfkörper bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte gelagert und nach zwei Tagen dessen Oberfläche auf Risse und Quellverformungen augenscheinlich beurteilt.

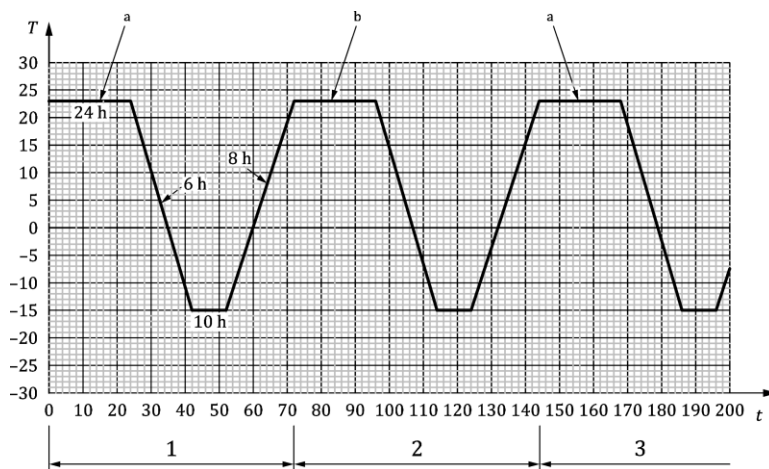
Saugprüfung

Dazu werden drei halbe Lehmstein bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte bis zur Massekonstanz konditioniert. Danach werden in einer Wanne kapillar leitfähige Ziegelsteine gelegt, und diese 1mm bis 5mm unter der Oberkante der Steine mit Wasser gefüllt. Auf die Ziegel werden nun Schwammtücher gelegt. Die Lehmstein sind dann mit ihrer Lagerfläche auf die Schwammtücher zu legen. Deren Zustand wird dann nach 30min, 3h und 24m augenscheinlich begutachtet. Der Versuch gilt als bestanden, wenn sie zum jeweiligen Zeitpunkt keine Risse durch Quellen zu erkennen sind.

Frostprüfung

Dazu werden drei Lehmstein bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte bis zur Massekonstanz konditioniert. Danach werden die Lehmsteine auf die lange Seite gestellt. Auf der gegenüberliegenden Seite wird nun eine geeignete Zellstoff-Vliesstoff-Kompresse in der Größe der Steinfläche aufgelegt, die mit 0,5g Wasser je cm² Steinfläche gleichmäßig getränkt wird. Danach startet die Frostprüfung nach einem vorgegebenen Temperaturverlauf, siehe Abbildung 9.

Abbildung 9: Temperaturverlauf während einer Frostprüfung nach DIN 18945



Legende: t Angaben in Stunden, T Angaben in °C, 1 Zyklus 1, 2 Zyklus 2, 3 Zyklus 3, a Befeuchtung über Vlies und Lagerung in geschlossenem Behälter (alle zwei Zyklen), b Lagerung in geschlossenem Behälter

Nach jedem Zyklus sind die Oberflächen augenscheinlich auf mögliche Rissbildungen oder Querverformungen zu prüfen und zu dokumentieren.

4.3. Ergebnisse

4.3.1. Vorgaben aus dem Bautechnikgesetzen/Bundesvergabegesetz

Auf Basis der durchgeführten Befragungen der Expert:innen zu den jeweiligen Themengebieten wurden die Ergebnisse für folgende Themengebiete zusammengefasst:

- Vergabe von Bauleistungen und Normung
- Lehmbaustoff als Bauprodukt
- Baulehmgewinnung (Aushub – Abbau)
- Planung und Ausführung von Lehmbau

Vergabe von Bauleistungen und Normung

Vergabe von Bauleistungen

Die früher bestehende Normenbindung durch das Bundesvergabegesetz ist in der aktuell gültigen Fassung nicht mehr vorhanden. Entscheidend ist jedoch, wie dies der öffentliche Auftraggeber weiterhin lebt, und da kann man festhalten, dass für den Ausschreibenden grundsätzlich die Normung eine „gewisse“ Rechtssicherheit darstellt und damit führt der Weg nun wieder indirekt zurück zur Normung.

Zu dem Themenfeld „Regulatorische Rahmenbedingungen am Bausektor“ erfolgte im Zeitraum von 2022 bis 2024 durch die Technische Universität Wien, FH Campus Wien sowie der For Forest Forever GmbH unterstützt durch die Rechtsanwaltskanzlei Schönherr eine systematische Erhebung, ob in Österreich unter den derzeit bestehenden Bedingungen, ein ökologisches Bauen überhaupt möglich ist. Als Schlussfolgerung aus diesem Projekt wurde festgehalten, dass es sehr wohl einen klaren Bedarf gibt, das nachhaltige Bauen und Sanieren an den regulatorischen Rahmenbedingungen anzupassen. Dadurch könnten die erhöhten Kosten, die im Moment noch für das nachhaltige Bauen bestehen, reduziert werden. Ferner zeigte das Projekt auf, dass ein teilweise zu hohes Schutzniveau besteht. Daher liefert man als Empfehlung, dass in der gegenwärtigen Situation von Klimaherausforderungen sich auf jene Regelungen zu beschränken, die auf den Schutz der Gesundheit und Sicherheit sich beziehen. Als Beispiel wird hier das Komfortniveau etwa in Bezug auf die Raumhöhe genannt. Als Schlussfolgerung zeigt das Forschungsprojekt auf, dass gerade für das nachhaltige Bauen das Instrument einer „*Regulatory Sandbox*“ hilfreich wäre, um möglichst rasch und einfach durch Forschung und Entwicklung eine entsprechende Durchdringung einer nachhaltigen Bautechnik zu ermöglichen. Bestehende Normen/Regelungen sind eine Folge aus der Entwicklung von fossilbasierten Baustoffen. Die Bauweise hat sich dann sehr stark an diese angepasst. Um nun auch eine Dekarbonisierung im Bausektor erreichen zu können, ist demnach eine regulatorische Weiterentwicklung unabdingbar. ¹¹¹

Die immer stärker wirkende Digitalisierung, auch im Bausektor Stichwort „Building information modelling (BIM)“ oder bei der Ausschreibung „digitale Vergabe“, bietet ebenfalls ein mächtiges Tool, um neben der Verwendung von ökologischen Baustoffen auch die Kreislauffähigkeit dieser Produkte besser abbilden zu können. So könnte jeder eingebaute bzw. verwendete Baustoff schon im digitalen Modell genau beschrieben und definiert werden und das nicht nur für den Verwendungszeitraum,

¹¹¹ Forschungsprojekt: Green SandboxBuilder (Zeitraum 2022-2024), siehe auch URL: <https://projekte.ffg.at/projekt/4425010> (Zugriff am 06.08.2024)

sondern auch für dessen Wieder-/Weiterverwendung. Das heißt, dass bereits in der Planung der gesamte Kreislauf des Bauproduktes definiert bzw. im digitalen Modell sichtbar aufgezeichnet werden sollte. Damit würde ein verbesserter Ablauf für die Kreislauffähigkeit im Baubereich sichergestellt werden.

Normung

In §106 (2) e) des BVerG werden nationale Normen genannt und folgendermaßen definiert: „*Norm, die von einer nationalen Normungsorganisation angenommen wurde und der Öffentlichkeit zugänglich ist.*“¹¹² Die Frage ist nun, wie dieser Passus in Österreich verstanden wird, also wer aller unter den nationalen Normungsorganisationen herangezogen werden kann, damit ein geplantes Bauprojekt auch eine baurechtliche Genehmigung erhält. Wäre dies neben Austrian Standards Institute für Österreich beispielsweise auch das deutsche Normungsinstitut (DIN), um eine Organisation stellvertretend für den europäischen Raum zu nennen? Oder fallen darunter auch internationale Organisationen wie beispielsweise Neuseeland, die mit einem eigenen umfangreich Normenpaket zum Lehmbau ein interessantes normatives Grundlagenwerk schafften.

In diesem Fall liegt die Beantwortung in der Bewertung bzw. Betrachtung des Schutzniveaus. In Wien liefert beispielsweise das Wiener Bautechnikgesetz in diesem Zusammenhang eine klare Vorgabe. Dazu steht im §2 folgende Festlegung:

„§ 2. Von den in den Anlagen enthaltenen Richtlinien kann abgewichen werden, wenn die Bauwerberin oder der Bauwerber nachweist, dass das gleiche Schutzniveau wie bei Anwendung der Richtlinien erreicht wird.“

Es gilt daher, dass die Bauwerber:In oder die Planer:In der Behörde nachweisen muss, dass die abweichende bzw. verwendete Richtlinie das geforderte Schutzniveau einhält. Davon wird aus der Sicht der Baupolizei MA 37 in der Regel bei DIN-Normen ausgegangen. Das heißt, sämtliche DIN-Normen zum Lehmbau wären über diese Grunddefinition automatisch in Österreich anwendbar. Eine Übernahme zu einer ÖNORM DIN wäre aus Sicht der Behörde zwar hilfreich jedoch nicht zwingend erforderlich.

Anders würde es sich etwa bei den neuseeländischen Normen verhalten. Hier wäre es zunächst unabdingbar nachzuweisen, dass im Sinne der Wiener Bautechnikverordnung das gleiche Schutzniveau in der Norm berücksichtigt wird, was etwa beispielsweise in Bezug auf die Bemessungsnachweise für tragende Bauteile durchaus eine Schwierigkeit sein könnte (Stichwort Eurocode, semiprobabilistische Sicherheitskonzept). Bestätigt jedoch die Planer:In, dass auch diese Normenreihe das gleiche Schutzniveau aufweist, wären auch diese Normen rein theoretisch für die Anwendung in Österreich denkbar.

Der einfachere oder klarere Weg wäre der, die bestehenden regionalen Normen über das österreichische Normungsinstitut (ASI) als ÖNORM zu publizieren. Grundsätzlich ist es nämlich möglich, jede regionale Norm als ÖNORM zu publizieren. Dies gilt natürlich für sämtliche Standards, etwa auch für ISO-Normen, wo dies bereits eine gelebte Praxis darstellt, beispielsweise für Normen aus dem Qualitätsmanagementbereich:

¹¹² (Bundesvergabegesetz) §2, 25.

ISO 10001 → ÖNORM ISO 10001.¹¹³

Für den Lehm- und Ziegelbau könnten so die Lehm- und Ziegelbaunormen aus Deutschland übernommen und als ÖNORM wie folgt publiziert werden, hier am Beispiel Lehmputz:

DIN 18947 → ÖNORM DIN 18947.

Dabei führt Austrian Standards nicht nur den Prozess zur Übernahme einer regionalen Norm in eine ÖNORM durch, sondern stellt auch Expertise und Wissen für eine mögliche Übersetzung von Standards etwa aus dem Englischen in die deutsche Sprache zur Verfügung.

Die Prüfung, ob ein regionaler Standard als ÖNORM übernommen wird, liegt prinzipiell in den Händen des für den jeweiligen Fachbereich zuständigen Komitees. Dieses entscheidet anhand eines klar definierten Übernahmeprozesses (abgebildet in der ASI-Geschäftsordnung) über die Aufnahme eines regionalen Standards in das österreichische Normenwerk.

Im österreichischen Normungsinstitut gibt es bislang keinen eigenen Ausschuss, der sich mit ökologischen Baustoffen oder gar Lehm- und Ziegelbau beschäftigt. Das heißt für den Lehm- und Ziegelbau gäbe es grundsätzlich zwei Wege, um das Thema in die Standardisierung überführen zu können:

- Variante 1: allgemeiner Antrag an die Leitung von Austrian Standards Institute auf Gründung eines Komitees zum Lehm- und Ziegelbau zur Ausarbeitung eigener Lehm- und Ziegelbaunormen inklusive möglicher Übernahme der bestehenden DIN-Normen als ÖNORM DIN.
- Variante 2: Prüfung der bestehenden Komitees im ASI, wo man am besten das Thema Lehm- und Ziegelbau subsumieren könnte. Das wäre wohl am ehesten das Komitee 207 mit dem Titel: „*Wände - Produkte und Konstruktion*“. An dieses Komitee könnte man beispielsweise einen Projektantrag stellen zur Ausarbeitung einer eigenen ÖNORM zum Lehm- und Ziegelbau oder zur Übernahme bestehender regionaler Lehm- und Ziegelbaunormen.

Vergleicht man beide Variante, zeigt sich, dass Variante 2 wohl zielführender und schneller in der Umsetzung sein könnte, und falls der Normungsaufwand für den Themenbereich Lehm- und Ziegelbau sich als intensiver als gedacht gestalten sollte, so könnte zu einem späteren Zeitpunkt immer noch die Gründung einer eigenen Arbeitsgruppe oder einem selbständig agierenden Komitee erfolgen.

Neben diesen beiden aufgezeigten Möglichkeiten, wie man normative Grundlagendokumente schaffen könnte, wäre auch die Erstellung von ersten technischen Empfehlungen für einzelne Themenbereiche durch beispielsweise einem Fachverband oder einer Interessensvertretung denkbar. Diese Dokumente könnten dann als mögliche Grundlage dienen, um sie später in eine ÖNORM überführen zu können. Vergleichbare Beispiele aus der Vergangenheit gibt es genügend, wie etwa die bestehende Gründachnorm ÖNORM L 1131, welche auf diese Weise zu einer ÖNORM wurde.¹¹⁴

Für Österreich wäre der Fachverband Netzwerk Lehm prädestiniert, um diese Rolle einnehmen zu können. Aus diesem Grund wurde im September 2023 eine eigene Arbeitsgruppe in diesem Fachverband gegründet mit der Zielsetzung der Ausarbeitung von Technischen Empfehlungen für den Lehm- und Ziegelbau. Im April 2024 erfolgte dann bereits die erste Publikation einer solchen Empfehlung, und zwar ein Anwendungsdokument zur bestehenden Innenputznorm ÖNORM EN 13914-2 für

¹¹³ ÖNORM ISO 10001, *Qualitätsmanagement - Kundinnen- und Kundenzufriedenheit - Leitfaden für Verhaltenskodizes für Organisationen (ISO 10001:2018)*

¹¹⁴ (ÖNORM L 1131, 2010)

Lehmputze. Grundsätzlich lässt auch ASI diesen Weg zu, solange natürlich keine Copyright-Verletzungen entstehen. Sollte sich dieses Dokument in der Praxis als anwendungstauglich herausstellen, wäre natürlich der logische nächste Schritt die Überführung der Inhalte dieser Technischen Empfehlung in die bestehenden Umsetzungsnorm für Innenputze ÖNORM B 3346 durchzuführen.¹¹⁵

Abschließend bietet auch das Normungsinstitut eine von den technischen Komitees unabhängige Publikationsschiene an, wo unterschiedliche Themen über die Normung in Buchform veröffentlicht werden. Auch dies könnte ein möglicher gangbarer Weg sein, dass über Austrian Standards eine vertiefende Publikation zum Lehmputz zu den unterschiedlichen Verweisen auf bestehenden weltweit gültiger Lehmputznormen unter Berücksichtigung von den derzeit gültigen fachverwandten Baunormen aufzeigt.

Lehmputz als Bauprodukt

Prinzipiell ist festzuhalten, dass die Bautechnikgesetze baustoffneutral formuliert sind. In diesen werden lediglich die Grundanforderungen an das Bauwerk definiert hinsichtlich

- mechanischer Festigkeit und Standsicherheit (OIB-Richtlinie 1),
- Brandschutz (OIB-Richtlinie 2),
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz (OIB-Richtlinie 3),
- Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit (OIB-Richtlinie 4),
- Schallschutz (OIB-Richtlinie 5),
- Energieeinsparung und Wärmeschutz (OIB-Richtlinie 6),
- sowie nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen, (OIB-Richtlinie 7).

Für alles, was das Bauprodukt selbst betrifft, ist das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) verantwortlich mit folgenden Zuständigkeiten:

- Kennzeichnung und Zulassung von Bauprodukten,
- Marktüberwachung/Marktüberwachungsbehörde,¹¹⁶
- Produktinformationsstelle.

Laut Auskunft bei OIB bestehen derzeit in Österreich keine europäische Kennzeichnungs- oder Zulassungspflichten für ein „Lehm“-Bauprodukt. Das bedeutet auch, dass es

- kein Mandat gibt zur Ausarbeitung von Normen für ein „Lehm“-Bauprodukt, daher auch
- keine harmonisierte Norm (hEN) vorliegt, und es
- kein CE-gekennzeichnetes „Lehm“-Bauprodukt am Markt vorhanden ist.

Ferner gibt es auf europäischer Ebene keine Europäische Technische Bewertung (ETB) zu einem „Lehm“-Bauprodukt.

Für Bauprodukte, für die es keine harmonisierte Norm gibt und keine Europäische Technische Bewertung vorhanden ist, können nationale Kennzeichnungs- und Zulassungssysteme erstellt werden. Auch dazu hält das OIB folgendes fest, dass es derzeit

¹¹⁵ (ÖNORM B 3346, 2019)

¹¹⁶ Die Marktüberwachungsbehörde kontrolliert, ob das auf dem Markt bereitgestellte Bauprodukt, alle rechtlichen Anforderungen erfüllt und Gesundheit sowie Sicherheit nicht gefährdet. Vgl. URL: <https://www.oib.or.at/de/marktueberwachung>, [Zugriff am 6.8.2024]

- kein ÜA-Zeichen für ein „Lehm“-Bauprodukte gibt und daher
- keine Nennung in der Baustoffliste ÖA vorhanden ist.

Unter diesen genannten Umständen hält das OIB für das Verwenden eines „Lehm“-Bauprodukt folgendes fest:

„[...] Damit gelten die sehr ähnlichen Passagen der Bauprodukte- und Marktüberwachungsgesetze der Länder für sogenannte sonstige oder unregelte Bauprodukte, die verwendet werden können, wenn sie sonstigen landesgesetzlichen Bestimmungen entsprechen. Diese wenig konkrete Formulierung bedeutet in erster Linie, dass das Produkt geeignet sein muss, die Anforderungen an das konkrete Bauwerk, insbesondere hinsichtlich Grundanforderungen an Bauwerke gemäß OIB-Richtlinien zu erfüllen.

Die dafür notwendigen Produktleistungen sind auf geeignete Weise gemäß Stand der Technik nachzuweisen. Da für unregelte Bauprodukte in Gegensatz zu harmonisierten keine wesentlichen Merkmale und deren Bewertungsmethoden festgelegt sind, bleibt hier ein gewisser Interpretationsspielraum bestehen, der durch eine (gesetzlich nicht verbindliche) Norm als Stand der Technik ausgefüllt werden kann. Besteht keine österreichische Norm, so spricht nichts dagegen, geeignete Normen anderer Mitgliedstaaten heranzuziehen, solange die Definitionen der Produkteigenschaften mit den österreichischen Anforderungen an das Bauwerk kompatibel sind.

Eine freiwillige, österreichische Bautechnische Zulassung (BTZ) oder eine Europäische technische Bewertung (ETA) ist für einen bestimmten Produkttyp eines bestimmten Herstellers möglich, kann am OIB erstellt werden und beantwortet die Frage nach der bautechnischen Verwendbarkeit. Die Nachhaltigkeit des Produkts kann im Rahmen dieser Zulassungen derzeit allerdings nicht bewertet werden, es bestehen aber dazu auch noch keine gesetzlichen Anforderungen.“¹¹⁷

Baulehmgewinnung

Prinzipiell ist immer zu unterscheiden, woher der Baulehm stammt. Demzufolge gibt es zwei Varianten:

Variante 1: Aushub im Zuge einer Baumaßnahme z.B. Aushub einer Baugrube zur Errichtung eines Kellers oder Linienbaustelle bei Projekten im Bereich Verkehrswegebau. Dann gelten die Regelungen gemäß Bundesabfallwirtschaftsplanes.

Variante 2: Abbau in einer Lehmgrube. Dann gilt das Mineralrohstoffgesetz und nicht der Bundesabfallwirtschaftsplan.

¹¹⁷ Schriftliche Stellungnahme OIB vom 23.11.2023

Dabei ist ein optimaler Weg für einen Lehmbaustoff-Produzenten eine Schürfgewinnung von Lehmgruben nach dem MinroG zu erwirken, die ein nahezu homogenes Grundmaterial aufweist. Dies stellt in der Regel eine gängige Praxis dar.

Zum Unterschied dazu ist der Bodenaushub (Variante 1) ein zufällig anfallendes Material, das zum einen stets auf dessen geotechnischen und chemischen Eigenschaften zu prüfen ist, und zum anderen zumeist heterogen zusammengesetzt ist und somit für den Fertigungsprozess, um einen gleichmäßigen Baulehm zu erhalten, gewisse Herausforderungen an die Prozesskette mit sich bringt. Hat also bspw. ein Lehmbaustoff-Produzent seinen internen Herstellungsprozess für eine bestimmte Bodenbeschaffenheit abgestimmt, dann birgt das Beziehen von einem heterogen-beschaffenen Bodenaushubmaterial einen Mehraufwand, um diesen in dessen bestehende Prozesskette einpflegen zu können.

Daher könnte der Weg ein umgekehrter sein, und zwar ein Verfahren zu generieren, das im Herstellungsprozess diese Vielfalt an unterschiedlichen Bodenausgangsstoffen zulässt. Auch hier kann man noch einen großen Forschungs- und Entwicklungsbedarf detektieren. Ferner ist zu bedenken, dass die Kosten in der Herstellung nicht beim Bodenmaterial selbst liegen, sondern in der Schaffung einer entsprechenden Maschinenteknik. Das heißt, wenn diese nicht von Grund auf ein flexibles Grundmaterial zulässt, dies zur Folge hat, dass in der Regel erhöhte Herstellungskosten auf Grund eines möglichen Adaptierens der Prozesskette mit sich bringt. Abschließend sollte man bedenken, dass viele Verfahrenstechniken für die Herstellung von anderen Baustoffen bereits existieren, auf deren Kenntnisse man einfach zurückgreifen könnte (bspw. bestehende Verfahrenstechniken zur Homogenisierung in der Zementindustrie).

Es gibt aber auch Bodenarten, wie etwa Aushubmaterial aus der Flysch Zone in Vorarlberg, die sich von Natur aus ideal für den Stampflehmbau eignet und wo kaum eine Anpassung notwendig ist. Dieser Boden wäre dann auch wie geschaffen für das Arbeiten vor Ort in sogenannten „Feldfabriken“. Zum Unterschied dazu wäre beim Wiener Tegel, der einen sehr hohen Tonanteil aufweist und der gerade jetzt im Wiener U-Bahnbau in großen Mengen anfällt, es zunächst notwendig macht, durch eine möglicherweise relativ hohe Zugabe von mineralischen Zuschlagstoffen entsprechend abzumagern, um einen passenden Lehmbaustoff herstellen zu können. Diese beiden Fälle in Vorarlberg und Wien zeigen anschaulich die mögliche Unterschiedlichkeit im Lehmbau in Bezug auf Baulehmgewinnung.

Wie bereits erwähnt verbleibt heute zumeist der Bodenaushub ohne weitere bautechnische Verwendung und wird gemäß Abfallgesetz einer Deponierung zugeführt. Dabei wird jener Aushub, der einen entsprechenden Tonanteil aufweist, noch zumindest als natürliches Abdichtungsmaterial im Deponiebau verwendet. Eine weitere gängige Anwendung wäre noch im Zug der Errichtung von Gewässerschutzanlagen oder Teichbauten die Verwendung von Lehmschlag als eine natürliche Abdichtungsebene. Aber sonst ist man bald am Ende von möglichen bautechnischen Anwendungen von Bodenaushubmaterial.

In Wien gibt es durch das Wiener Naturschutzgesetz eine weitere mögliche Vorgabe, die für den Lehmbau interessant sein könnte. Die Fragestellung ist wieder Aushub oder Abbau von Lehm. Spricht man von Abbau, dann handelt es sich um eine Gewinnung von Mineralien, das wiederum aus der Abfallwirtschaft ausgenommen ist. Falls ein Schürfrecht im Sinne des MinroG nicht angesucht wird, könnte auch §18 des Wiener Naturschutzgesetzes zur Anwendung kommen, denn dieses besagt:

„§ 18. (1) Folgende Maßnahmen bedürfen im gesamten Gebiet der Bundeshauptstadt Wien einer Bewilligung der Behörde:

1. die Errichtung und wesentliche Änderung von Anlagen zur Gewinnung oder Aufbereitung von Bodenschätzen, [...]"¹¹⁸

Bodenaushub

In den Gesprächen mit den Expert:Innen zeigte sich, dass es um das Thema Bodenaushub derzeit Überarbeitungen zum bestehenden regulatorischen Rahmenwerk gibt.

So ist die Schaffung einer eigenen Verordnung zum Thema Aushub (neu: „Aushub-Verordnung“) geplant. Dieser Umstand führt wieder dazu, dass alle anderen gesetzlichen Vorgaben, die im Zusammenhang mit dem Aushub stehen zu überprüfen und gegebenenfalls zu überarbeiten sind.

Als Konsequenz daraus wurde in den Gesprächen mit den Expert:Innen immer sowohl die aktuelle Situation als auch die mögliche künftige Situation betrachtet. Diese beiden Szenarien werden hier nochmals ausführlich erklärt auf Basis der durchgeführten Gespräche.

Aktuelle Situation

In weiterer Folge werden die unterschiedlichen wesentlichen Zusammenhänge und Begriffe, die für die Verwendung von Bodenaushub relevant sind, näher erläutert.

Kleinmengenregelung – 2000 Tonnen Aushub

Die in der Deponieverordnung genannte Kleinmengenregelung besagt, ob man den Aushub untersuchen muss oder nicht. Bei weniger als 2000 Tonnen Bodenaushub gibt es eine Erleichterung und man geht davon aus, dass das Material nicht kontaminiert ist, wenn keine Kontaminationsneigung erkennbar ist, beispielsweise sich der Aushub auf der grünen Wiese befindet. Die Festlegung, ob das Material kontaminiert ist, erfolgt also über eine Herkunftsbeurteilung.

Ab 2000 Tonnen Bodenaushub ist in jedem Fall eine detaillierte chemische Untersuchung durchzuführen und es ist der Bundesabfallwirtschaftsplan zu berücksichtigen.¹¹⁹ Wird der Bodenaushub vor Ort verwendet, dann ist dieser in dessen natürlichen Zustand zu belassen. Eine detaillierte chemische Untersuchung des Materials ist aber trotzdem durchzuführen.

Wenn die chemische Untersuchung ergibt, dass der Bodenaushub nicht kontaminiert ist, stellt sich nur noch die formale/rechtliche Frage, wer gibt wem was.

Abfallbehandler

Besteht eine Entledigungsabsicht des Aushubes, muss der, der den Aushub übernimmt, Abfallbehandler sein. Dabei ist zu beachten, dass jeder Abfall eine Schlüsselnummer erhält. Mit dem übernommenen Aushub könnte dann der Abfallbehandler einen Lehmstoff produzieren. Der gewonnene Baustoff beispielsweise Lehmstein ist jedoch dann immer noch als Abfall zu betrachten. Das bedeutet, um nun den Lehmstein weiterverarbeiten zu können, muss dessen Verarbeiter weiterhin eine Abfallbehandler-Erlaubnis besitzen.

Falls man den Aushub direkt auf der Baustelle zu einem Lehmstoff verarbeiten möchte, ist die Frage, wenn man sich nicht den Bodenaushub entledigen möchte und der Bodenaushub nicht

¹¹⁸ URL: <https://ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrW&Gesetzesnummer=20000454> (Zugriff am 6.8.2024)

¹¹⁹ (Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023) 3.3.22

kontaminiert ist, ob man dann noch immer von Abfall sprechen muss. Jedoch um einfach sicher zu gehen, sollte der Hersteller von Lehmsteinen aus Bodenaushub nach derzeitigem Abfallrecht immer Abfallbehandler sein.

Herstellung eines Lehmbaustoffes aus Bodenaushub, zwei mögliche Szenarien

Szenarium 1: Eine Baufirma kommt für den Bauherrn auf die Baustelle und stellt in Lohnarbeit aus dem anfallenden Aushub (=Abfall?) z.B. einen Lehmstein her. Nach Herstellung des Lehmsteins wird dieser wieder dem Bauherrn übergeben (quasi als ob ein Baggerfahrer auf der Baustelle den Aushub bewegt). In diesem Fall könnte man behaupten, dass wenn der Lehmstein vor Ort hergestellt wurde, dieser dann kein Abfall darstellt. Man muss aber beachten, dass nach heutiger Rechtsauslegung dieser Fall nicht klar rechtlich definiert ist. Also im Streitfall könnte anlassbezogen entschieden werden und es könnte doch noch so entschieden werden, dass der Aushub sehr wohl als Abfall betrachtet wird. Um diesen Umstand vorzubeugen, ist es deshalb sicher besser, wenn die Baufirma, die den Lehmstein aus dem Aushub herstellt, gleichzeitig auch Abfallbehandler ist.

Szenarium 2: Der Bauherr übergibt offiziell seinen Aushub an eine Firma, mit dem Auftrag daraus ein Produkt herzustellen. Nach Fertigstellung bekommt man den Aushub wieder als Produkt zurück. In diesem Fall gibt es einen klar definierten Eigentumsübergang, das auch als eine mögliche Entledigungsabsicht gesehen werden könnte. Im ersten Schritt will der Bauherr den Aushub loswerden, er könnte dann ja auch stattdessen ein anderes Produkt kaufen. In diesem Fall muss die Baufirma für diese Schlüsselnummer Abfallbehandler sein. Nun angenommen die Firma stellt aus dem Bodenaushub einen Lehmstein her, übergibt das fertige Lehmprodukt dem Bauherrn, so ist der Lehmstein genaugenommen noch immer Abfall. Erst wenn der Lehmstein verbaut wird, verliert dieser seine Kennzeichnung als Abfall. Das bedeutet dann, dass derjenige, der eben den Lehmstein verbaut, immer noch Abfallbehandler sein muss.

Derzeit gibt es nur eine definierte Ausnahme, bei der der Aushub nicht als Abfall angesehen wird, und zwar ist das der natürliche Zustand, also man belässt den Aushub in seinem natürlichen Zustand. Das trifft jedoch für die Herstellung eines Lehmsteins nicht zu, da er ja in irgendeiner Form verändert wird. Damit fällt es nicht in diese Ausnahme.¹²⁰

Aktuell ist es so, dass Aushubmaterial auf dessen bautechnischen Eigenschaften untersucht wird und dann möglicherweise im Deponiebau als Abdichtungsschicht verwendet wird bzw., wenn diese Eignung nicht vorhanden ist, es zur Deponierung des Bodenaushubes kommt.

Künftige Situation

Wie zuvor bereits erwähnt, befindet sich das rechtliche Rahmenwerk in diesem Zusammenhang in Überarbeitung.

So soll eine eigene „Aushub-Verordnung“ entstehen, die im Wesentlichen laut Vorbegutachtungsentwurf vom 2024 folgendes Ziel definiert:

¹²⁰ In diesem Zusammenhang gibt es ein interessantes Urteil des Europäischen Gerichtshofes (C-238/21) das folgendes festhält: „*unkontaminiertes Aushubmaterial, das nach nationalem Recht zur höchsten Qualitätsklasse gehört, ist nicht als „Abfall“ einzustufen, selbst wenn sein Besitzer sich seiner weder entledigen will noch entledigen muss und dieses Material die [...] die Einstufung als „Nebenprodukt“ erfüllt,*“ Bedeutet dass nach europäischer Rechtsprechung Bodenaushub kein Abfall sein muss. Siehe auch URL: https://www.ibr-online.de/IBRNavigator/dokumentanzeige-body.php?zg=6&nrlm=78e20&HTTP_DocType=News&NewsID=38748, (Zugriff am 6.8.2024)

§ 1. Ziel dieser Verordnung ist eine umweltgerechte, hochwertige und ökologisch verträgliche Verwertung oder Verwendung von bei Aushubtätigkeiten anfallenden (Boden)aushubmaterialien, um schädliche oder nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt und insbesondere den Boden und das Wasser zu vermeiden.“

In dieser Verordnung sollen dabei Anforderungen für die stoffliche Verwertungen von Aushubmaterialien definiert werden. Unter diesen möglichen Verwertungen wurde im Vorbegutachtungsentwurf auch der Lehmabbau explizit genannt, und zwar unter der Herstellung von sonstigen Baustoffen:

*„§ 12. Die Herstellung von sonstigen Baustoffen z.B. Zement, **Lehmziegeln und Lehmputze**, ausgenommen Gesteinskörnungen gemäß § 11, darf – bei entsprechender technischer Eignung – nur mit Aushubmaterialien gemäß Anhang 2 Tabelle 7 erfolgen.“*

Damit würde sich unter diesem neuen rechtlichen Rahmen eine vollkommen neue Betrachtung für die weitere Verwendung von Aushub für den Lehmabbau ergeben. Denn so wäre bei Herstellung von einem Lehmabbau unter §12 ein sofortiges Abfallende gegeben, was eine klare Rechtssicherheit und Erleichterung in der Verwertung von nicht kontaminierten Bodenaushub für den Lehmabbau mit sich bringen würde.

Nach derzeitigem Stand soll diese neue Aushub-Verordnung im Frühjahr 2026 in Kraft treten. Dies würde dann sicherlich auch eine Überarbeitung des bestehenden Abfallrechts im Sinne dieser Verordnung mit sich bringen.

Probleme und Risiken

In den Gesprächen mit den Expert:Innen konnten mehrere Probleme bzw. Risiken aufgezeigt werden, warum die Anwendung von Bodenaushub zur Herstellung eines Lehmabbauwerkes weiterhin schwierig ist. Dazu eine kurze Aufzählung der wesentlichen Punkte:

- Es gelangen Aushubmaterialien auf Deponien, die nachweislich über Untersuchungen zu einer Weiterverwendung geeignet wären, jedoch trotzdem deponiert werden.
- Oft sind es auch logistische Hürden, die eine Wiederverwendung des Aushubs erschweren. Es bedarf möglichst zeitnah vom erfolgten Aushub eine auch möglichst in der Nähe befindliche Verwendung. Also man müsste Quartiere/Zwischenlagerstätten schaffen für den Aushub.
- Ein weiteres Hindernis liegt auch in der sogenannten „Autonomie des privaten Baurechts“. Der Bauherr beginnt mit seiner Umsetzung, wann er möchte, und kann oder will nicht auf geeignetes Aushubmaterial warten.
- Daher wäre es wichtig, eine Drehscheibe im Idealfall frei zugänglich und firmenübergreifend zu schaffen mit den wesentlichen Informationen: wo, wann und in welcher Qualität Bodenaushub anfällt. Damit könnten andere Projekte eventuell auf diesen anfallenden Aushub für deren Bauprojekte zugreifen. In den Gesprächen zeigte sich, dass größere Bauunternehmen diesen Weg teilweise intern bereits umsetzen.
- Ferner fehlt eine Regelung zur bautechnischen Beurteilung über die Qualität des Aushubes, um diesen dann für ein Lehmabbauwerk verwenden zu können. Zwar erfolgt die Prüfung auf chemische Eigenschaften jedoch nicht auf deren bautechnischen Eigenschaften.
- Auch fehlt das Fachpersonal für die Bauweise mit Lehm.

Planung und Ausführung von Lehmbau

Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

Die OIB-Richtlinie 1 legt allgemeine Anforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit an das Tragwerk fest, die selbstverständlich auch bei der Verwendung von Lehm als tragender Bauteil ihre Gültigkeit haben. Im Wesentlichen können von zwei verschiedenen Lehmbautechniken ausgegangen werden, die tragend zum Einsatz kommen, und zwar:

- Lehmsteinbau
- Stampflehmbau.

Lehmsteinbau

Für die Bemessung, Konstruktion und Ausführung von Lehmsteinmauerwerk kann DIN 18940 herangezogen werden. Diese Norm liefert, basierend auf dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept (Grundlage für den bestehenden Eurocode), Vorgaben wie ein Mauerwerk aus Lehmsteinen mit Lehmmauermörtel berechnet und ausgeführt werden kann. Dabei finden sich Angaben zur Ermittlung der charakteristischen Druckfestigkeit einer Lehmsteinwand, Gebäudeaussteifung, Erdbeben, Berechnungsmethoden für vertikal und durch Wind beanspruchte Wände, tragende Lehmsteinmauerwerkswände im Brandfall sowie Ermittlung des Feuerwiderstands. Sämtliche Angaben sind immer basierend auf den bestehenden Eurocode 6 Mauerwerksbau und dessen Teil 3 für das vereinfachte Verfahren zu verstehen.

Alternativ zur DIN 18940 kann natürlich auch die bestehenden ÖNORM B 1996-3 (Vereinfachter Berechnungsnachweis für das Mauerwerk) für die Bemessung und Ausführung von einem Mauerwerk aus Lehmsteinen mit Lehmmörtel herangezogen werden.

Stampflehmbau

Stampflehmbauten oder allgemein großformatige Bauteile können gemäß ÖNORM EN 1990 bemessen werden, da diese Bauteile als monolithisch anzusehen sind. Der informative Anhang D „*Versuchsgestützte Bemessung*“ liefert Vorgaben zur Versuchsplanung und -durchführung, wie die Bemessungswerte für Baustoffeigenschaften, Modellparameter oder Bauteilwiderstände abgeleitet werden können sowie allgemeine Grundsätze für die statische Auswertung.¹²¹

Mit diesem Modell kann für jeden Bauteil eine Einzelfalluntersuchung durchgeführt werden, um die für die Bemessung die relevanten charakteristischen Werte ermitteln zu können.

Brandschutz

Wie für die mechanische Festigkeit liefern auch für den Brandschutz die bestehenden DIN-Lehmbaunormen eine normative Grundlage, um diese Bauweise auch genehmigungsfähig darstellen zu können.

Zu betrachten ist zum einen das Brandverhalten des Baustoffes und zum anderen der Feuerwiderstand des Bauteils. Für beide Betrachtungen liefern die DIN-Lehmbaunormen eine Grundlage. Das Brandverhalten wird in den einzelnen Produktnormen beschrieben, und zwar für

- Lehmsteine in der DIN 18945
- Lehmmörtel in der DIN 18946
- Lehmputz in der DIN 18947.

¹²¹ (ÖNORM EN 1990, 2024)

Alle drei Normen halten in diesem Zusammenhang fest, dass für Lehmsteine, Lehmmörtel oder Lehmputz ohne organisch Zuschläge oder Fasern diese ohne Prüfung in die Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-4 eingestuft werden können.

Lehmbauprodukte, die nicht mehr als 1,0% Massenanteil homogen verteilte organische Bestandteile aufweisen, können ebenfalls ohne weitere Prüfung in die Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-4 eingestuft werden.¹²²

Die Ermittlung des Feuerwiderstandes von Mauerwerkswänden wird in der DIN 18940 festgelegt. In dieser Norm wird eine erforderliche Mindestdicke des Mauerwerks angegeben, um eine bestimmte Feuerwiderstandsdauer (REI30 bzw. REI60) erreichen zu können. Ferner lässt sich über einen Reduktionsfaktor der Bemessungswert der Normalkraft (Einwirkung) im Brandfall ermitteln. Ohne genaueren Nachweis liegt dieser Faktor bei 0,7.¹²³

Alternativ zur Bemessung über die DIN 18940 lässt sich der Feuerwiderstand auch über Brandversuch untersuchen. Erste Ergebnisse aus solchen Brandversuchen zeigten bislang immer auf, dass der Feuerwiderstand von Lehmbauteilen durchaus höhere Werte erreichen kann als zunächst angenommen.¹²⁴ Ferner wurden die Werte, die in der DIN 18940 genannt sind, eher niedriger eingestuft auf Grund noch fehlender umfangreicher Brandversuche.

Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz:

Ausführliche Bestimmungen zum konstruktiven Feuchteschutz finden sich wieder in der DIN 18940. Dabei werden folgende Themen behandelt:

- Havarie-Schutz
- Spritzwasser und austretende Feuchte
- Schutz gegen Witterungseinflüsse.
- Feuchteschutz gegen Nutzungseinflüsse.

Wesentlich ist dabei, dass Lehmbauwerke einfach durch konstruktive Maßnahmen vor Feuchte geschützt werden müssen.

So sind laut DIN 18940 auf jeder Geschoßdecke eine mindestens 5cm über Oberkante Fußbodenbelag reichende Schichten aus hydraulisch gebundenen oder gebrannten Baustoffen herzustellen. Damit stellt man sicher, dass bei einem Rohrbruch die Standflächen der Lehmwände immer im trockenen Bereich sind.

Des Weiteren ist ein tragendes Lehmmauerwerk erst oberhalb des Spritzwasserbereiches zulässig und ist dauerhaft gegen Witterungseinflüsse zu schützen.

Ferner sind die üblichen Abdichtungsmaßnahmen für Bauwerksabdichtung bzw. in Küchen und Badbereichen zu berücksichtigen.¹²⁵

¹²² (DIN 18945, 2024) 9.7, (DIN 18946, 2023) 8.10, (DIN 18947, 2024) 8.11

¹²³ (DIN 18940, 2024) 7.7

¹²⁴ So wurden Brandversuche mit Lehmbauplatten an der MA 39 durchgeführt, deren Ergebnisse besser waren als man annahm. Die Fertigteilwände der Fa. Lopas erreichen bspw. eine Feuerwiderstandsklasse bis REI120.

¹²⁵ (DIN 18940, 2024) 6.10

In Hochwasserzonen bzw. Überschwemmungsgebieten sind tragende Wände aus Lehmsteinen nicht zulässig.¹²⁶

Betreffend Schadensfälle zufolge von Rohrbruch zeigten auch Schadensbeispiele, dass dies nur eine lokale Auswirkung auf die tragende Wand hatten. Denn auf Grund der Schwerkraft des Wassers bildet sich ein vertikales Rinnsal in der Wand aus und beschränkt sich so auf einen kleinen Bereich, der relativ einfach und rasch wieder sanierbar ist und die Tragfähigkeit der Wand so nicht beeinträchtigt.

Ferner könnte durch das Verlegen von Leitungen außerhalb der tragenden Wand präventiv ein möglicher Schadensfall vermieden werden.

Eine weitere Maßnahme, um etwa die Außenwand dauerhaft vor äußeren Witterungseinflüssen sicher zu gestalten, wäre ein bewusst gewählter dickerer Wandaufbau, um über eine sogenannte Opferschicht es zuzulassen, dass sich über die Jahre die Wanddicke verringern darf.

Wie beim Feuchteschutz gilt es auch bei Radon über konstruktive Maßnahme einen entsprechenden Schutz gegenüber der gefährlichen Strahlenbelastung sicherzustellen, sodass dessen Emissionen zu keinem Gesundheitsrisiko werden. Denkbar sind hier etwa Gründungen aus Schraubfundamenten auf denen ein Holzraster aus Lärche verlegt wird.

Schallschutz und Wärmeschutz

Für die Anforderungen und Bemessung von Schall- und Wärmeschutz kann wieder auf DIN 18940 verwiesen werden, die dazu Festlegungen getroffen hat. Es hat sich aber auch in den Gesprächen gezeigt, dass gerade betreffend Schalldämmmaß und Schallabsorption noch Forschungs- und Untersuchungsbedarf gegeben ist.

Auch hinsichtlich nachhaltiger Nutzung der natürlichen Ressourcen, Wärmeschutz, Energievermeidung gilt, dass hier noch ein beachtlicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf gegeben ist. Eine Anpassung der OIB-Richtlinien an ein kreislauffähiges Planen und Ausführen befindet sich noch in den Anfängen bzw. Ausarbeitung. Dabei gilt, dass die geplante OIB-Richtlinie 7 wieder baustoffneutral gestaltet wird. Nichtsdestotrotz gilt es zu prüfen, dass mögliche neue Vorgaben aus der OIB-Richtlinie 7 dann nicht hinderlich sind in der Umsetzung des Lehmbaus.

Leistungsbeschreibung Hochbau

Auf Anfrage beim für die Erstellung der Leistungsbeschreibung Hochbau zuständigen Ministerium für Arbeit und Wirtschaft hat sich gezeigt, dass man noch sehr weit entfernt ist, das Thema Lehmbau auch in diesem Bereich abzubilden mangels Erfahrungen bzw. Kenntnisse.

Daher wäre es umso wichtiger auch hier über ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt eine für den Lehmbau hinderliche Lücke für Ausschreibung und Vergabe zu schließen. So könnten standardisierte Ausschreibungstexte für die einzelnen Leistungspositionen formuliert werden, um diese dann über eine öffentliche Plattform wie etwa dem Netzwerk Lehms frei zugänglich machen zu können. Dabei könnten auf Basis etwa der nun bestehenden DIN-Normen oder den künftigen ÖNORMEN B 3230 Texte für die Bauweisen mit Lehmputz, Lehmsteinen und Lehmmörtel formuliert werden, bis

¹²⁶ (DIN 18940, 2024, S. 1)

hin auch für die möglicherweise erforderliche Baulehmuntersuchung anhand der bestehenden ÖNORMEN EN ISO 17892 oder EN ISO 14688.¹²⁷

4.3.2. Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaunormen

Die Anwendbarkeit regionaler Standards zum Lehmbau für Österreich wurde über Interviews mit Behördenvertretern sowie Vertretern aus dem Bereich der Normung diskutiert und abgeklärt.

Aus der Behördensicht:

Für die Behörden gilt immer die Sicherstellung und Überprüfung auf Einhaltung des Schutzniveaus. Dazu als Beispiel aus Wien gelten zufolge dem Wiener Bautechnikgesetz folgende Bestimmungen:

„§ 2. Von den in den Anlagen enthaltenen Richtlinien kann abgewichen werden, wenn die Bauwerberin oder der Bauwerber nachweist, dass das gleiche Schutzniveau wie bei Anwendung der Richtlinien erreicht wird.“

Oder für die OIB-Richtlinien wird folgendes festgehalten:

„Von den OIB-Richtlinien kann jedoch gemäß den Bestimmungen in den diesbezüglichen Verordnungen der Bundesländer abgewichen werden, wenn der Bauwerber nachweist, dass ein gleichwertiges Schutzniveau erreicht wird, wie bei Einhaltung der OIB-Richtlinien.“¹²⁸

Das heißt, der Bauwerber/Planer muss nachweisen, dass das entsprechende Schutzniveau eingehalten wird. Von diesem kann beispielsweise bei der Verwendung von DIN-Normen ausgegangen werden. Damit existiert bereits heute ein fertiges Normenpaket für die Lehmbauweisen mit Lehmsteinen, Lehmputz sowie Lehmplatten durch die entsprechenden DIN-Normen. Dabei handelt es sich um Lehmbaumaterialien, die im Werk hergestellt werden. Der verwendete Baulehm kann dabei aus Aushub- oder Abbaumaterial bestehen.

Offen bleibt damit die Herstellung von Lehmbaumaterialien Vor-Ort bei unmittelbarer Verwendung von anfallenden Baulehm aus dem Bodenaushub. Diese Bauweise könnte eine effiziente und vor allem ressourcenschonende sowie emissionsarme Methodik darstellen, für die jedoch noch jegliche normativen Vorgaben fehlen. Dazu wäre eine entsprechende Forschungs- und Entwicklungsaktivität sicherlich zielführend.

Des Weiteren findet sich in den DIN-Normen auch keine Angaben zu den Bauweisen mit Stampflehm oder Wellerlehm. Eine Bemessung könnte auf dem Nachweis der Tragfähigkeit zunächst durch die bestehende ÖNORM EN 1990 durchgeführt werden. Der informative Anhang D „*Versuchsgestützte Bemessung*“ liefert Vorgaben zur Versuchsplanung und -durchführung, wie die Bemessungswerte für Baustoffeigenschaften, Modellparameter oder Bauteilwiderstände abgeleitet werden können.¹²⁹ Jedoch eigene Angaben beispielsweise für die Herstellung und Ausführungen für diese Bauweisen fehlen.

¹²⁷ ÖNORM EN ISO 17892 und ÖNORM EN ISO 14688

¹²⁸ URL: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien> [Zugriff am 21.08.2024]

¹²⁹ (ÖNORM EN 1990, 2024)

Um dem Entgegenwirken zu können, wäre es etwa möglich, bestehende Normen auf dessen gleichwertiges Schutzniveau zu prüfen (wie beispielsweise die neuseeländische Norm oder die freizugänglichen Normen aus New Mexico) oder eigene Richtlinien/Empfehlungen für diese Bauweise zu erstellen. Für beide Wege gilt es über entsprechende Forschungs- und Entwicklungsprojekte noch wesentliche Grundlagen zu schaffen.

Übernahme eines regionalen Standards als ÖNORM

Für eine bessere Durchdringung der Lehmbauweise bzw. um eine mögliche Prüfung eines Standards auf das in Österreich geltende Schutzniveau zu vermeiden, wäre ein möglicher rascher Weg, einen regionalen außerösterreichischen Standard als ÖNORM zu publizieren.

Zuständig für diesen Prozess der Übernahme einer solchen Norm in das österreichische Normenwerk ist Austrian Standards Institute (ASI). Dieses legt über deren Geschäftsordnung einen klar definierten Prozess fest, wie solch eine Übernahme zu erfolgen hat. Im Wesentlichen könnte dies in dieser Weise erfolgen:

- Antragstellung an das Normungsinstitut mit dem Vorschlag eine regionale Norm zu übernehmen,
- dieser Antrag wird vom zuständigen Fachkomitee auf dessen Umsetzung geprüft und anschließend bei positiver Prüfung zur Stellungnahme durch die Öffentlichkeit aufgelegt.
- Basierend auf den Rückmeldungen wird über den Start des Normungsprozesses zur Schaffung einer ÖNORM beschlossen.
- Bei positiver Prüfung gelangt die regionale Normung nach entsprechender Beschlussfassung vom zuständigen Fachkomitee zur Veröffentlichung als Entwurf und nach Behandlung der eingelangten Stellungnahme zur Publikation als beispielsweise ÖNORM DIN.

Dabei wickelt das Normungsinstitut nicht nur den Prozess zur Schaffung einer ÖNORM zur Verfügung, sondern stellt auch Hilfestellungen für die möglicherweise notwendigen Übersetzung von Standards aus bspw. dem Englischen in die deutsche Sprache zur Verfügung.

Dazu konnten bereits im Zeitraum dieses Forschungsprojektes auf Basis der bereits gewonnenen Erkenntnisse erste Aktivitäten in Richtung einer eigenen ÖNORM für den Lehmbau im ASI erreicht werden.

4.3.3. Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehm

Ergebnisse zum Baulehm

Allgemeines

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden an der Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik umfangreiche Untersuchungen an verschiedenen Baulehmen durchgeführt.

Die Herkunft der Baulehme lässt sich im Wesentlichen in folgende Kategorien unterteilen:

- Bodenaushübe bzw. Schürfe aus verschiedenen Bauprojekten,
- industriell aufbereiteter Baulehm von namhaften Lehmbaustoff-Produzenten
- Baulehm aus Lehmgruben zur weiteren Verarbeitung von Lehmbaustoffen,
- industriell aufbereitete Tone.

Baulehm aus Bodenaushub/Schürfen:

Im Folgenden werden die Baulehme aus dieser Kategorie aufgelistet:

- BL05: Bodenaushub aus dem Weinviertel, der genaue Standort ist unbekannt.
- BL06, BL13, BL25: Bodenaushub aus Wien (nähe Niklas Eslarnstraße)
- BL14: Bodenaushub aus Niederösterreich (nähe Pielach bei Melk)
- BL15: Bodenaushub aus Niederösterreich (Kiesgrube, südlich von Pöchlarn)
- BL16: Bodenaushub aus Niederösterreich (Wiener Wald, nahe Hochrotherd bzw. Breitenfurth)
- BL17: Bodenaushub aus Niederösterreich (Wiener Wald, nahe Großhöniggraben bzw. Sulz im Wienerwald)
- BL18: Bodenaushub aus Niederösterreich (nähe Oberndorf an der Melk)
- BL19: Bodenaushub aus der U-Bahnbaustelle U2/U5 in Wien
- BL24: Bodenaushub aus Wien (1100, nahe Kurbadstraße)

Industriell aufbereiteter Baulehm

Im Folgenden werden die Baulehme aus dieser Kategorie aufgelistet:

- BL01: Industriell aufbereiteter Baulehm eines namhaften Anbieters von Lehmbaustoffen aus Deutschland,
- BL08: Industriell aufbereiteter Baulehm eines namhaften Anbieters von Lehmbaustoffen aus der Steiermark,
- BL23: Industriell aufbereiteter Baulehm eines namhaften Anbieters von Lehmbaustoffen aus Niederösterreich.

Baulehm aus Baulehm-Abbaustätten im Sinne von MinroG:

Im Folgenden werden die Baulehme aus dieser Kategorie aufgelistet:

- BL02: Baulehm aus einem Abbaugbiet im Tagebau eines namhaften Verarbeiters von Lehmputzen aus der Slowakei
- BL03: Baulehm aus einem Abbaugbiet im Tagebau eines namhaften Produzenten von Lehmsteinen aus Niederösterreich

Untersuchung Bindekraft – Direkter Scherversuch

Für den Vergleich der Bindekraftprüfung mit dem direkten Scherversuch (Langsam-Scherversuch, LSV) wurden Ergebnisse aus laufenden Bodenuntersuchungen, die im Routinebetrieb durch die Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik (CSVA) aus externen Aufträgen ermittelt wurden, herangezogen und verglichen mit den Ergebnissen aus dem Bindekraftversuch, der im Rahmen dieses Forschungsprojektes ermittelt wurde mit dem Ziel festzustellen, ob zwischen den beiden Prüfmethoden eine Analogie herstellbar ist. Für diese Untersuchung wurden folgende Baulehme verwendet:

- BL07: Bodenaushub aus Niederösterreich (nähe St. Pölten)
- B 09: Bodenaushub aus Niederösterreich (nähe Wiener Neustadt)
- BL10: Bodenaushub aus Wien (1060)
- BL11: Bodenaushub aus Wien (1120)
- BL12: Bodenaushub aus Niederösterreich (Mistelbach)

Industriell aufbereitete Tone:

Tonmineralien haben einen entscheidenden Einfluss auf die wesentlichen Eigenschaften des Baulehms wie Lineares Trockenschwindmaß, Bindekraft oder Druckfestigkeit. Dabei können Tone als sogenannte Zweischichttonmineralien (z.B. Kaolinit), Dreischichttonmineralien (z.B. Illit, Montmorillonit, Muskovit) oder Vierschichttonmineralien (z.B. Chlorite) vorliegen.

Daher wurden neben der Untersuchung von typischen Baulehmen auch drei industriell aufbereitete Tone näher untersucht:

- BL20 „Illit“ mit folgender Zusammensetzung: 45% Illit, 7% Kaolinit, 36% Quarz, 7% Feldspat, 4% Fe-Ti-Mineralie
- BL21: „Kaolinit“ mit folgendem chemische Aufbau: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ¹³⁰
- BL22: „Montmorillonit (Bentonit)“ mit folgender Zusammensetzung: 76% Montmorillonit, 5% Illit, 2% Kaolinit, 11% Quarz, 6% Feldspat (Natürlicher Kalzium-Bentonit)

Ergebnisse im Detail

Im Abschnitt 4.2.3 wurden die für den Baulehm relevanten Produkteigenschaften vorgestellt, hinsichtlich deren Charakteristik, Prüfung und Klassifikation.

Ziel war es dabei die zuvor genannten Baulehme mit den Prüfnormen aus 4.2.3 auf die wesentlichen Produkteigenschaften wie Korngrößenverteilung, Plastizität, Lineares Schwindmaß, Druckfestigkeit und Bindekraft zu untersuchen, um so die Anwendbarkeit der bestehenden fachverwandten Baunormen für Lehmprüfungen zu überprüfen.

Tabelle 87 bis Tabelle 92 im Anhang enthalten die Ergebnisse für sämtliche im Rahmen von diesem Forschungsprojekt durchgeführten Baulehmuntersuchung.

Ergebnisse zu den Lehmstoffen

Allgemeines

Nachdem die unterschiedliche Baulehme auf deren Produkteigenschaften näher untersucht wurden, wurde nun in weiterer Folge aus diesen durch entsprechende Aufbereitung Lehmstoffe hergestellt, und zwar Lehmörtel, der als Lehmputz und Lehmmauerörtel verarbeitet werden könnte, und Lehmsteine. Dabei wurde folgende Baulehme verwendet:

Baulehm aus Bodenaushub/Schürfen:

Im Folgenden werden die Baulehme aus dieser Kategorie aufgelistet:

- BL05: Bodenaushub aus dem Weinviertel, der genaue Standort ist unbekannt.
- BL15: Bodenaushub aus Niederösterreich (Kiesgrube, südlich von Pöchlarn)
- BL16: Bodenaushub aus Niederösterreich (Wiener Wald, nahe Hochrotherd bzw. Breitenfurth)
- BL18: Bodenaushub aus Niederösterreich (nahe Oberndorf an der Melk)
- BL24: Bodenaushub aus Wien (1100, nahe Kurbadstraße)

Industriell aufbereiteter Baulehm

Im Folgenden werden die Baulehme aus dieser Kategorie aufgelistet:

¹³⁰ Vgl. URL: <https://www.imerys.com/minerals/kaolin> [Zugriff am 12.05.2025]

- BL01: Industrielle aufbereiteter Baulehm eines namhaften Anbieters von Lehmbaustoffen aus Deutschland
- BL23: Industrielle aufbereiteter Baulehm eines namhaften Anbieters von Lehmbaustoffen aus Niederösterreich

Baulehm aus Baulehm-Abbaustätten im Sinne von MinroG:

Im Folgenden werden die Baulehme aus dieser Kategorie aufgelistet:

- BL02: Baulehm aus einem Abbaugelände im Tagebau eines namhaften Verarbeiters von Lehmputzen aus der Slowakei
- BL03: Baulehm aus einem Abbaugelände im Tagebau eines namhaften Produzenten von Lehmsteinen aus Niederösterreich

Für die Herstellung der Lehmbaustoffe mussten alle Baulehme abgemagert werden. Dies erfolgte im Rahmen dieser Untersuchung ausschließlich durch die Zugabe von mineralischen Zusatzstoffen. Dabei wurde ein Sand mit der Körnung 0/2 mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen dem Baulehm untergemischt und anschließend bei Wasserzugabe zu einem Lehmbaustoff verarbeitet. Die Verarbeitung zu den Prüfprismen erfolgte zumeist bei Normsteife.

Neben der Verwendung von Baulehmen wurden im Rahmen dieser Untersuchungen auch fertige Lehmputzmischungen untersucht, dazu zählten folgende:

- LP01, LP02, LP04, LP05: unterschiedliche Putzrezepturen, die im Zuge eines Bauprojektes entwickelt wurden. Dazu wurde Aushubmaterial aus Wien (1220) entsprechend aufbereitet, bis das ideale Mischungsverhältnis gewonnen werden konnte.
- LP03: industriell aufbereiteter Grobputz eines Lehmbaustoffproduzenten aus Niederösterreich.
- LZ01: Historischer Lehmziegel aus Niederösterreich (Haag)
- SL01: industriell aufbereiteter Stampflehmmischung eines Lehmbaustoffproduzenten aus Niederösterreich.

Ergebnisse im Detail

Im Abschnitt 4.2.3 wurde die für Lehmbaustoffe (Lehmmörtel und Lehmstein) relevanten Produkteigenschaften vorgestellt, hinsichtlich deren Prüfparameter, Referenzprüfverfahren und Klassifikation. Im Folgenden wurden diese durch die Zugabe von mineralischen Zusatzstoffen zu einem Lehmbaustoff verarbeitet und anschließend geprüft. Die nachfolgenden Ergebnistabellen enthalten für jeden Lehmbaustoff Angaben zum jeweiligen Mischungsverhältnis sowie die entsprechenden geprüften Produkteigenschaften.

Folgende Produkteigenschaften wurden für den Lehmmörtel näher untersucht:

- Korngruppe
- Rohdichte
- Lineares Trockenschwindmaß
- Biegezug- und Druckfestigkeit
- Plastizität
- Bindekraft

Folgende Produkteigenschaften wurden für den Lehmstein näher untersucht:

- Maß

- Steinrohdichte
- Druckfestigkeit

Ziel der Untersuchungen war es, anhand von ausgewählten Prüfparameter der vorgestellten Lehmbaumstoffe, die Anwendbarkeit bestehender fachverwandten Baunormen für Lehmbauprüfungen zu untersuchen.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 93 bis Tabelle 97 im Anhang angeführt.

4.4. Schlussfolgerungen

4.4.1. Vorgaben aus dem Bautechnikgesetzen/Bundesvergabegesetz

Die durch die Literaturrecherche und durchgeführten Gesprächen gewonnenen Erkenntnisse lassen folgende Schlussfolgerung zu:

- Gemäß BVerG besteht keine Normenbindung, jedoch um sich eine gewisse Rechtssicherheit zu garantieren, führt der Weg wieder zurück zu den Normen.
- Normen im Sinne der Vergabe sind ÖNORMEN oder regionale Standards, die nachweislich das gleiche Schutzniveau im Sinne der Bautechnikgesetze erreichen. Bei DIN-Normen wird davon ausgegangen; bei regionalen Standards bspw. aus Neuseeland müsste dies der Planer bei Verwendung einer solchen zunächst nachweisen. Das heißt die bestehenden DIN-Normen können schon jetzt in der Vergabe von Bauleistung angewendet werden.
- Die Verwendung von Bodenaushubmaterial zur Herstellung eines Lehmbaumstoffes ist nach derzeitigem Abfallrecht möglich, dies jedoch nur dann, wenn der Boden nicht kontaminiert ist und für die einzelnen Bearbeitungsschritte des Bodens bis hin zum Herstellen des Lehmbaumstoffes der Bearbeiter die Befugnis als Abfallbehandler besitzt. Denn erst durch das Einbauen des Baustoffes in ein Bauwerk verliert der Baustoff die Bezeichnung Abfall.
- Es bleibt abzuwarten, welche Regelungen die neue Aushub-Verordnung enthält. Eine Aufnahme im Sinne einer erlaubten Verwendung von Bodenaushubmaterial mit sofortiger Erlangung des Abfallendes zur Herstellung von Lehmbaumprodukt wäre zu begrüßen.
- Eine mögliche Baulehmgewinnung erfolgt entweder über den Abbau (= MinroG) oder Aushub (= AWG, AushubVO neu, ...).
- Für die Bemessung des Lehmbaumwerkes auf Trag- und Gebrauchstauglichkeit kann für die Verwendung von Lehmsteinen die DIN 18940 herangezogen werden oder für den Stampflehmabau Anhang D nach ÖNORM EN 1990.
- Entsprechende Anforderungen an den Brandschutz, Feuchteschutz, Schallschutz und Wärmeschutz können bereits jetzt bei Verwendung von Lehmsteinen mit Lehmmörtel sowie Lehmputz nach den DIN-Lehmbaumnormen sichergestellt werden, denn es gilt bei DIN-Normen automatisch das gleiche Schutzniveau wie für ÖNORMEN.

4.4.2. Anwendbarkeit von weltweit gültigen Lehmbaumnormen

Die durch die Literaturrecherche und durchgeführten Gesprächen gewonnenen Erkenntnisse lassen folgende Schlussfolgerung zu:

- Die DIN-Normen zum Lehmnbau können bereits jetzt durch den Bauwerber/Planer für eine bautechnische Einreichung verwendet werden.
- Damit sind die Lehmnbauweisen mit Lehmsteinen, Lehmputz und Lehmplatten für im Werk hergestellte Lehmprodukte in Österreich normativ erfasst.
- Bei Nachweis einer Einhaltung des entsprechendem in Österreich geltenden Schutzniveaus könnten auch außereuropäische Normen herangezogen werden. Damit könnte man etwa für den Stampflehm, Wellerlehm, oder CEBs die neuseeländische Norm verwenden. Diese liefern Anforderungen zu den wesentlichen Schritten für die Herstellung eines Lehmnbauwerkes aus den zuvor genannten Techniken fest.

4.4.3. Anwendbarkeit fachverwandter Baunormen für den Lehmnbau

Baulehm

Abschließend werden nun aus den Ergebnissen der durchgeführten Baulehmuntersuchungen für die wesentlichen Produkteigenschaften des Baulehms die Anwendbarkeit der jeweiligen Prüfnorm näher betrachtet und die entsprechende Interpretation und Schlussfolgerung dazu vorgestellt.

Dies wird für die wesentlichen Produkteigenschaften wie Zusammensetzung, Verhalten bei Wassereinwirkung und Festigkeit von Baulehm vorgenommen. Zu Beginn befindet sich zunächst noch eine allgemeine Zusammenfassung zu den Auswirkungen der Tonminerale auf den Baulehm.

Auswirkungen der Tonminerale auf den Baulehm

Bindende und nicht bindende Tonminerale

Für den Lehmnbau ist gerade die Charakteristik des feinkörnigen Bodens (= Ton und Schluff) und da die der Tonfraktion von entscheidender Bedeutung. Denn „Ton“ ist das natürliche Bindemittel für einen Lehmnbaustoff. Die Analyse dieses Korngrößenbereiches ist deshalb besonders relevant, weil diese Auswirkungen auf

- die plastischen Eigenschaften und Bindekraft,
- das Austrocknungsverhalten und
- der Druckfestigkeit des Baulehms hat.

Dabei wäre eine reine Betrachtung des Massenprozentsatzes vom Ton aus dem Ergebnis der Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN ISO 17892-4 im Baulehm allein nicht aussagekräftig genug, um eben die bindenden Eigenschaften des Baulehms bewerten zu können. Das Ergebnis zum Masseanteil der Tonfraktion aus der Korngrößenverteilung liefert noch keine wesentlichen Informationen über die obengenannten Punkte. Dazu ist es wichtig die Art der Tonminerale und den Anteil der nicht plastischen Minerale wie beispielsweise Quarz, Feldspat, Calcit, Dolomit, die ihrerseits wie „*Magerungsmittel*“ im Baulehm wirken, zu kennen.¹³¹

Für die Baulehme BL01, BL05 und BL24 wurde eine genaue Analyse zur Mineralienstruktur vorgenommen, siehe Tabelle 51. Vergleicht man nur diese in deren Zusammensetzung kann man folgendes festhalten:

- BL01 weist einen geringen Gesamtanteil an Tonmineralien auf (15,88%) gegenüber BL05 (39,22%) und BL24 (43,72%).

¹³¹ Vgl. (Schröder, 2019, S. 113)

- Ferner ist das dominierende Tonmineral ein Dreischichtmineral nämlich „Muskovit“.
- BL05 sowie BL24 enthalten neben dem Dreischichtmineral auch das Zweischichtmineral Kaolinit.
- Der Gesamtanteil an nicht bindenden Mineralien beträgt zumindest 60%.

Tabelle 51: Mineralbestand der Baulehme BL01, BL05 und BL24¹³²

Mineralienart	BL01 %-wt	BL24 %-wt	BL05 %-wt
Quarz	56,04	27,01	32,60
Muskovit (Tonmineral)	14,22	33,24	29,09
Calcite	1,49	4,32	9,00
Albite (Feldspat)	12,20	6,30	7,27
Micocline (Feldspat)	4,00	3,66	
Sanidino	5,65		
Dolomite		7,73	6,94
Clinochlore	3,99	5,81	4,96
Kaolinite (Tonmineral)		6,72	4,71
Illite (Tonmineral)	1,66	3,76	2,86
Chlorite (Tonmineral)			2,56
Rutile	0,74	1,46	0,79
Hydrotalcite		0,18	

In weiterer Folge werden diese drei Baulehme verglichen mit industriell aufbereiteten Tonen nämlich BL20, BL21 und BL22, die, wie bereits zuvor angeführt, folgende Zusammensetzungen aufweisen:

- BL20 „Illit“ mit folgender Zusammensetzung: 45% Illit, 7% Kaolinit, 36% Quarz, 7% Feldspat, 4% Fe-Ti-Mineralie
- BL21: „Kaolinit“ ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)¹³³
- BL22: „Montmorillonit“ mit folgender Zusammensetzung: 76% Montmorillonit, 5% Illit, 2% Kaolinit, 11% Quarz, 6% Feldspat (Natürlicher Kalzium-Bentonit)

Vorneweg ist als erste Bewertung festzuhalten, dass bis auf BL21 alle Baulehme von Dreischichtmineralien dominiert werden, und zwar von Illit, Muskovit und Montmorillonit, die wiederum unterschiedliche Konsequenzen auf die Produkteigenschaften des Baulehms wie Bindekraft, Trockenschwindmaß und Druckfestigkeit besitzen.

Kaolinit (= Zweischichtmineral) entsteht über chemische Verwitterung von Feldspat-Mineralen. Dabei ist in der Regel das magmatische Gestein Granit das Ausgangsprodukt und entwickelt zumeist eine blättrige, schuppige Struktur. Die Untersuchungen am reinen Kaolinit zeigten dabei eine sehr hohe Bindekraft mit über 700g/cm². Bei der Verarbeitung mit Wasser wies dieses Material ein einzigartiges Verhalten auf. Zwar konnten Prismen hergestellt werden, diese zerfielen jedoch im Zuge der

¹³² Ergebnis einer X-Ray Powder Diffraction durchgeführt an der TU Wien

¹³³ Vgl. URL: <https://www.imerys.com/minerals/kaolin> [Zugriff am 12.05.2025]

Trocknung womit keine Biegezug- und Druckfestigkeit oder Trockenschwindmaß bestimmt werden konnten.¹³⁴

Illit, Montmorillonit und Muskovit (= Dreischichtminerale) besitzen folgende Eigenschaften:

- Illit, Hauptvertreter der glimmerartigen Tonminerale, entsteht durch die Verwitterung von Glimmer (Muskovit und Biotit) und enthält ein fest eingebautes K-Ionen in den Schichtpaketzwischenräumen. Dadurch ist der Schichtflächenabstand nicht variabel. Ferner verhindert dieses „Zwischenschicht-Kalium“ ein zu starkes Quellen.
- Montmorillonit ist ein Mg-reiches Dreischichtmineral mit einem schwachen isomorphen Ersatz von Si^{4+} durch Al^{3+} in den Tetraedern. Dies bewirkt einen lockeren Zusammenhalt zwischen den Schichtpaketen und führt zu einer starken Quellung bei Eintritt von Wasser. Es entsteht durch den Umbau von Glimmern und Illiten durch Verlust der K-Ionen.¹³⁵

Diese Zusammenhänge konnten auch in den Untersuchungen bestätigt werden. BL20 (das dreischichtige Illit) weist mit $154,2\text{g}/\text{cm}^2$ eine mäßige Bindekraft auf im Vergleich zu Muskovit. Gleiches gilt mit $2,63\text{N}/\text{mm}^2$ für die Druckfestigkeit. Ein wesentlicher Vorteil vom Illit ist jedoch die geringe Fähigkeit zu quellen, das durch ein niedriges Trockenschwindmaß von 1,4% bestätigt werden konnte.

Anders das dreischichtige Montmorillonit, dieses Tonmineral verfügt über eine höhere Bindekraft gegenüber Illit bei gleichzeitiger enormer Schwindung von 12,2% und höheren Druckfestigkeit mit $9,38\text{N}/\text{mm}^2$.

Abschließend das Dreischichtmineral Muskovit, das sich durch eine sehr hohe Bindekraft auszeichnet, (BL24 wies eine Bindekraft von $488,1\text{g}/\text{cm}^2$ auf) dafür jedoch eine geringere Schwindung wie Montmorillonit mit 4,5 % (BL24). Jedoch ist auch mit $5,2\text{N}/\text{mm}^2$ (BL24) die Druckfestigkeit geringer.

Ebenfalls von Muskovit dominiert ist BL01. Wie zuvor erwähnt, weist dieser Baulehm im Vergleich den niedrigsten Gesamttonmineraliengehalt auf mit einer möglichen positiven Konsequenz für den Baulehm. Zwar ist die Bindekraft mit $102,8\text{g}/\text{cm}^2$ niedrig, jedoch liegt das Schwindmaß mit 1,9% knapp unter dem Grenzwert für die Lehmputznorm (2%) und die Druckfestigkeit erreichte mit $6,93\text{N}/\text{mm}^2$ eine hohe Festigkeit.

Diese unterschiedlichen Ergebnisse liefern bereits den Hinweis, dass eine Korngrößenverteilung bei einer Erstbetrachtung noch keinen Aufschluss über Bindekraft, Trockenschwindmaß bzw. Druckfestigkeit liefert, sondern nur eine erste Tendenz anzeigen kann.

Betrachtet man die Sieblinien der Baulehme BL01 und BL05, so ist der Anteil an der Tonfraktion nahezu gleich, allerdings in ihrer Wirkung im Baulehm in Bezug auf lineares Trockenschwindmaß, Bindekraft sowie plastische Eigenschaften verschieden.

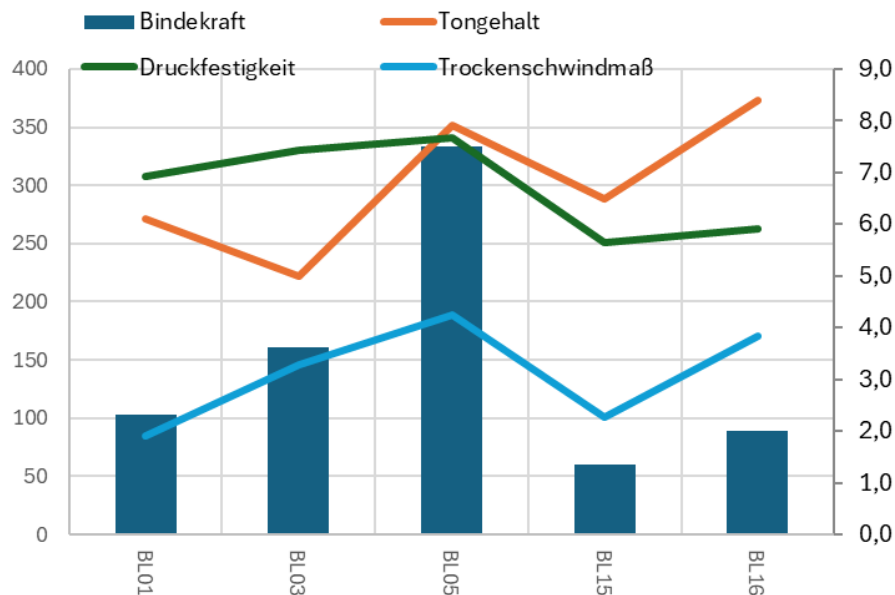
Die Abbildung 10 zeigt Baulehme mit jeweils annähernd gleich hohem Tongehalt, jedoch mit unterschiedlichen Resultaten für die Baulehmprüfung auf Bindekraft, Druckfestigkeit und

¹³⁴ Während des Trocknungsprozesses zerbrachen die Probekörper horizontal, was möglicherweise eben auf dessen schuppige Grundstruktur zurückzuführen ist.

¹³⁵ Vgl. URL https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/boku_online/pcboku10.agrar.hu-berlin.de/cocoon/boku/sco_2_substrate_62c354.html?section=N1009E (Zugriff am 24.07.2025)

Trockenschwindmaß. Grund dafür ist die unterschiedliche Zusammensetzung der Tonfraktion betreffend Tonmineralart und Anteil an nicht bindenden Tonmineral.

Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Tongehalt, Bindekraft, Trockenschwindmaß und Druckfestigkeit



Besitzen Baulehme eine annähernd gleiche Tonfraktion, so könnte das Trockenschwindmaß und die Bindekraft als Hinweis für den tatsächlichen Tonmineralienanteil verwendet werden. Dies hat aber wiederum kaum Einfluss auf die Druckfestigkeit (Vergleich BL01 mit BL05). Das könnte wiederum darauf zurückzuführen sein, dass BL01 durch die feinkörnige Struktur mit einem hohen Gehalt an „Magerungsmittel“ geradezu einen optimalen Verdichtungsgrad erzeugt.

Vergleicht man BL20 etwa mit BL01 auf die Faktoren Bindekraft/Lineares Schwindmaß/Druckfestigkeit, so kann man erkennen, dass im Wesentlichen gerade die Druckfestigkeit sich mehr als halbiert. Betrachtet man die Tonmineralogie, ist es klar warum. Für BL20 ist der Hauptanteil das Illit und für BL01 Muskovit. Schwachpunkt der Betrachtung ist wieder, dass man daraus keinen Zusammenhang aus der Zusammensetzung der Tonminerale mit bindenden Eigenschaften und den sogenannten nicht bindenden Mineralien ablesen kann.

Um daher eine nähere Analyse aus den Zusammenhängen der genannten Parameter ableiten zu können, wäre es notwendig, eine vertiefende Untersuchung zur Tonmineralogie durchzuführen. Da jedoch Baulehm neben den organischen und mineralischen Zusatzstoffen „nur“ ein Ausgangsstoff zur Herstellung von Lehmabaustoffen darstellt und diese Zusatzstoffe wiederum das optimale Einstellen des maßgebenden linearen Schwindmaßes bei Erreichen einer ausreichenden Druckfestigkeit darstellt, ist vielmehr dieser Prozess das wesentliche Steuerungsmittel für die Herstellung des Lehmabaustoffes.

Drei-Phasen Modell von Boden

Ein Boden kann im Allgemeinen als ein Dreiphasenmodell abgebildet werden und besteht aus Feststoffen (Bodenkörner), Flüssigkeit (Wasser) und Porengas (Luft).

Allgemein kann der Feststoff für die einzelnen Körner zunächst über die Korndichte $\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$ [Mg/m³] beschrieben werden. Diese wird im Labor mit dem Pyknometer nach ÖNORM EN ISO 17892-3 bestimmt. Betrachtet man das Korngemisch also den Boden so kann die Dichte eines Bodens allgemein über den erdfeuchten Boden $\rho_f = \frac{m_f}{V} = \frac{\text{Feuchtmasse}}{\text{Gesamt volumen}}$ oder der Trockendichte $\rho_d = \frac{m_d}{V} = \frac{\text{Trockenmasse}}{\text{Gesamt volumen}}$ bestimmt werden, jeweils angegeben in [Mg/m³]. Wobei der Wassergehalt einer Bodenprobe allgemein das Verhältnis der Wassermasse zur Trockenmasse angibt, also $w = \frac{m_w}{m_d}$ angegeben in Prozent [%].

Zur Beschreibung des Porenraumes wird die Porenzahl herangezogen. Diese kann folgendermaßen ermittelt werden $e = \frac{V_V}{V_s} = \frac{\text{Porenvolumen}}{\text{Feststoffvolumen}}$.

Damit kann für die unterschiedlichen Bodenarten die typischen Kennwerte für die Korndichte ρ_s , Trockendichte ρ_d , Porenzahl e und dem Wassergehalt w nach Tabelle 52 angegeben werden.

Tabelle 52: Typische Kennwerte für die unterschiedlichen Bodenarten¹³⁶

Bodenart	Korndichte g/cm ³	Trockendichte g/cm ³	Porenzahl	Wassergehalt
Sand	2,65 – 2,69	1,4 – 1,9	0,4 – 0,7	5 – 20
Schluff	2,70 – 2,71	1,6 – 2,0	0,4 – 0,7	15 – 40
Ton	2,72 – 2,76	1,2 – 1,8	0,4 – 0,7	30 – 100

Betrachtet man nun dieses Dreiphasenmodell (Porengas, Flüssigkeit, Feststoff) in Bezug auf dessen Trocknungsverlauf von Baulehmen bis zur Erreichung der Gleichgewichtsfeuchte so kann dieser Vorgang für einen Prüfprisma wie folgt beschrieben werden:

Nach der Aufbereitung des Baulehms und Herstellung der Prüfprismen setzt sich die Gesamtmasse m folgendermaßen zusammen: $m = m_s + m_w$, wobei m_s die Feststoffmasse ist und m_w sich aus dem Porenwasser, dem Adsorptionswasser (physikalisch gebundenes Wasser) und dem Kristallwasser (chemisch gebundenes Wasser) zusammensetzt.

Danach erfolgt die Trocknung des Probekörpers bei 23°C und 50% Luftfeuchte bis zur Massenkonstanz. Dabei entweicht in Folge von Verdunstung ein Anteil des freien Wassers, das Porenwasser, bis sich eine Gleichgewichtsfeuchte einstellt. Allgemein ist die Gleichgewichtsfeuchte abhängig von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Art der Tonmineralien. Da eine konditionierte Trocknung bei 23°C und 50% Luftfeuchte erfolgt, ist die Gleichgewichtsfeuchte nur noch von der Art der Tonmineralien abhängig. Dabei weist das Tonmineral Montmorillonit beispielsweise eine deutlich höhere Gleichgewichtsfeuchte auf als etwa Kaolinit.¹³⁷

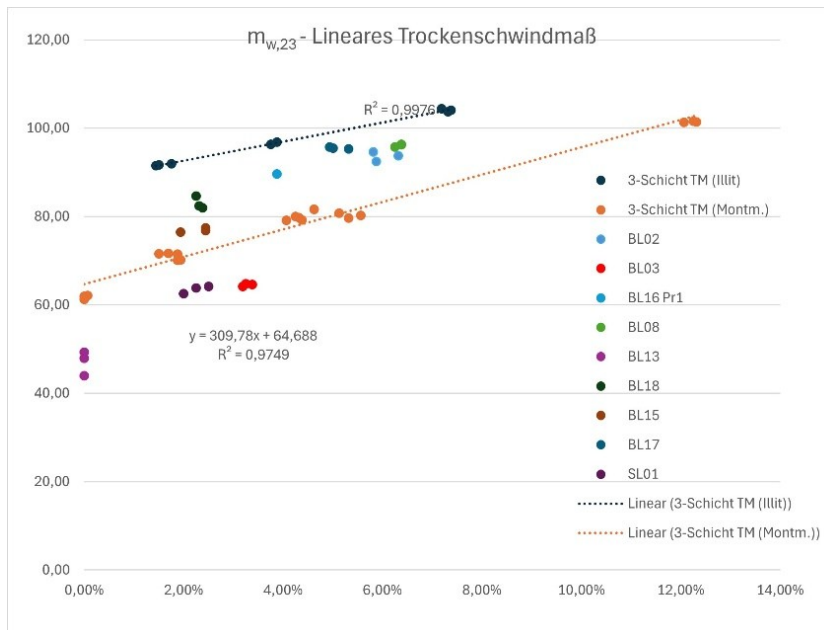
Des Weiteren beeinflusst die unterschiedliche Zusammensetzung des Baulehms aus grob- und feinkörnigen Bestandteilen das lineare Trockenschwindmaß.

¹³⁶ Vgl. (Boley, 2019, S. 22) Tabelle 2.3 und 2.4

¹³⁷ (Minke, 2009, S. 55)

Setzt man aus diesen genannten Zusammenhängen den Wassergehalt (nach Trocknung bei 23°C/50% Luftfeuchte) und das lineare Trockenschwindmaß in Relation, lassen sich Korrelationen zu den unterschiedlichen Tonarten annehmen. Dieser Zusammenhang zeigt Abbildung 11 auf. Dabei wurde zunächst das Wassergewicht $m_{W,23^{\circ}C}$, das bei Verdunstung entwichen ist, in Verhältnis zum Trockenschwindmaß aufgetragen.

Abbildung 11: Zusammenhang Wassermasse (y-Achse) zu Linearem Trockenschwindmaß (x-Achse)



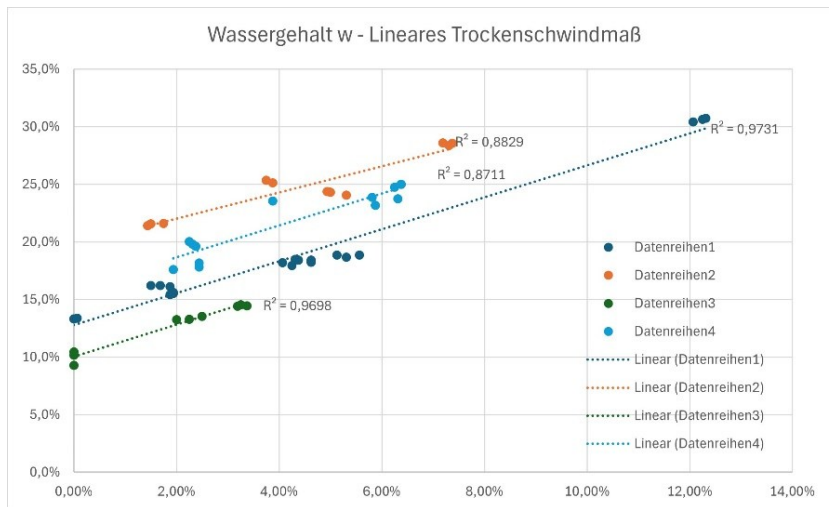
Dabei konnten die Baulehme wie folgt zusammengefasst werden:

- Blaue Linie: BL19, BL20, BL16
- Orange Linie: BL01, BL05, BL24, BL22, BL06, BL14, BL23

Diese Darstellung zeigt noch gewisse Unschärfen in den Übergängen.

Bezieht man nun das Wassergewicht auf die Trockenmasse und setzt so den ermittelten Wassergehalt in Relation zum Trockenschwindmaß erhält man einen besseren Zusammenhang, wie das Abbildung 12 zeigt.

Abbildung 12: Wassergehalt (y-Achse) zu Linearem Trockenschwindmaß (x-Achse)



Dabei konnten die Baulehme wieder zusammengefasst werden, und zwar unter folgendem linearem Zusammenhang:

- Orange Linie sind folgende Baulehme: BL19 (U2/U5), BL20 (Illit), BL16, BL17
- Hellblaue Linie sind folgende Baulehme: BL18, BL02, BL08, BL15
- Blaue Linie: BL01 (dominiert von Muskovit), BL05 (dominiert von Muskovit), BL24, BL22 (Montmorillonit, BL06, BL14, BL23
- Grüne Linie: BL03, BL13, SL01

Weitere Tests wären notwendig, um diesen Zusammenhang bestätigen zu können. Vorteil aus dieser Betrachtung wäre es, dass die Tonmineralienart über den Wassergehalt und dem linearen Trockenschwindmaß erkennbar wären, das eine mögliche Zuordnung für die weitere bautechnische Anwendung des Baulehms für den Lehmabau erleichtern könnte.

Zusammensetzung

Korngrößenverteilung

Die durchgeführten Handtests nach ÖNORM EN ISO 14688-1 bzw. Lehmabau-Regeln zeigten tatsächlich gut eine erste Tendenz, in welchem Bereich sich der Baulehm befindet. Dies gilt allgemein für sämtliche Prüfformen, wobei sich als besonders aussagekräftig, einfach und zugleich effektiv der Versuch zum „*Verhalten im Wasser*“ herausstellte. Dieser Versuch sollte auf alle Fälle immer als rasche Klassifikationsprüfung für einen Baulehm durchgeführt werden.

Als etwas schwieriger erwies sich beispielsweise der Versuch zur „*Dilatanz*“. Dieser ist etwas aufwendiger und nicht so klar erkennbar in der endgültigen Schlussfolgerung.

Einfach und ebenfalls effektiv ist der Versuch zur „*Trockenfestigkeit*“. Eine sofortige Einschätzung ist mit diesem Versuch jedoch nicht möglich, da dafür eine Trocknungszeit von mindestens 24 Stunden noch abzuwarten ist.

Interessant ist auch, wenn man die Handtests mit den Ergebnissen aus den Laborversuchen vergleicht, dass die erste augenscheinliche „*Einschätzung des Mineralgerüst*“ teilweise eine sehr gute erste Näherung zur tatsächlichen Korngrößenverteilung darstellt.

Zusammenfassend kann zu den Handtests gesagt werden, dass diese eine gute erste Befundung zur Baulehmklassifikation darstellen und unbedingt Bestandteil einer Vor-Ort Erstprüfung sein sollten. Jedoch darf das Ergebnis, ob Schluff oder Ton, nicht als Festlegung für den Hauptbestandteil des Bodens gesehen werden. Denn das Ergebnis „Cl“ aus dem Handtest bedeutet nicht einen Hauptbestand für Ton gemäß der Bezeichnung von Boden nach ÖNORM EN ISO 14688-1, der dann einen Anteil von mehr als 35% aufweisen müsste.

Zufolge der Untersuchung nach ÖNORM EN ISO 17892-4 kann der untersuchte Baulehm eindeutig nach dessen Bodengruppe (fein- und grobkörniger Boden) und dessen Korngrößenfraktionen (Ton, Schluff, Sand, Kies) im Labor beschrieben werden.

Aus den Ergebnissen der Korngrößenverteilung können auch die beiden Parameter wie Ungleichförmigkeitszahl C_U und Krümmungszahl C_C berechnet werden. Diese können verwendet werden, um zu prüfen, ob eine Korngrößenverteilung optimal abgestuft ist, bzw. um einen Baulehm durch das Hinzufügen von bestimmten Korngrößenbereichen optimal abzustufen.

Die Berechnung dieser beiden Parameter ist jedoch nur für einen Baulehm mit einem Tonfraktionsanteil kleiner 10% möglich, da ansonsten D_{10} nicht bestimmbar ist. Dies führt zu einer gewissen Einschränkung bei einer Erstbetrachtung des Baulehms, da oft die Tonfraktion größer als 10% ist. Jedoch bei der Aufbereitung des Baulehms zur Herstellung von Lehmbaustoffen ist es zumeist notwendig den Baulehm abzumagern, um etwa den Grenzwert von 2% für das Trockenschwindmaß einzuhalten. Hiernach kann sehr wohl genau über dieses Kriterium eine optimale Abstufung der Korngrößenverteilung vorgenommen werden.

Zusammengefasst heißt das, dass die beiden Parameter C_U und C_C für magere Baulehme ein wichtiges Maß darstellen, um die Korngrößenverteilung optimal einstellen zu können und so eine Erhöhung der Druckfestigkeit zu erreichen. In den durchgeführten Versuchen bestätigen gerade die Baulehme BL08, SL01, BL15, BL16, BL17, dass eine Korngrößenverteilung, die „weit gestuft“ ist, auch zu einer optimalen Druckfestigkeit führt.

Organische Bestandteile

Zur Untersuchung des Gehaltes an organischen Bestandteilen im Baulehm eignete sich von den Handtests vor allem der Farbttest sehr gut. Der Geruchstest liefert bei den untersuchten Baulehmen immer als Ergebnis einen „*trockener anorganischer Ton*“, da die Probe beim Anfeuchten immer einen erdigen Geruch hatte, auch wenn diese als mäßig organisch einzustufen wären.

Die Ergebnisse aus den Farbttest deckten sich ganz gut mit den durchgeführten Glühversuchen. Es zeigte sich bis auf BL02, dass wenn die Farbe grau bis dunkel aufgezeichnet wurde, sich der organische Gehalt mit über 5% dann auch in den quantitativen Untersuchungen durch die ÖNORM EN 17685-1 bestätigte.

Natürlicher Kalkgehalt

Der einfache Salzsäuretest ist ein ausgezeichneter Indikator, um den natürlichen Kalkgehalt im Baulehm feststellen zu können. Das Ergebnis der Tests führte von Baulehmen, die kein Aufbrausen durch das Betropfen des Baulehms mit verdünnter Salzsäure aufzeigten, bis hin zu deutlichen und manchmal aus stark, langandauernden Aufbrausen.

Falls keine Salzsäure zur Verfügung steht, kann auch ein hochkonzentrierter Haushaltsessig¹³⁸ verwendet werden, das auch durch die durchgeführten Tests bestätigt werden konnte.

Gehalt an Bauschädliche Salze

Nach den Grenzwerten aus den DIN-Lehmbaunormen und der ÖNORM B 3355 wies bei den untersuchten Baulehmen nur die Nitrate teilweise eine Grenzüberschreitung auf. Laut DIN sind 0,02% und nach ÖNORM B 3355 (0,05%) als Grenzwert einzuhalten. Dabei liegen bis auf BL14 und SL01 die Werte über den Grenzwerten.

Gleiches gilt für die Summenwert für den Gehalt an bauschädlichen Salze. Dabei wurden bei einigen Baulehmen der Grenzwert von 0,12% überschritten. Dazu sind zwei Überlegungen mitzubetrachten:

- Zumeist waren dies Baulehme, die bei Verwendung als Lehmbaustoff noch entsprechend abzumagern wären. Durch diese Abmagerung kommt es dann automatisch zu einer Reduktion des Gesamtsalzgehaltes.
- Bei Betrachtung der Angaben aus den Normen IS 2110 bzw. NMAC 14.7.4. werden wiederum die Werte bei weiten eingehalten, sowohl beim Summen- bzw. Einzelwerten.

Verhalten bei Wassereinwirkung

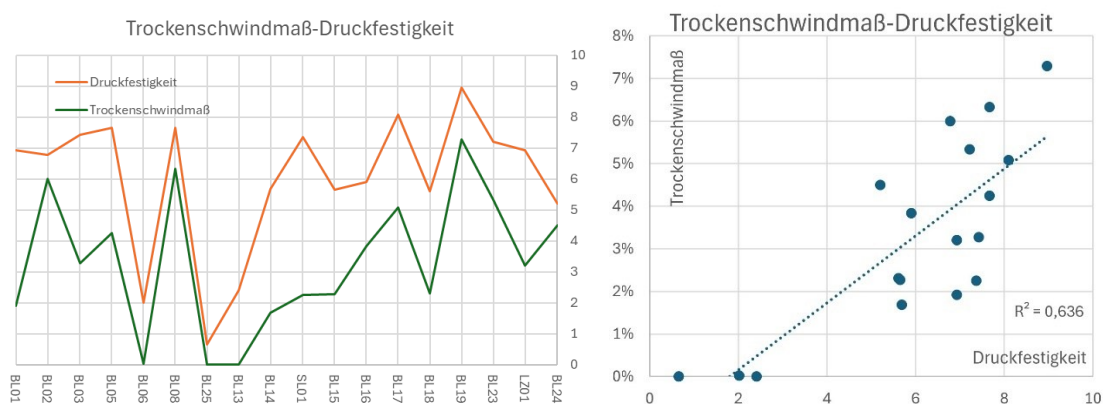
Lineares Trockenschwindmaß

In den durchgeführten Untersuchungen wurde immer ein Baulehm mit einer einheitlichen Zustandsform (=Normsteife gemäß Bindekraftprüfung) verwendet.

Bei der Auswertung der Ergebnisse konnten folgende Zusammenhänge aufgezeigt werden, wobei die reinen Tone (BL20, BL21 und BL22) nicht berücksichtigt wurden:

- gewisse Korrelation zwischen dem Wassergehalt w_{norm} und der Druckfestigkeit sowie Trockenschwindmaß, siehe Abbildung 13
- geringe Korrelation zwischen Trockenschwindmaß und Bindekraft, siehe Abbildung 14.

Abbildung 13: Oben Trockenschwindmaß und Druckfestigkeit; unten Trockenschwindmaß und Wassergehalt bei Normsteife



¹³⁸ Vgl. (Röhlen & Ziegert, 2020, S. 24)

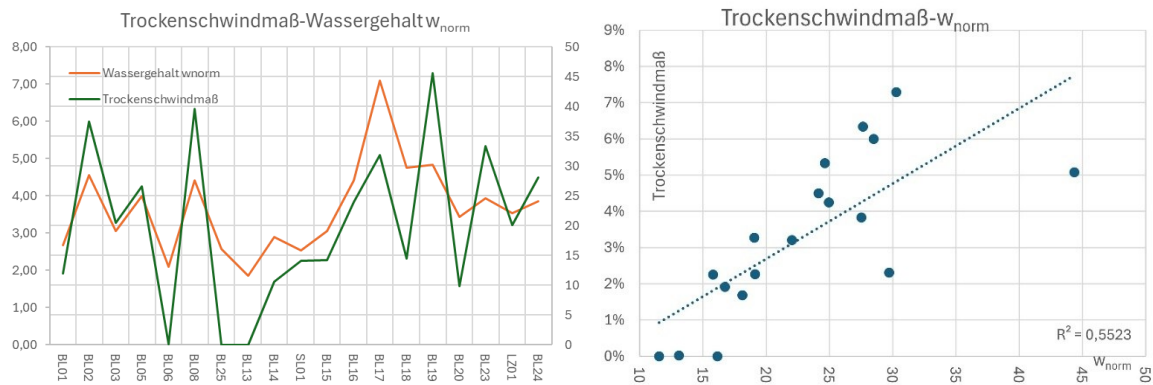
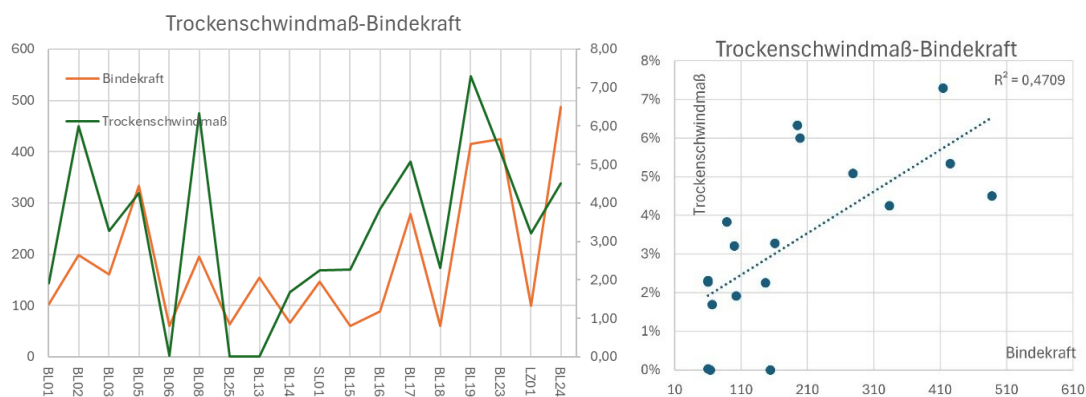


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Trockenschwindmaß und Bindekraft



Daher ist die Prüfung des Trockenschwindmaßes für eine Erstprüfung des Baulehms grundsätzlich kein wesentliches Kriterium.

Steht jedoch die Untersuchung auf die mögliche vorhandene Tonmineralienart im Mittelpunkt, so könnte über die Zusammenhänge aus Wassergehalt und dem Linearem Trockenschwindmaß sehr wohl interessante Aufschlüsse abgelesen werden, siehe Abbildung 12.

Die Lehmbau-Regeln verzichten beispielsweise auf die Untersuchung des Trockenschwindmaßes und das Technische Merkblatt 05 fordert diese Untersuchung nur für die Qualitätsüberwachung jedoch nicht für die Eignungsprüfung des Baulehms.¹³⁹

Für die spätere Produktprüfungen ist das Lineare Trockenschwindmaß für den Lehmputz und Lehmmauermörtel jedoch von wesentlicher Bedeutung, da dieses dann für die Bewertung möglicher Rissbildung im Lehmbaustoff relevant ist.

Plastizität

Die durchgeführten Handtests nach ÖNORM EN ISO 14688-1 liefern eine erste anwendbare Untersuchungsform zur Einschätzung der Plastizität. Die Ergebnisse aus den Prüfungen zeigen teilweise eine sehr gute Übereinstimmung mit den Werten aus den genauen Laborversuchen nach ÖNORM EN ISO 17892-12.

¹³⁹ (DVL TM 05, 2011)

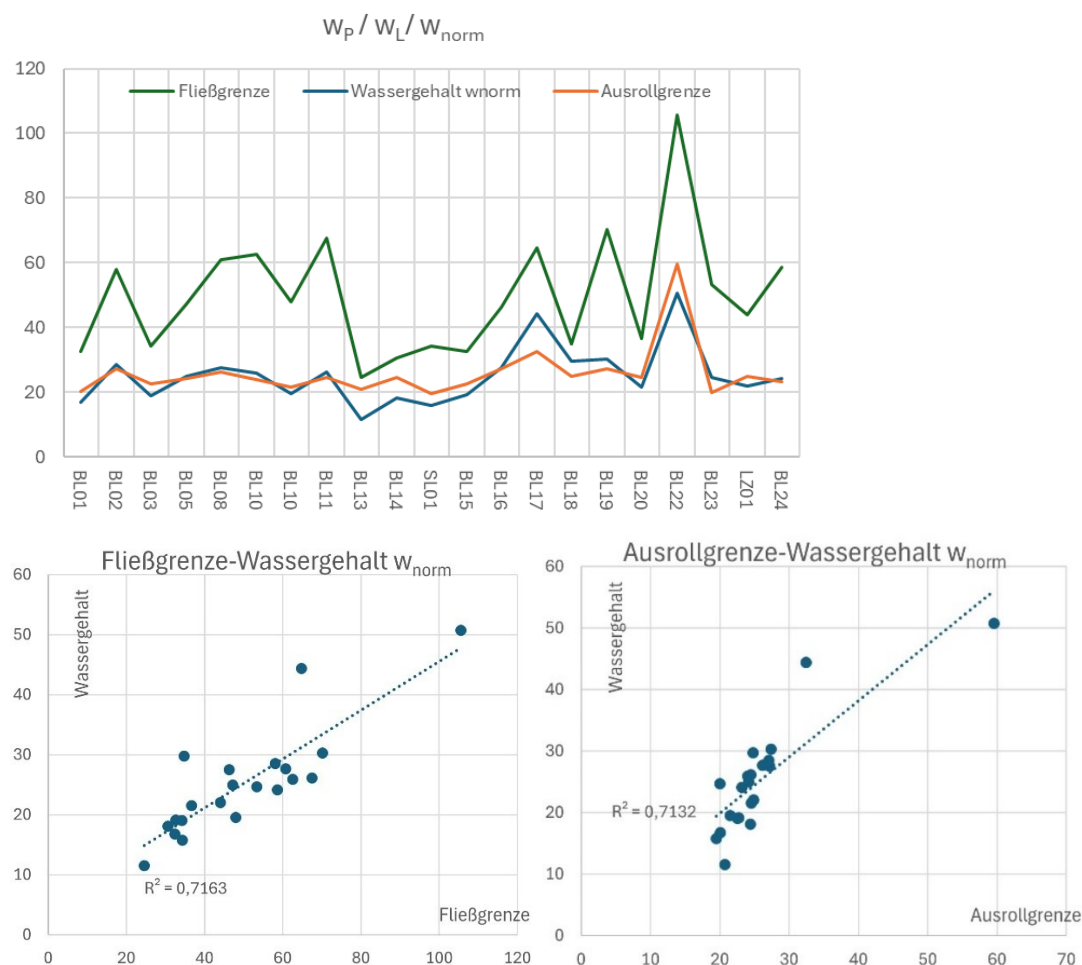
Im Labor werden die plastischen Eigenschaften eines Bodens durch die ÖNORM EN ISO 17892-12 festgestellt. Aus den ermittelten Ergebnissen zur Plastizität stellt sich die Frage wie weit die Bezeichnung für die Plastizität von „niedrig“, „mittel“, „hoch“ und „sehr hoch“ bzw. die Art des Bodens „Ton“ oder „Schluff“ für die lehmbautechnische Klassifikation eines Baulehmes herangezogen werden kann. Dabei könnte folgende Zuordnung für diese Klassifikationsform eingeführt werden:

- L = „niedrig plastisch“ ($w_L < 35\%$) → entspricht „mageren“ Baulehm
- M = „mittel plastisch“ ($w_L = 35 \text{ bis } 50\%$) → entspricht „fast fetten bis fetten“ Baulehm
- H = „hoch plastisch“ ($w_L = 50 \text{ bis } 70\%$) → entspricht „sehr fetten“ Baulehm
- V = „sehr hoch plastisch“ ($w_L > 70\%$) → entspricht „Ton“

Im Zuge der Versuche nach ÖNORM EN ISO 17892-12 wurden die beiden Zustandsgrenzen Fließ- und Ausrollgrenze bestimmt.

Für die Beschreibung des plastischen Verhaltens von Baulehm im Zuge des Bindekraftversuches wurde eine bestimmte Zustandsform nämlich ein Wassergehalt bei „Normsteife“ eingestellt. Aus dem heraus wäre es interessant, ob es einen Zusammenhang zwischen diesem Wassergehalt bei „Normsteife“ und der Fließ- und Ausrollgrenze gibt für die unterschiedlich geprüften Baulehme.

Abbildung 15: Oben: Fließ-, Ausrollgrenze und Wassergehalt bei Normsteife; unten: linearer Zusammenhang zwischen Fließ- und Ausrollgrenze und Wassergehalt bei Normsteife

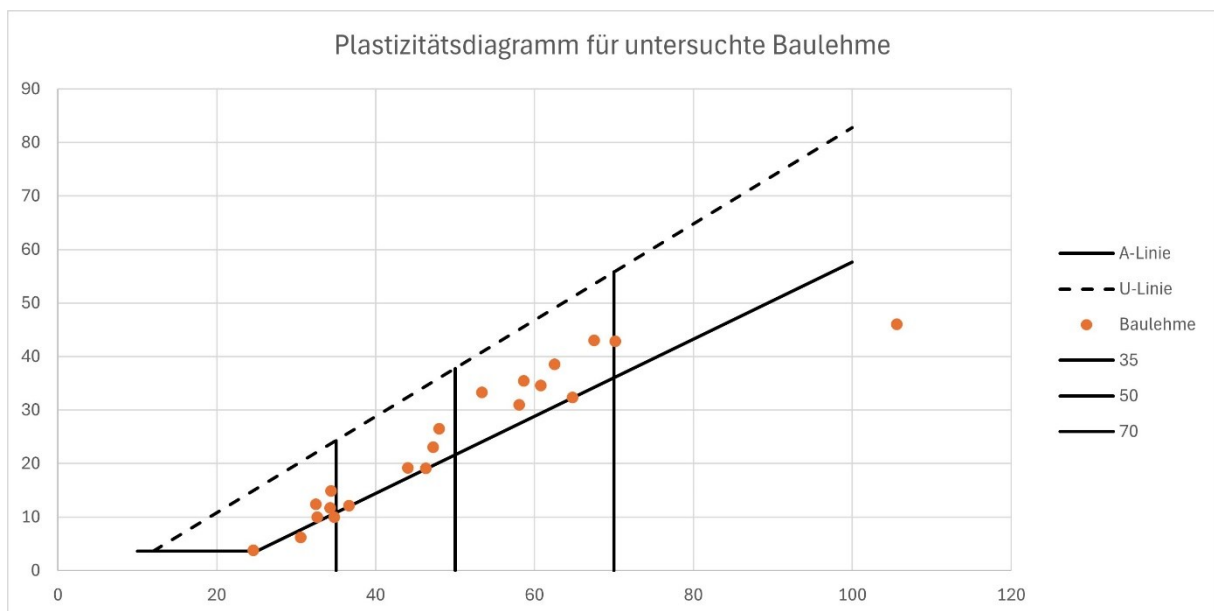


Dabei zeigt die Abbildung 15 einen eindeutigen linearen Zusammenhang zwischen den Zustandsgrenzen nach ÖNORM EN ISO 17892-12 und den Wassergehalt nach Normsteife. Zudem entspricht die Ausrollgrenze nahezu dem Wassergehalt bei „Normsteife“.

Die Angaben aus dem Versuch der Plastizität über die Art des Bodens „Schluff (SI)“ oder „Ton (CI)“ liefern bei Betrachtung der Ergebnisse ebenfalls eine gute Form, um über eine rasche Beschreibung des Feinkornanteiles (Schluff/Ton) vornehmen zu können., siehe dazu die in 4.3.3 abgebildeten Ergebnisse.

Abschließend zeigt die Abbildung 16, in welchen Bereichen die verschiedenen Baulehme im Plastizitätsdiagramm zu liegen kommen, zumeist oberhalb der A-Linie, das als Ergebnis nach ÖNORM EN ISO 17892-12 für „Ton“ steht.

Abbildung 16: Plastizitätsdiagramm für untersuchte Baulehme



Festigkeit

Bindekraft

Der Handversuch zur Kohäsion der „Kugelformtest“ liefert als ersten Schritt bereits eine gute erste Beurteilung, ob das Material als schluffig und damit „mager“ zu klassifizieren ist oder als tonig und damit „fett“ einzustufen ist. Dies konnte auch in den Versuchen gut bestätigt werden.

Im Labor wird die Bindekraft durch den Achterling-Test oder Bindekraftversuch durchgeführt. Der Ablauf des Bindekraftversuches ist als eher zeitintensiv einzuschätzen. Die unterschiedlichen Schritte, die durchgeführt werden müssen, bis beispielsweise die Normsteife des Bodens erreicht wird, sind aufwendig und führen teilweise in den Ergebnissen doch zu größeren Abweichungen und damit Unsicherheiten in der Auswertung. So wird nach den Lehm-Regeln als Maß zur Abweichung der einzelnen Bindekraftprüfungen festgelegt, dass diese nicht mehr als 10% voneinander abweichen dürfen. In der Durchführung der Untersuchungen stellte sich die Einhaltung dieses Grenzwertes jedoch als sehr schwierig heraus. Die Ursachen dafür können vielfältig sein, und trotz unterschiedlichster Adaptationen und unter Hinzuziehung erfahrener Bodenprüflaboranten konnte

dieses Kontrollmaß kaum eingestellt werden. Im Speziellen führen folgende Umstände zu einer Unsicherheit in der Versuchsabfolge:

- Aufbereiten des Bodens zur Normsteife, dabei verbunden die Schwierigkeiten des Einarbeitens des Wassers in die Tonmineralienstruktur speziell bei sehr tonigen Baulehmen. Diese Problematik der Aufbereitung konnte auch nicht durch das bewusste Ruhenlassen des Bodenmaterials (Mauken) verbessert werden. Auch unter dieser Adaption des Probeablaufes lag die Streuung der einzelnen Versuchsergebnisse zumeist über 10%.
- Verdichtung des Bodens beim Einbau in die Achterling-Schalung.
- Für ein sehr mageres Material ist dieser Versuch ungeeignet.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass der wie in den Lehmbau-Regeln beschriebene Bindekraftversuch in keiner regionalen oder internationalen Norm erwähnt wird. In diesen wird vielmehr eine Klassifikation anhand der Zustandsgrenzen (Fließ- und Ausrollgrenze und den damit ermittelten Plastizitätsindex) vorgenommen. Daher kann man sagen, dass diese Prüfmethodik nur im deutschsprachigen Raum über die Lehmbau-Regeln zur Anwendung kommt, die jedoch nicht als Norm einzustufen ist.

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Bindekraft sind

- Tongehalt des Baulehms,
- Art der vorhandenen Tonminerale.

Aus diesen Umständen, fehlende normative Grundlage sowie erhöhter Aufwand in der Versuchsdurchführung, heraus wäre es zweckmäßig, ein Ersatzverfahren für den Bindekraftversuch zu finden.

Alternative 1: Langsam-Scherversuch LSV:

Der für viele Bodenuntersuchungen häufig angewendete Langsam-Scherversuch nach ÖNORM EN ISO 17892-10 wird an einer gestörten Probe im Rahmenschergerät durchgeführt. Dabei wird das Bodenmaterial in eine Scherbüchse eingebaut, und über eine definierte vertikale Auflast belastet. Danach wird mit einer horizontalen Scherlast so lange die Bodenprobe belastet bis diese abscheret und versagt. Dieser Versuch wird mit drei unterschiedlichen Auflasten durchgeführt. Die so erhaltene Scherlasten werden aufgezeichnet und anschließend über das Mohr Coulomb'sche Gesetz über den Zusammenhang Normalspannung und Scherspannung aufgetragen. Über den so erhalten linearen Zusammenhang dieser beiden Spannungen können der Reibungswinkel und die Kohäsion des vorhandenen Bodens abgelesen werden. Werte auf der positive X-Koordinate spiegeln dabei die aufgebrachte Druckspannungen auf der Bodenprobe dar. Demzufolge wären dann die negativen X-Koordinaten die Zugspannungen, die der Boden aufnehmen könnte. Sobald die Schergerade die x-Achse schneidet, wäre das mit dem Versagen gleichzusetzen und dies wäre dann die maximale mögliche Zugkraft.

Dazu wurden die Baulehme BL07, BL09 bis BL12, Bodenproben, die für laufende Untersuchungen an der CSVA mit dem Langsam-Scherversuch auf dessen Kohäsion und Reibungswinkel überprüft wurden, verwendet. Zu diesen Prüfungen wurde im Rahmen von diesem Forschungsprojekt auch die jeweilige Bindekraft ermittelt. In der Auswertung zeigt sich jedoch, dass die Werte nicht wirklich zueinander korrelieren.

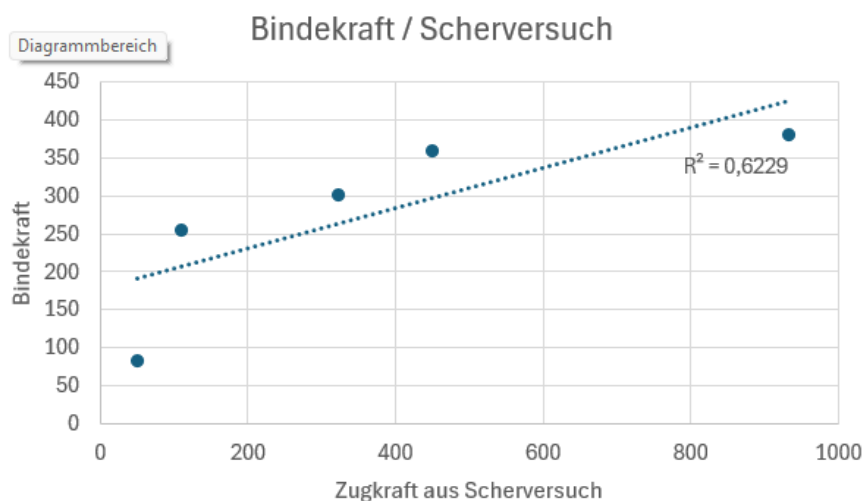
Die Tabelle 53 liefert im ersten Teil die Ergebnisse aus dem Langsam-Scherversuch und die aus der Schergerade rechnerisch ermittelte Bindekraft. Im zweiten Teil finden sich die Werte zur Bindekraft aus dem Bindekraftversuch nach den Lehm-bau-Regeln.

Tabelle 53: Ergebnisse Scherversuch und Bindekraftversuch

	BL07		BL09	BL10		BL11
	24 007	24 040	24 009	24 010	24 011	24 012
Kohäsion c [kN/m ²]	12,5	4	3	10,5	40	19
Reibungswinkel [°]	15,5	20	31	18	21,5	11,5
$X(y=0) \rightarrow$ Zugkraft [kN/m ²]	-45,1	-11	-5	-32,3	-101,5	-93,4
Rechnerische Bindekraft aus LSV [g/cm ²]	451	110	49,9	323	1016	934
Bindekraft aus Versuch [g/cm ²]	360	255	87,7	302,6	190	381

Diese beiden Werte, rechnerische Bindekraft aus dem Langsam-Scherversuch und Bindekraft aus dem Achterling-Versuch, wurden nun in der Abbildung 17 zueinander aufgetragen, wobei die Ergebnisse aus 24 011 ausgeschieden werden, da hier die Kohäsion relativ hoch ist und eher nicht repräsentativ erscheint. Dabei zeigt sich, dass ein gewisser linearer Zusammenhang erkennbar ist.

Abbildung 17: Zusammenhang Bindekraft und Zugkraft aus Scherversuch



Damit konnte über die Auswertung der durchgeführten Versuche ein gewisser Rückschluss über den Scherversuch auf die Bindekraft des Baulehms tatsächlich nachgewiesen werden.

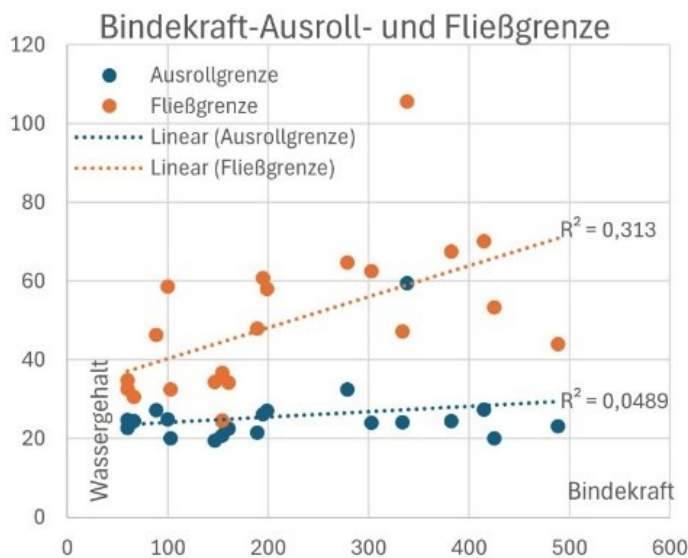
Über vertiefende Untersuchungen wäre es noch notwendig diesen Zusammenhang nochmals näher zu prüfen. Denn der Vorteil des Scherversuches liegt auf der Hand. Zum einen stellt dieser Versuch einen genormten Prüfablauf dar, der zumeist für geotechnische Gutachten durchzuführen ist, da man damit wichtige Bodenkennwerte wie den Reibungswinkel und die Kohäsion erhält, und zum anderen wäre es auch spannend, die Kohäsion selbst auf dessen Relevanz für den Lehm-bau näher zu untersuchen.

Alternative 2: Zustandsgrenzen aus ÖNORM EN ISO 17892-12

Eine zweite Alternative wäre es, die zuvor beschriebenen Fließgrenze, Ausrollgrenze und Plastizitätszahl heranzuziehen. Der Vorteil dieser Alternative ist wiederum, dass es sich hier um eine genormte Prüfmethode (ÖNORM EN ISO 17892-12) handelt, die wie der Scherversuch zu der typischen Prüfung für geotechnische Bodengutachten zählt.

Daher werden zunächst die Ausrollgrenze (blaue Gerade) und die Fließgrenze (orange Gerade) in Bezug auf die Bindekraft aufgetragen, siehe Abbildung 18.

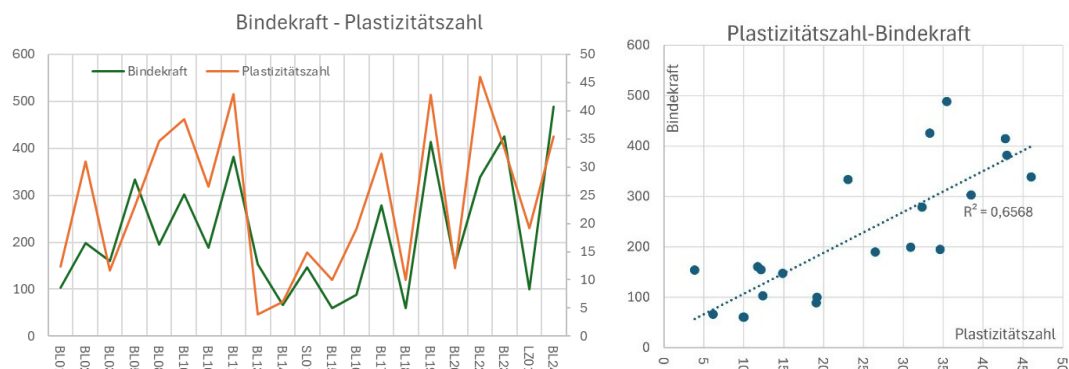
Abbildung 18: Zusammenhang Bindekraft und Fließ- und Ausrollgrenze



Jedoch zeigte sich dabei, dass es weder für die Ausrollgrenze noch für die Fließgrenze ein direkter Zusammenhang herstellbar ist.

Bringt man jedoch die Fließgrenze und Ausrollgrenze über die Plastizitätszahl (= Differenz der beiden Zustandsgrenzen) in Verbindung, und trägt diese in Bezug auf die Bindekraft auf, zeigte sich, dass sich hier sehr wohl eine Relation zur Bindekraft herstellen lässt, siehe Abbildung 19. Damit wäre über diese Zahl eine vielversprechende und wichtige Alternative zum Bindekraftversuch gefunden.

Abbildung 19: Zusammenhang Bindekraft und Plastizitätszahl



Biegezug- und Druckfestigkeit

Die Prüfung auf Biegezug- und Druckfestigkeit wird standardmäßig mit ÖNORM EN 1015-11 durchgeführt. Dieses Verfahren kann in Analogie auch für den Lehm- und Ziegelbau herangezogen werden. Besondere lehm- und ziegelbauspezifischen Anforderungen sind dabei nicht zu berücksichtigen bis auf die Aufbereitung des Baulehms zum Einbau in die Prismaformen.

Allgemein seien an dieser Stelle nochmals die Einflussgrößen auf die Druckfestigkeit zusammengefasst:

- Korngrößenverteilung: ungleichförmige Baulehme (z.B. Geschiebelehm) sind für die Verarbeitung zu Stampflehm besser geeignet als gleichförmiger (z.B. Lösslehm).¹⁴⁰ Das heißt ungleichförmige Lehm sind dichter und weisen demnach eine höhere Druckfestigkeit auf.
- Natürlicher Kalkgehalt: dieser führt möglicherweise zu einer Erhöhung der Druckfestigkeit.
- Organische Bestandteile: Bei Böden mit erhöhten organischen Bestandteilen bewirken diese, durch dessen Eigenschaft mehr Wasser aufnehmen zu können, eine Reduktion der Druckfestigkeit.¹⁴¹
- Art und Menge der Tonmineralien,
- Aufbereitung (unter Verwendung eines optimalen Wassergehaltes analog zum Proctor-Versuch), Verdichtung und Mauzeit,
- Zugabe von Zusatzstoffen.

Als Alternative zur Durchführung der Druckfestigkeitsprüfung auf der Baustelle wäre es interessant zu wissen, ob ein Zusammenhang zwischen Druck- und Biegezugfestigkeit besteht. Dies wäre deshalb von Interesse, da die für Biegezugprüfung aufzubringende Prüfkraft um ein Vielfaches geringer ist als die benötigte Normalkraft für die Druckfestigkeit.

In der neuseeländischen Norm NZS 4297 ist es etwa zulässig, die Druckfestigkeit über die Biegezugfestigkeit abzuschätzen. Wird die Festigkeit nur über den Biegezugversuch ermittelt, so kann die Druckfestigkeit durch die Multiplikation der Biegezugfestigkeit mit dem Faktor 3 rechnerisch ermittelt werden. Dies konnte in den durchgeführten Versuchen bestätigt werden. Der Faktor Druckfestigkeit zu Biegezugfestigkeit lag in der Regel über dem Faktor 3.

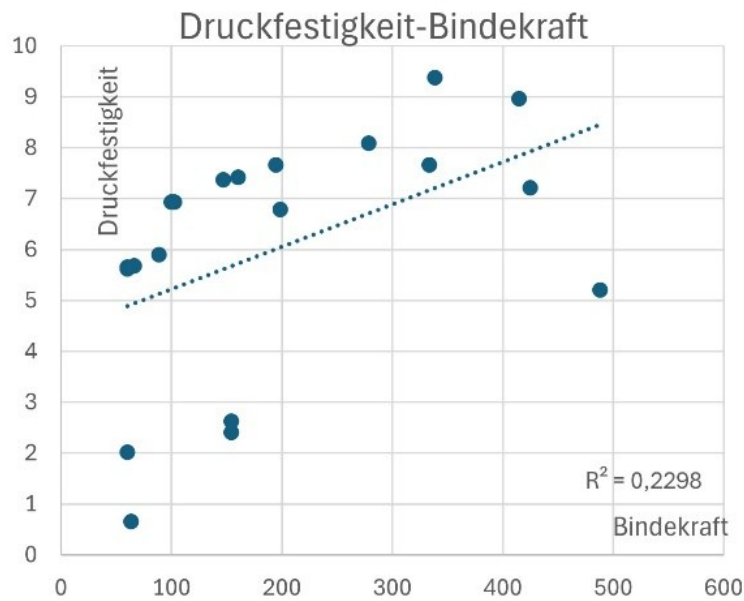
Des Weiteren konnten folgende allgemeine Schlussfolgerungen für die Druckfestigkeit aufgezeigt werden:

- Ein erhöhtes Lineare Trockenschwindmaß (ab 2%) in der Regel bei Baulehmen mit erhöhtem Tonanteil führt auch zu höheren Festigkeitswerten, siehe Abbildung 13.
- Die Bindekraft ist dabei weniger als Kontrollmaß geeignet. Trotz fehlender Bindekraft kann der Baulehm noch immer eine ausreichende Druckfestigkeit aufweisen. Beispielsweise lag die Bindekraft bei BL14 bei 66,5g/cm², das lineare Trockenschwindmaß bei 1,7% und die Druckfestigkeit erreichte trotzdem einen relativ hohen Wert mit 5,68N/mm². Oder die Baulehme BL15 und BL16 ergaben einen Baulehm mit einer Bindekraft von 88,7g/cm², ein lineares Trockenschwindmaß von 3,8% und die Druckfestigkeit ergab 5,9N/mm².
- Ein direkter Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Bindekraft kann nicht hergestellt werden, wie die Abbildung 20 zeigt.

¹⁴⁰ Vgl. (Schröder, 2019, S. 93)

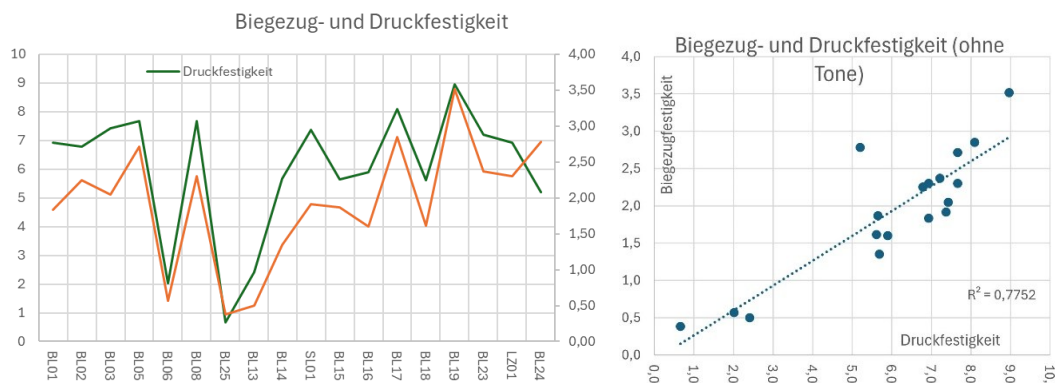
¹⁴¹ Vgl. (Schröder, 2019, S. 125)

Abbildung 20: Zusammenhang Druckfestigkeit und Bindekraft



Jedoch zeigt Abbildung 21, dass zwischen Biegezug- und Druckfestigkeit ein direkter Zusammenhang besteht.

Abbildung 21: Zusammenhang Biegezug- und Druckfestigkeit



Klassifizierung von Baulehm

Abschließender Schritt zur endgültigen Bewertung eines Bodens auf dessen mögliche Verwendung als Baulehm wäre es nun wichtig, eine Klassifizierung auf Basis der durchgeführten Prüfung vornehmen zu können.

In diesem Zusammenhang kann aus der Literatur vor allem auf die Zusammenstellung von (Schröder, 2019) verwiesen werden. Dabei werden die Erkenntnisse vor allem auf Grundlage von (Niemeyer, 1987) gestützt, der in seiner Betrachtung als wesentliche Prüfung den Bindekraftversuch sieht. Auf Basis dieses Versuches nahm Niemeyer eine Einteilung für die „Lehmart“ vor.¹⁴²

¹⁴² Vgl. (Niemeyer, 1987, S. 131, Tafel I)

In der Tabelle 54 ist dies in der ersten Spalte angeschrieben. Die Tabelle wird nun von (Schröder, 2019) durch die beiden Parameter Wassergehalt bei „Normsteife“ und dem Linearen Schwindmaß erweitert. Die durchgeführten Versuche zeigten jedoch, dass man zwar einen Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Linearem Schwindmaß erkennen kann, jedoch nicht für die Bindekraft.

Tabelle 54: Klassifikation von Baulehm¹⁴³

Bindekraft [g/cm ²]	Wassergehalt bei Normsteife [%]	Lineares Schwindmaß [%]	Klassifikation des Baulehms
50 – 80		0,9 – 2,3	sehr mager
81 – 110	9,5 – 12	0,9 – 2,3	mager
111 – 200	11 – 15	1,8 – 3,2	fast fett
201 – 280	12 – 20	2,7 – 4,5	fett
281 – 360		3,6 – 9,1	sehr fett
> 360	15 – 23	> 9,1	Ton

Der nächste Schritt wäre nun aus der Baulehmklassifikation zu einem Lehmbaustoff zu kommen mit dem Ziel eine mögliche Zugabe von Zusatzstoffen so gering wie möglich zu halten. Zur Herstellung eines Lehmbaustoffes wird in den bestehenden DIN-Normen allgemein die Anforderung gestellt, dass diese aus Baulehm unter gegebenenfalls organischer und/oder mineralischen Zusatzstoffen erfolgt. Wie der Baulehm beschaffen sein soll, wird in diesen Produktnormen nicht näher definiert, was auch verständlich ist. Denn in diesen Normen gilt es schlussendlich die Anforderungen auf den Lehmbaustoff (Lehmbauprodukt) zu erreichen.

Vorgaben an den Baulehm zur Herstellung von Lehmbaustoffen findet man aber dann doch in der Literatur. Die nachfolgenden Tabelle 55 zeigt eine Zusammenstellung aus den Lehmbau-Regeln wie man über die Baulehmklassifikation aus Tabelle 54 zu einem geeigneten Lehmbaustoff kommt.

Tabelle 55: Mögliche Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation¹⁴⁴

Charakteristik Baulehm	Geeignet für
Magere bis fette Baulehme	Stampflehm
Besonders geeignet gemischtkörniger bis steiniger Lehm (Berg- oder Gehängelehm)	Stampflehm
Alle Baulehme nur sehr fetter Lehm oder Ton ist ungeeignet ebenso steiniger Lehm	Wellerlehm
Sehr mager bis mager (nach Bindekraft)	Faserlehm, Strohlehm mit einer Rohdichte 1200-1700kg/m ³
Fast fett nach Bindekraft	
Sehr fetter oder aufschlammbarer Ton	Leichtlehm (300-800kg/m ³)
Empfehlung: Baulehm mit schluffigem Mineralgerüst	
Magerer bis sehr magerer Lehm	Leichtlehm (900-1200kg/m ³)
Empfehlung: Baulehm mit schluffigem Mineralgerüst	

¹⁴³ Vgl. (Schröder, 2019, S. 109)

¹⁴⁴ Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009)

Charakteristik Baulehm	Geeignet für
Jeder Baulehm geeignet	Lehmschüttung
14%Ton, 22% Schluff, 62%Sand und 2% Kies Genügend Grobsand mit ausreichend Ton ¹⁴⁵	Lehmsteine
	Lehmplatte
Nicht zu magerer, steinfreien Baulehm ¹⁴⁶	Lehmmörtel, Lehmputzmörtel

Etwas vertiefender und genauer sind die Angaben zum Baulehm in Verbindung zur Eignung als Lehmbaustoff in (Schröder, 2019). Diese wurden in der Tabelle 56 zusammengestellt. Dabei finden sich in der ersten Spalte Vorgaben zum Baulehm und in der letzten Spalte welcher Lehmbaustoff mit diesem Baulehm hergestellt werden könnte. Interessant sind dabei die von Schröder genannten Produkteigenschaften, die im Wesentlichen dabei immer die Korngrößenverteilung, Bindekraft und Plastizität sind. In der allgemeinen Prüfung wurde dabei festgehalten, dass Baulehm generell frei von Verunreinigungen sein soll und die Druckfestigkeiten respektive Biegezugfestigkeiten entscheidender bei der Prüfung für das fertige Produkt sind.

Die mittlere Spalte der Tabelle 56 enthält noch eine Art Übersetzung der Vorgabe nach Schröder auf die mögliche Benennung nach den über Tabelle 46 definierten Klassen.

Tabelle 56: Mögliche Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation

Charakteristik Baulehm nach ¹⁴⁷	Mögliche Klassifikation	Geeignet für
KGV: flach und stetig verlaufende, gemischtkörniger Baulehm Bindekraft: mager bis fett Plastizität: schwach bis mittel ¹⁴⁸	weit gestuft: $C_U > 15$, $C_C = 1$ bis 3 Feinkornanteil 5 bis 35% (81-110) bis (201-280g/cm ²) $w_L < 35$ bis 50%	Stampflehm
KGV: Feinkörniger Boden Bindekraft: mager bis fett Plastizität: schwach bis mittel	Feinkornanteil > 35% (81-110) bis (201-280g/cm ²) $w_L < 35$ bis 50%	Wellerlehm
KGV: Schluffkörniger Lehm Bindekraft: mager bis fast fett Plastizität: schwach	(81-110) bis (111-200g/cm ²) $w_L < 35\%$	Stroh- bzw. Faserlehm
Bindekraft: mager bis sehr fett (mit Zunahme von Stroh muss auch Bindekraft zunehmen) Plastizität: schwach bis hochbindig Fehlt Ton: Zugabe von Tonmehl	(81-110) bis (281-360g/cm ²) $w_L < 35$ bis 70%	Leichtlehm
KGV: keine Anforderung Bindekraft: keine Anforderung Plastizität: keine Anforderung	Keine Anforderung	Lehmschüttung

¹⁴⁵ Vgl. (Minke, 2009, S. 128); Grünlinge aus Ziegelei mit 24%Ton, 50%Schluff, 23% Sand und 3% Kies weisen wegen möglichen Feuchteinwirkung stark Quell- und Schwindanfälligkeit einen erheblichen Nachteil auf.

¹⁴⁶ Laut Minke sollte ein Lehmputz große Mengen an Grobsand (entspricht >0,63 bis 2mm) sowie ausreichend Ton enthalten. Dazu eine Empfehlung von Schuh: Unterputz = 4Eimer fetter Lehm + 2 Eimer Sand, Oberputz = 2Eimer fetter Lehm + 4 Eimer Sand, Innenputz = 1Eimer fetter Lehm + 1Eimer Sand (Minke, 2009, S. 192-193)

¹⁴⁷ Vgl. (Schröder, 2019, S. 176f)

¹⁴⁸ Vgl. (Schröder, 2019, S. 177): $l_p = 3-30\%$, $w_L = 24-46\%$

Charakteristik Baulehm nach ¹⁴⁷	Mögliche Klassifikation	Geeignet für
KGV: feinkörnig schluffig bis sandig Bindekraft: mager bis fett Plastizität: schwach	Feinkornanteil > 35% (81-110) bis (201-280g/cm ²) $w_L < 35\%$	Lehmmörtel (allgemein)
Bindekraft: mager bis fast fett Plastizität: schwach	(81-110) bis (111-200g/cm ²) $w_L < 35\%$	Lehmmauermörtel
KGV: Schluffig-sandiger Boden, mit ausreichendem Anteil im Grobschluff- bis Mittelsandbereich Bindekraft: Gerade ausreichender Anteil an Tonmineralien Fehlt Ton: Zugabe von Tonmehl	cl'SaSi (mäßig gestuft) 0,02 bis 0,63mm (Grobschluff bis Mittelsand) (81-110g/cm ²)	Lehmputzmörtel
Bindekraft: fast fette bis fette Plastizität: schwach bis mittel	(111-200) bis (201-280g/cm ²) $w_L < 35$ bis 50%	Lehmspritzmörtel
Bindekraft/Plastizität/KGV muss entsprechen $I_p = 17-33\%$, $w_L = 32-50\%$	(111-200) bis (201-280g/cm ²) $w_L < 35$ bis 50%	Lehmsteine
Bindekraft/Plastizität/KGV muss entsprechen	-	Lehmplatten

Damit kann aus den gewonnenen Erkenntnissen folgende wesentliche Schlussfolgerungen angestellt werden:

- Eine gezielte und detaillierte Klassifizierung des Baulehmes ist durch die bereits bestehenden fachverwandten Prüfnormen möglich. Die in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** angeführten Produkteigenschaften, Referenzprüfverfahren und daraus resultierenden Klassen oder Anforderungen lassen eine genaue Einordnung des Bodens zu.
- Damit ist es erstmals möglich, eine standardisierte Baulehmprüfung durchzuführen und eine bessere Vergleichbarkeit unter Baulehmen zu schaffen sowie die Anwendbarkeit eines Bodenaushubes zur Verwendung als Baulehm sicherzustellen.
- Aus dieser Zusammenstellung konnte im Rahmen dieses Forschungsprojektes eine Empfehlung zur Baulehmprüfung erstellt werden. Diese umfasst Prüfmethoden für Feld- und Laborversuchen und kann so für die Vor-Ort Herstellung von Lehmbaustoffen sowie für industrielle Herstellung von Lehmbauprodukten herangezogen werden.
- Baulehm ist ein wesentlicher Ausgangsstoff zur Herstellung eines Lehmbaustoffes. Genaue Vorgaben über die Beschaffenheit des Baulehmes für die unterschiedlichen Lehmbaustoffarten wie Lehmstein, Lehmputz, Lehmschüttung, Stampflehm fehlen jedoch weiterhin. Dies sollte als nächsten Schritt basierend auf den Ergebnissen dieses Forschungsprojektes erfasst werden.

Lehmbaustoffe

Wie zu Beginn des Kapitels ausgeführt wird Baulehm gegebenenfalls mit organischen und/oder mineralischen Zusatzstoffen so weit adaptiert, sodass sich schlussendlich die Anforderungen für den jeweiligen Lehmbaustoff eingehalten werden können.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde Baulehm ausschließlich mit mineralischen Zusatzstoffen aufbereitet, und zwar mit der Körnung 0/2mm. Des Weiteren wurde in der Regel auch der Wassergehalt gemäß dem Bindekraftversuch nach Lehm-Bau-Regeln eingestellt. Dies hatte folgende Vorteile:

- bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch einen einheitlichen Wassergehalt.
- Falls es die Mischung zuließ, konnte auch der Bindekraftversuch durchgeführt werden.

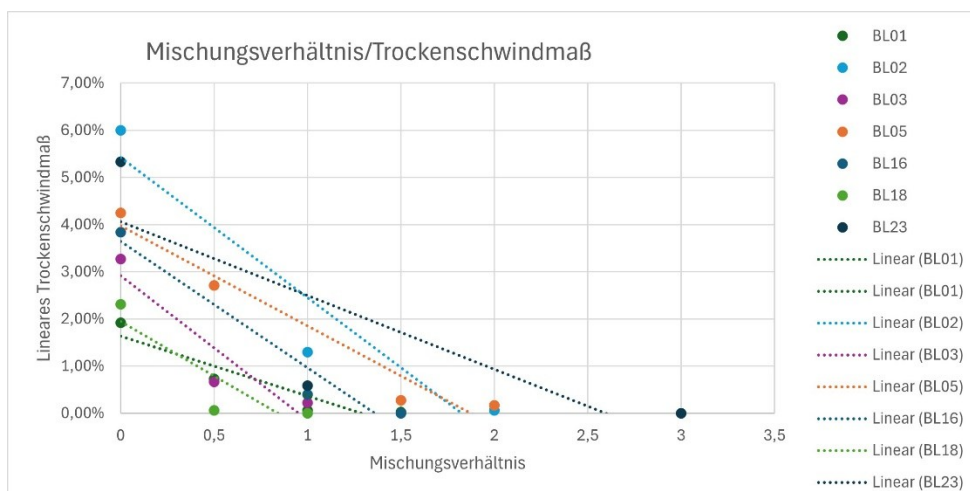
- Eine optimale Verdichtung für Baulehm liegt ebenfalls in der Regel in der Nähe der Ausrollgrenze, die auch annähernd dem Wassergehalt bei Normsteife entspricht.

In der Auswertung konnte damit für jeden Baulehm getrennt zunächst die Auswirkungen aus der Zugabe des mineralischen Zusatzstoffes betrachtet werden und bestimmt Gesetzmäßigkeit abgeleitet und bestätigt werden.

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse zusammengefasst. Dabei werden in den Abbildungen jeweils auf der X-Achse für den unterschiedlichen Baulehm das jeweilige Mischungsverhältnis aufgetragen und auf der Y-Achse die unterschiedlichen Produkteigenschaften: Lineares Trockenschwindmaß, Bindekraft, Druck- und Biegezugfestigkeit.

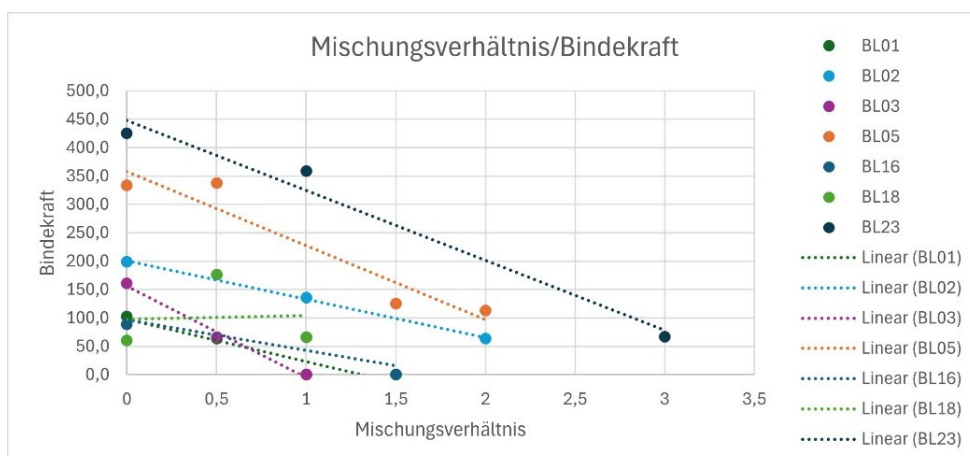
Die Abbildung 22 zeigt, wie durch ein Abmagern des Baulehms auch das lineare Trockenschwindmaß reduziert werden kann.

Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Trockenschwindmaß und Mischungsverhältnis



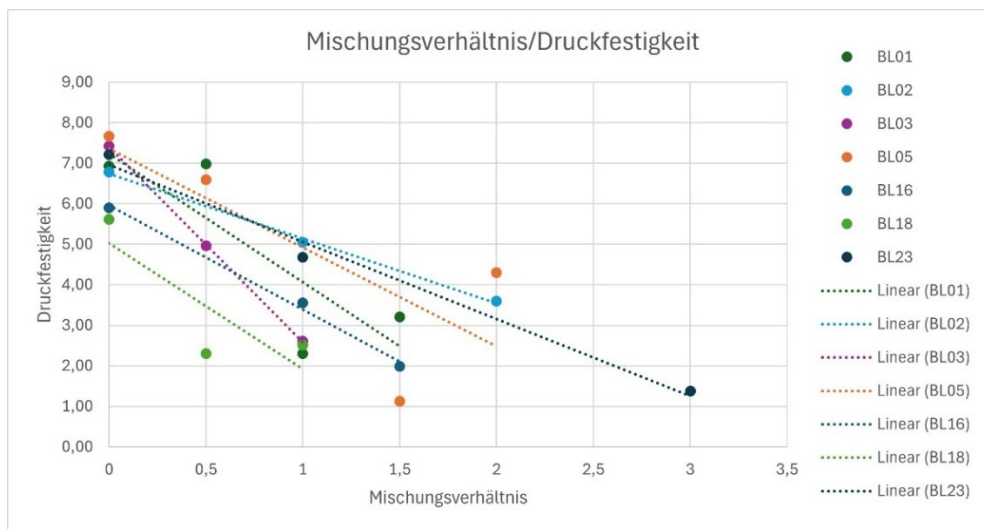
Die Abbildung 23 zeigt, dass das Abmagern des Baulehms auch zu einer Abnahme der Bindekraft führt, außer die Bindekraft ist bereits im Grundmaterial sehr niedrig, wie dies beim Baulehm BL18 der Fall ist.

Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Bindekraft und Mischungsverhältnis



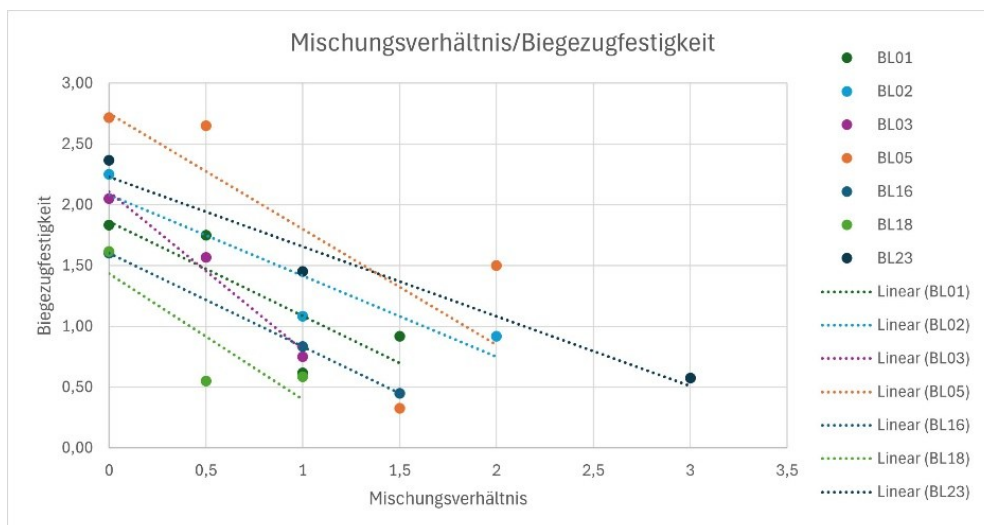
Die Abbildung 24 zeigt auch, dass durch ein Abmagern des Baulehms die Druckfestigkeit abnimmt.

Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Mischungsverhältnis



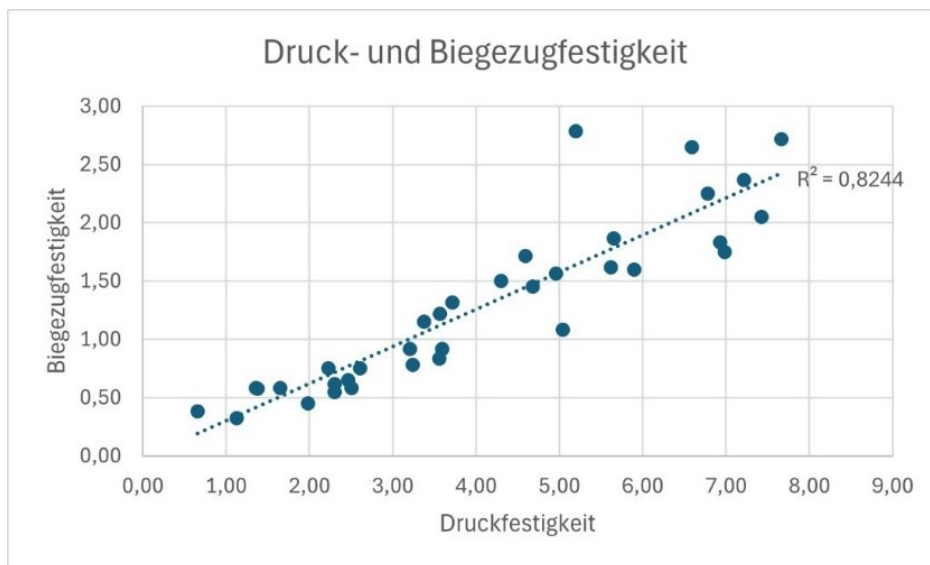
Gleiches gilt auch für die Biegezugfestigkeit, wie die die Abbildung 25. Eine Abmagerung des Baulehmes ist gleichbedeutend mit einer Abnahme der Biegezugfestigkeit.

Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Biegezugfestigkeit und Mischungsverhältnis



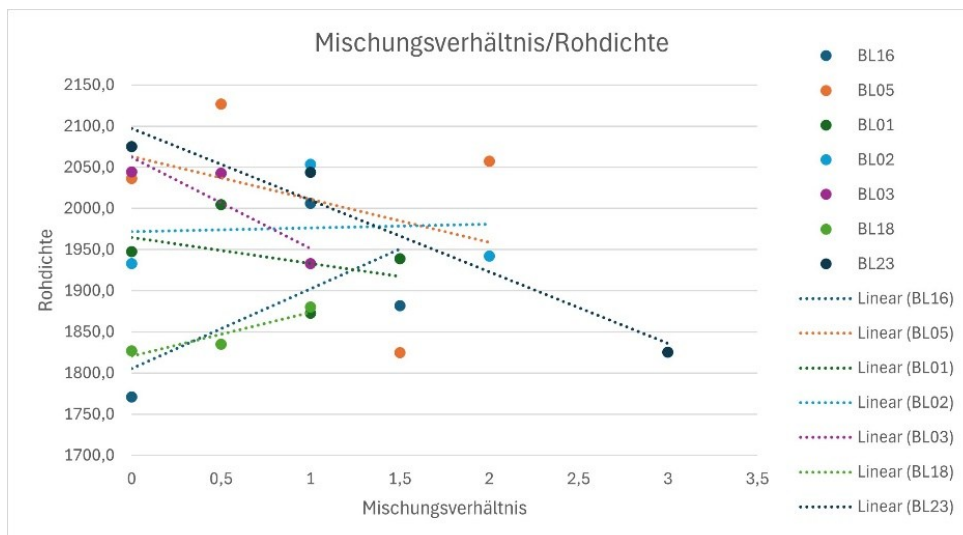
Damit kann aus den beiden letzten Abbildungen wieder ein Zusammenhang zwischen Biegezug- und Druckfestigkeit abgeleitet werden. In der folgenden Abbildung 26 wurden die beiden Festigkeitswerte in Relation gestellt und es konnte erneut der Nachweis erbracht werden, dass zwischen den beiden Werten ein linearer Zusammenhang angenommen werden kann und der Faktor zwischen Druck- und Biegezugfestigkeit mit dem Faktor 3 angenommen werden kann.

Abbildung 26: Zusammenhang zwischen Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit



Zum Unterschied zur Baulehmprüfung wurde für die Lehmbaustoffprüfung auch die Rohdichte miterfasst. Als erstes wurde wieder über das Mischungsverhältnis geprüft ob hier ein Zusammenhang zur Rohdichte sich ableiten lässt. Hier zeigt sich eine Veränderung in der Auswertung. Bei der Rohdichte stellte sich heraus, dass BL02, BL16 und BL18 ein anderes Verhalten zeigten als die anderen Baulehme. Während bei allen Baulehmen die Abmagerung auch zu einer Abnahme der Rohdichte führt, zeigt sich bei den zuvor erwähnten Baulehme ein Trendumkehr. Hier führt das Abmagern zu einer Zunahme der Rohdichte, wie Abbildung 27 aufzeigt.

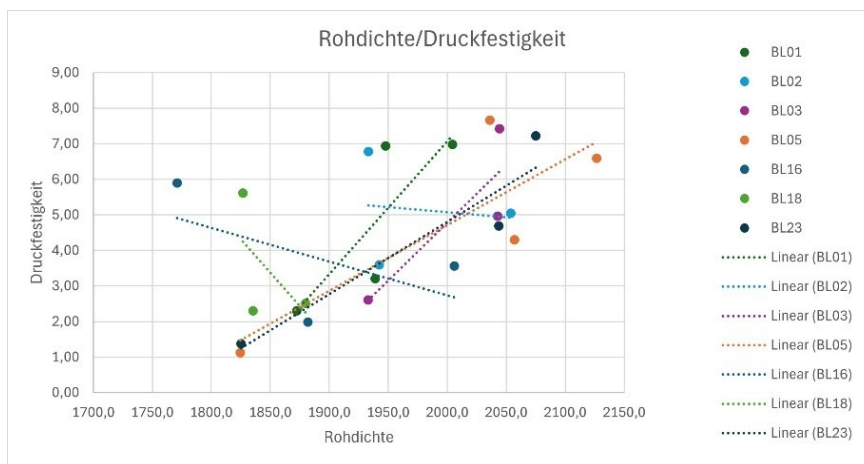
Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Mischungsverhältnis und Rohdichte



Ein Gleiches Verhalten stellte sich auch beim Verhältnis Rohdichte zu Druckfestigkeit ein, siehe Abbildung 28. Wieder waren es die Baulehme BL02, BL16 und BL18, die zu den anderen Baulehme ein entgegengesetztes Verhalten aufwiesen. Führte die Zunahme der Rohdichte in der Regel auch zu einer Zunahme der Druckfestigkeit, so zeigte es sich, dass bei BL02, BL16 und BL18 sich dieser Trend umkehrte und die Zunahme der Rohdichte zu einer Abnahme der Druckfestigkeit führt.

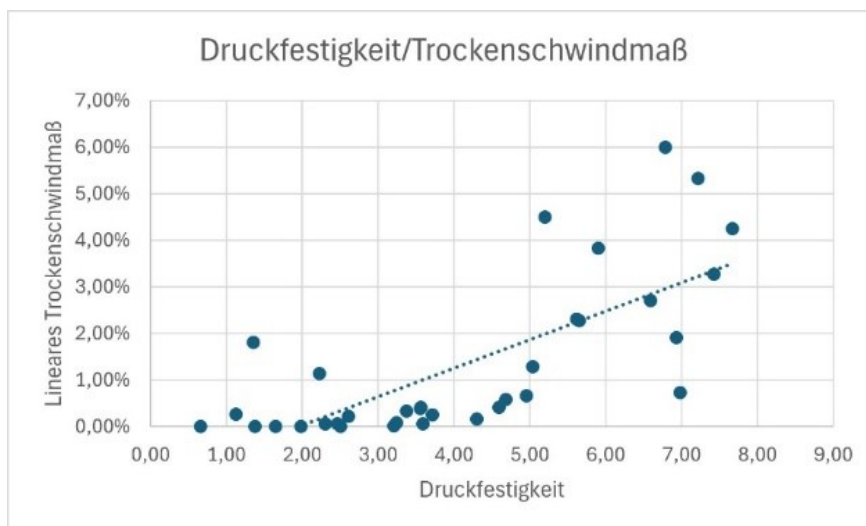
Betrachtet man diese Baulehme BL02, BL16 und BL18 in der Abbildung 12, so zeigt sich, dass auch hier diese zusammengefasst werden können. Dies würde sich mit der Aussage decken, dass hier die unterschiedliche Art der Tonmineralien eine Ursache für das unterschiedliche Verhalten zu den Baulehmen als Ursache sein könnte. Dafür wären aber noch umfangreiche Prüfungen notwendig, um diese Tendenz tatsächlich bestätigen zu können.

Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit



Abschließend kann auch wie für die Baulehmuntersuchung erneut ein gewisser Zusammenhang zwischen Trockenschwindmaß und Druckfestigkeiten auch für die abgemagerten Lehmstoffe festgestellt werden, siehe Abbildung 29.

Abbildung 29: Zusammenhang zwischen Lineares Trockenschwindmaß und Druckfestigkeit



Die bislang genannten Schlussfolgerungen beziehen sich auf die Prüfungen der Lehm Mörtelprüfungen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden auch kleinere Serien für die Prüfung der Produkteigenschaften von Lehmsteinen durchgeführt. Dabei wurden vor allem folgende Produkteigenschaften bestimmt:

- Maße,
- Steinrohddichte,
- Druckfestigkeit

Eine wesentliche Gruppe der Produkteigenschaften der Lehmsteinen konnte jedoch nicht untersucht werden, nämlich die der Einflüsse auf die Feuchteeinwirkung auf Lehmsteine.

Generell konnte für die durchgeführten Prüfungen am Lehmstein die über die Prüfung am Lehmörtel gewonnenen Zusammenhänge im Speziellen über die Abmagerung von Baulehmmischungen in Bezug auf die Druckfestigkeit auch für diese Produktgruppe bestätigt werden.

Des Weiteren konnte über die Zugabe von mineralischen Zusatzstoffen der Baulehm so aufbereitet werden, dass die untersuchten Produkteigenschaften für die jeweilige Anforderung erfüllt wurden.

Nach DIN 18945 werden Prüfklassen für die Druckfestigkeit definiert, siehe Tabelle 50. Zur Ermittlung der Druckfestigkeit f_{St} wird die durch den Versuch gewonnene Höchstlast, die der Prüfkörper gerade noch standhält, durch die voll umschlossene Querschnittsfläche des Prüfkörpers geteilt und anschließend abhängig von der Lehmsteinhöhe mit dem Formfaktor F multipliziert. In den durchgeführten Versuchen lag das Nennmaß der Lehmsteinhöhe immer zwischen $52 \leq h < 75$ das nach DIN 18945 einen Formfaktor von 0,8 ergibt. Die erzielten Druckfestigkeiten aus den Versuchen ergab damit Druckfestigkeitsklassen zwischen 2 und 4, siehe Tabelle 97.

Die Steinrohddichte ergab für alle Lehmsteinen eine Rohdichteklasse von 2,0.

Damit waren alle geprüften Lehmsteine für die genannten Prüfanforderung als tragender Lehmstein geeignet. In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass eben für die Anwendungsklasse I und II noch die dafür notwendigen Prüfungen zum Feuchteverhalten durchzuführen wären.

5 Drehscheibe Lehm

5.1. Ausgangssituation und Zielsetzung

5.1.1. Ausgangssituation

In Österreich stellt Bodenaushub mit jährlich etwa 40 Millionen Tonnen die mengenmäßig größte Abfallfraktion dar (BMK, Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023 – Teil 1 (Bericht gemäß § 8 AWG 2002), 2023) (s. Abbildung 4). Ein erheblicher Teil dieses Materials wird derzeit kostenintensiv auf Deponien entsorgt oder bei entsprechender Eignung als Verfüllmaterial in Landwirtschaft, zur Geländemodellierung in Landschafts- und Gartenarchitektur, für Wasserretentionsbecken, für Quelleinfassungen und Brunnenabdichtung und von vielen Deponiebetreibern in großen Mengen zur Solabdichtung eingesetzt. Lehm fällt bei vielen Bauvorhaben (u.a. im Keller-, Teich- und Straßenbau) als Aushubmaterial an und könnte als wertvoller Baustoff in den Kreislauf zurückgeführt werden. In der Realität wird neuer Baulehm allerdings primär im Tagebau aus Lehmgruben abgebaut.

Die wirtschaftliche Belastung durch die Deponierung ist hoch: Für sauberen Aushub fallen Kosten von 10 bis 25 Euro pro m³ an. Hinzu kommt ab 2025 ein ALSAG-Beitrag von 10,60 Euro pro Tonne, der jedoch bei einer Verwendung als Baustoff entfallen würde. Technisch gesehen ist die Aufbereitung von Aushublehm als Ausgangsmaterial für die Lehmbaustoffherstellung möglich – die Zerkleinerung und Homogenisierung ist zum Teil mit konventionellen Geräten zu bewerkstelligen.

Ein zentrales Problem hierbei ist die rechtliche Einstufung: auch nicht kontaminierter Bodenaushub wird aktuell als Abfall klassifiziert, sobald er die Baustelle verlässt, was die stoffliche Verwertung regulatorisch erschwerte. Zudem gibt es derzeit zu wenige Rohstofflieferanten, die eine gleichbleibende Materialqualität garantieren können, was die industrielle Nutzung erschwert. Aktuell wird auf dem Markt Aushublehm nur in geringen Mengen als kommerzielles Produkt angeboten - entweder als Rohmaterial oder als aufbereitete Fraktion für Schüttungen oder Putze.

Erdbaubetriebe führen den Aushub meist gemeinsam mit Transport- und Deponieleistungen durch. In Österreich unterscheidet die Gewerbeordnung zwischen Baugewerbetreibenden im Erdbau, die auch komplexe Arbeiten wie Verdichtungen, Drainagen oder Abbrüche ausführen dürfen, und Erdbewegern, die nur bis 1,25 m Tiefe ohne statische Anforderungen arbeiten dürfen.

Bei einer Nutzung von Aushub könnten sämtliche Akteur:innen entlang der gesamten Prozesskette profitieren. Dazu zählen sowohl Unternehmen und Einrichtungen, die den Aushub bereitstellen, aufbereiten oder transportieren, als auch jene, die ihn in Produktionsprozesse integrieren oder die fertigen Lehmbaustoffe weiterverarbeiten und vermarkten.

Einer der Gründe, weshalb Aushub bislang nicht in großem Maßstab für die Herstellung von Lehmbaustoffen genutzt wird, ist neben der rechtlichen Situation die stark schwankende Materialqualität, da Aushub je nach Herkunft unterschiedliche Anteile an Ton, Schluff und Sand aufweist und sich dadurch nicht ohne vorherige Untersuchungen für gleichbleibende Baustoffrezepturen eignet. Hinzu kommt, dass Aushubmaterial etwa durch Bauschutt, Wurzeln oder grobe Steine verunreinigt sein könnte, was eine aufwendige Aufbereitung notwendig macht. Diese

umfasst mehrere Arbeitsschritte wie Trocknen, Zerkleinern, Sieben und gegebenenfalls das Anpassen der Mischung durch Zuschlagstoffe, was den Prozess zeit- und kostenintensiv macht. Auch fehlen für Aushubmaterial meist standardisierte Kennwerte und Normen, wodurch seine Verwendung im Bauwesen erschwert wird, insbesondere im Hinblick auf statische Berechnungen und behördliche Zulassungen. Schließlich stellen auch logistische Aspekte ein Hindernis dar, da große Mengen an Aushub oft nicht einfach gelagert oder vor Ort getrocknet werden können. Insgesamt führen diese Faktoren dazu, dass die direkte Nutzung von Aushub für Lehmbaustoffe bislang nur eingeschränkt praktikabel ist.

5.1.2. Nationale und internationale Initiativen und Projekte

Es gibt bereits eine Reihe von nationalen und internationalen Initiativen und Projekten, die sich mit der stofflichen Nutzung von Aushubmaterial und der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen beschäftigen.

Cycle Terre in Sevrans ist ein Pionierprojekt der Kreislaufwirtschaft, das Aushubmaterial aus dem U-Bahn-Bau im Großraum Paris zu Baustoffen wie Lehmsteinen, -mörtel und -putz verarbeitet. Die Produktionsstätte startete 2021 als EU-gefördertes Demonstrationsprojekt, musste jedoch 2024 aufgrund finanzieller Schwierigkeiten den Betrieb einstellen. Seit 2025 wird der Standort unter dem Namen Re-Cycle Terre von einem neuen Kollektiv weitergeführt, mit dem Ziel, die Produktion und das Kompetenzzentrum für Lehmbaustoffe fortzusetzen.

Europäische Leuchtturmprojekte: Es wurden bereits mehrere große **Firmengebäude in Stampflehmbauweise** realisiert, bei denen Aushubmaterial aus der unmittelbaren Umgebung verwendet wurde. Bekannte Beispiele hierfür sind der Alnatura Campus in Darmstadt, das Ricola Kräuterzentrum in Laufen und der Weleda Logistik-Campus in Schwäbisch Gmünd. Bei diesen Projekten war teils der österreichische Stampflehm-Spezialist Martin Rauch eingebunden.

Auf europäischer Ebene wird das Thema insbesondere durch den Circular Economy Action Plan im Rahmen des **European Green Deal** vorangetrieben, die Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft – auch im Bausektor – als zentrale Ziele definieren. Ergänzend fördert das Neue Europäische Bauhaus nachhaltige, ästhetische und inklusive Baukultur. Zudem haben europäische Branchenverbände wie Construction SMEs Europe Erklärungen zur Stärkung kreislauffähiger Materialien im Bauwesen veröffentlicht.

In Österreich wird Aushubmaterial zur Herstellung von Lehmbaustoffen derzeit nur vereinzelt eingesetzt, und dies überwiegend bei kleinvolumigen Bauvorhaben. So wurde im Bauprojekt Assemblage Niklas Eslarn, begleitet vom Forschungsprojekt **Niklas goes nature**¹⁴⁹, Aushub für die Produktion von Lehmputz genutzt, der anschließend im Rahmen eines professionell geleiteten Workshops gemeinsam mit Interessierten aufgetragen wurde. Auch beim Bau einer Schule in Wien kam Aushublehm erfolgreich zur Herstellung von Lehmputz zum Einsatz¹⁵⁰.

¹⁴⁹ Niklas goes Nature – Holz-Stroh-Lehm im geförderten Wohnbau; Forschungsprojekt im Rahmen der Smart Cities Initiative; Laufzeit 2021-2025 (<https://www.ibo.at/meldungen/detail/data/mission-accomplished>) bzw. (<https://www.klimafonds.gv.at/projekt/niklas-goes-nature/>), Zugriff am 18.3.2026

¹⁵⁰ Rudolf Steiner Schulverein Wien Mauer; Architektur: Dietrich Untertrifaller Architekten ZT GmbH und Andi Breuss, 2022-2024 (<https://dtflr.com/de/projekte/rudolf-steiner-schule-wien>) Zugriff am 18.3.2026

Die voraussichtlich Anfang 2027 in Österreich in Kraft tretende **Aushubverordnung** (BMK, 2026) schafft rechtliche Klarheit und erleichtert die Zuweisung von Aushubmaterial aus Bauprojekten als wertvolle Ressource statt Abfall, indem definierte Qualitäts- und Verwendungswege festgelegt werden. Dadurch wird es für Unternehmen attraktiver und praxisnäher, Aushub gezielt für die Herstellung von Lehmbaustoffen einzusetzen und so Materialkreisläufe im Bauwesen zu schließen.

5.1.3. Zielsetzung

Die Zielsetzung für eine potenzielle Etablierung einer Drehscheibe Aushub bestand primär darin, die Aushubdeponierung sowie den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Ausgangspunkt war die Annahme, dass große Mengen an Aushubmaterial derzeit unzureichend verwertet werden, obwohl das Potenzial für eine Nutzung als Baumaterial besteht und Aushub eine wertvolle Rohstoffquelle für den Baubereich sein kann.

Im Zentrum stand die Entwicklung einer digitalen Plattform, die als Schnittstelle zwischen Aushubunternehmen und Bauausführenden fungiert. Sie ermöglicht eine gezielte Vernetzung jener Akteur:innen, die Material anbieten, mit jenen, die geeigneten Lehm für Bauzwecke benötigen. Dabei sollte eine automatisierte und niederschwellige Materialvermittlung geschaffen werden, die Nutzer:innen erlaubt, Angebote und Gesuche anhand relevanter Parameter wie Menge, Qualität, Lieferort oder Lieferzeit zu filtern und zu koordinieren. Damit der Aushub als Baustoff akzeptiert wird, umfasste die Zielsetzung auch den Vorschlag einer Prüfstrategie (Untersuchung von Parametern, Stichprobengrößen, Dokumentation von Kontaminationen), um die bautechnische Eignung des Materials nachzuweisen.

Durch diese Strukturierung des derzeit stark fragmentierten Marktes wird der Zugang zu geeigneten Materialien vereinfacht und die Nachfrage nach Lehm aus Aushub entscheidend gestärkt. Ein zentrales Prinzip bildet dabei die Regionalität: Der Aushub soll möglichst in unmittelbarer Nähe zu seinem Entstehungsort wiederverwendet werden, um Transportwege zu verkürzen, Kosten zu senken und ökologische Belastungen zu minimieren.

5.2. Methoden

Die Erhebung im Rahmen des Projekts zur Konzeptionierung einer Drehscheibe für Aushub stützte sich auf ein breites Spektrum an wissenschaftlichen und praxisnahen Methoden. Um die gesamte Lieferkette – von der Rohstoffgewinnung über die Aufbereitung bis hin zur Markteinführung – abzubilden, wurden Online-Befragungen, leitfadengestützte Interviews, Vor-Ort-Begehungen sowie Literatur- und Marktrecherchen durchgeführt.

Die Erhebung zielte darauf ab, die Barrieren und Potenziale für die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im Erdbau zu identifizieren. Dabei wurden unterschiedliche Stakeholder wie Erdbewegungsfirmen, Deponiebetreiber:innen, Baustoffhersteller:innen und Planer:innen adressiert.

5.2.1. Qualitative Erhebung

Zur Vertiefung der strukturellen und rechtlichen Probleme wurden Einzelinterviews und Fachgespräche geführt. Diese lieferten Einblicke in die operative Praxis und die ökonomischen

Entscheidungsprozesse. Interviewpartner:innen waren Abfallverwertungs-, Baustoffrecyclingunternehmen, (Lehm)Baufirmen und Behörden:

- Firma Zöchling Abfallverwertung
- Firma ContraCon Baustoffrecycling
- Firma PORR Umwelttechnik
- Firma ProLehm
- BMLUK (ehem. BMK)
- Baustoff-Recycling-Verband BRV

5.2.2. Quantitative Erhebung

Ein weiteres Instrument war eine im Winter 2025 durchgeführte Online-Befragung (via Google Forms), die an eine repräsentative Auswahl von 89 Erdaushubunternehmen und Deponiebetreibern in ganz Österreich versendet wurde. Die Auswahl erfolgte systematisch: Pro Bundesland wurden jeweils drei Unternehmen unterschiedlicher Betriebsgrößen angeschrieben, um ein verzerrungsfreies Bild der österreichischen Marktlandschaft zu erhalten.

Die Befragung (Dauer ca. 5–10 Minuten) umfasste drei Themenbereiche:

- Unternehmensstruktur: Geschäftsfelder (Erdbau, Transport, Recycling) und jährlich bewegte Massen.
- Aushubqualität: Kriterien für die Ablagerung, Relevanz der Sieblinie und die Kompetenz der Mitarbeitenden, tonhaltiges Material (Lehm) visuell oder haptisch zu identifizieren.
- Marktpotenzial: Bestehende Verwertungswege und die grundsätzliche Bereitschaft, Aushub künftig als Rohmaterial für die Baustoffproduktion zu verkaufen.

5.2.3. Begehungen und Fallbeispiele

Um die technologische Machbarkeit zu prüfen, wurden Begehungen von Deponien und Produzent:innen von Lehmbaustoffen durchgeführt:

- Firma Koller / NÖ (26.4.2024)
- Firma ProLehm / Stmk (21.5.2024)
- Firma Egginger / Bayern (5.4.2025)
- Firma Dödlinger Erdbau / Tirol (5.6.2025)

Zusätzlich wurden reale Projekte als Referenzen herangezogen:

- Bauprojekt Wien 22: Errichtung eines geförderten, mehrgeschoßigen Wohnhauses aus Holz, Stroh und Lehm unter Nutzung von Aushub zur Herstellung von Unterputz vor Ort
- Firma Erne Bau (Schweiz): Aufbereitung von Aushublehm zur Herstellung von Stampflehmteilen für ein eigenes Betriebsgebäude.

5.2.4. Recherche

Es wurde eine Internet- und Literaturrecherche zu möglichen Aufbereitungsverfahren für Aushub zur Herstellung von Lehmbaustoffen sowie zu für diese Aufbereitung anwendbaren Geräte aus der konventionellen Baupraxis durchgeführt. Zudem wurde diese Thematik im Rahmen der Interviews behandelt.

5.3. Ergebnisse

5.3.1. Rechercheergebnisse zu Aushubplattformen

Die Ergebnisse der Untersuchung zur Aushubnutzung verdeutlichen ein großes, bisher ungenutztes Potenzial für die Kreislaufwirtschaft im Bausektor. Angesichts der Tatsache, dass Bodenaushub mit jährlich rund 40 Millionen Tonnen die größte Abfallfraktion in Österreich darstellt und derzeit zu einem großen Teil deponiert oder für Geländemodellierungen verwendet wird, rückt die stoffliche Verwertung als Baulehm verstärkt in den Fokus. Herausforderungen waren allerdings bislang neben wirtschaftlicher Machbarkeit die rechtlichen Hürden bei der Nutzung von Aushub.

Im Projekt war geplant, eine Drehscheibe für Aushub zu schaffen, die es ermöglicht, Aushubmaterial frühzeitig, d.h. unmittelbar nach dem Aushub, an potentielle Verwerter:innen zur Herstellung von Lehmbaustoffen zu vermitteln. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil Lagerflächen begrenzt sind und Verwertungswege nach den abfallrechtlichen Vorgaben möglichst bereits vor dem Aushub geplant und innerhalb eines angemessenen Zeitraums realisiert werden sollen.

Für die Vermittlung und den Handel von Baustoffen, insbesondere im Bereich Aushub und Recyclingmaterialien, existieren bereits verschiedene Plattformen mit unterschiedlichen Schwerpunkten:

- Österreichische Recycling-Börse-Bau (RBB)¹⁵¹: Diese Internetplattform wird vom Baustoff-Recycling Verband (BRV) betrieben und entstand in Zusammenarbeit mit Bundesländern, Bundesministerien, der Wirtschaftskammer und weiteren Partnern. Sie vermittelt aktuell Baurestmassen, Recyclingbaustoffe sowie Humus und Kompost. Im Rahmen des Projekts wird vorgeschlagen, diese Plattform um die Kategorie Baulehm (Kürzel: BL) zu erweitern, um Aushubmaterial in wirtschaftlichem Ausmaß als Rohstoff für Bauprodukte zu vermitteln.
- willhaben.at: Diese Plattform wird vor allem von Privatkunden für Kleinmengen (ca. 20 bis 300 m³) genutzt, wobei Aushubmaterial dort häufig zum Verschenken angeboten wird. Die Materialeigenschaften werden hier meist nicht detailliert ausgewiesen.
- Die Bodenbörse ist eine bundesweite Plattform in Deutschland, die ausschließlich nicht-kommerzielle Angebote vermittelt. Die Qualität des Materials wird dort etwas genauer beschrieben, es fehlen jedoch strukturierte Vorgaben.¹⁵²

¹⁵¹ Österreichische Recycling-Börse-Bau (http://www.recycling.or.at/rbb/cake_rbb/) Zugriff am 6.11.2024

¹⁵² Bodenbörse (<https://www.bodenboerse.info/>) Zugriff am 6.11.2024

- Die Lehmbaumboerse in der Schweiz, organisiert von der IG Lehm, bietet einen aktuellen Überblick über offene Angebote und Nachfragen im Bereich Lehmbau.¹⁵³
- Terrraterre¹⁵⁴ ist ein in der Schweiz ansässiger Verein, der eine Online-Plattform für den Austausch von Aushuberde bereitstellt, um überschüssige Erde lokal weiterverwenden zu können. Ziel ist es, Akteur:innen aus Bau- und Landwirtschaft (z.B. Architekt:innen, Bäuer:innen, Landschaftsgärtner:innen und Privatpersonen) zu vernetzen.
- Resteboerse Baustoffe: Eine Initiative der Firma „Häuser in Wolle“ speziell für ihre Kund:innen. Sie bietet ein niederschwelliges, nach Bundesländern geordnetes Angebot mit einem klaren Fokus auf Naturbaustoffe.¹⁵⁵

Zusätzlich gibt es Bestrebungen von Organisationen wie der Europäischen Dachorganisation für qualitätsgesichertes Recycling (EQAR), die Leitfäden für recyclebare Materialien bereitstellen. Das Projekt Think Earth¹⁵⁶ in der Schweiz verfolgt ebenfalls das Ziel, tonhaltige Aushubmaterialien durch verlässliche Prozesse und Standards in klimafreundliche Baustoffe zu transformieren. Das Forschungsprojekt CEScaleup¹⁵⁷ entwickelt ein digitales Gebäudelogbuch. Ziel ist es, durch verbesserte Datenverfügbarkeit das Angebot und die Nachfrage von Sekundärbaustoffen zu stimulieren.

Seitens der Stadt Wien wird im Wiener Abfallwirtschaftsplan 2025-2030 die Entwicklung digitaler Lösungen zur Erfassung der Gebäudekonstruktion („Materieller Gebäudepass“) vorangetrieben, um Stoffströme baustellenübergreifend zu koordinieren.

5.3.2. Ort der Aushubaufbereitung

Die unmittelbare stoffliche Verwertung von Aushubmaterial erfordert eine integrierte Planung, die den Entstehungszeitpunkt mit einem zeitgleichen Bedarf verbindet und die bautechnische Eignung bereits im Vorfeld durch eine systematische Prüfstrategie sicherstellt. Zudem setzt sie ausreichende Manipulations- und Lagerflächen voraus, was besonders im urbanen Kontext schwierig sein kann. Eine Möglichkeit, Aushubmaterial einer zeitversetzten Verwertung zuzuführen, besteht darin, es an spezialisierte Aufbereitungsunternehmen, Baustoffhersteller:innen oder Betreiber:innen von Aushubdeponien zu verführen. Dort kann die Aufbereitung unabhängig von Bauprojekten erfolgen. Dieser Ansatz bietet mehrere Vorteile: Er entkoppelt den Zeitpunkt des Aushubs vom eigentlichen Einsatz des Materials und ermöglicht eine zeitunkritische Aufbereitung, sodass Bauprojekte unabhängiger von sofortigen Verwertungsmöglichkeiten planbar werden. Gleichzeitig ermöglicht er eine zentralisierte und effiziente Verarbeitung in größeren Anlagen, um Skalierungseffekte zu nutzen und die Qualitätskontrolle zu verbessern.

Für eine solche Umsetzung ist die Einbindung von Unternehmen erforderlich, die entlang des Aushubprozesses tätig sind. Die im Winter 2025 durchgeführte Erhebung unter Erdaushubunternehmen und Deponiebetreiber:innen lieferte folgende zentrale Erkenntnisse:

¹⁵³ Lehmbaumboerse (<https://www.iglehm.ch/verband/lehmbaumboerse-aktuell>) Zugriff am 6.11.2024

¹⁵⁴ TERRRATERRE (<https://terraterre.ch/en>) Zugriff am 6.11.2024

¹⁵⁵ Häuser in Wolle (<https://haeuser-in-wolle.com/reste-boerse/>) Zugriff am 6.11.2024

¹⁵⁶ Think Earth (<https://thinkearth.ethz.ch/>), Zugriff am 16.10.2025

¹⁵⁷ CEScaleUp - Das digitale Logbuch für nachhaltige Gebäude (<https://cescaleup.build/>), Zugriff am 16.10.2025

- Hohe Verkaufsbereitschaft: Entgegen der ursprünglichen Annahme, dass Lehm primär für den Eigenbedarf (z. B. zur Deponieabdichtung) zurückgehalten wird, gaben 85,7 % der befragten Unternehmen an, dass sie bereit wären, Bodenaushub künftig als Rohmaterial für Lehmbaustoffe zu verkaufen, sofern eine entsprechende Nachfrage besteht.
- Defizite bei der Materialidentifikation: Ein kritisches Ergebnis ist, dass nur 42,9 % der Befragten sich zutrauen, tonhaltigen Aushub bei der Anlieferung sicher als solchen zu erkennen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit für einfache, standardisierte Prüfverfahren vor Ort.
- Wirtschaftliche Relevanz: Die Deponierung von sauberem Aushub kostet derzeit zwischen 10 und 25 Euro pro m³. Da aktuell ein ALSAG-Beitrag von 10,60 Euro pro Tonne zu zahlen ist, bietet die Verwertung als Baustoff – bei der dieser Beitrag entfallen kann – einen erheblichen wirtschaftlichen Anreiz.
- Nachfragetreiber: Die Initiative für den Einsatz von Lehmbaustoffen geht derzeit größtenteils von den Auftraggeber:innen (ca. 80 %) aus, während Endnutzer:innen bisher kaum als Impulsgeber auftreten.

Im weiteren Verlauf wurde der Fokus auf die Entkopplung der Zeitpunkte von Aushubanfall bzw. dessen Verwendung als Lehmbaustoff gelegt und mögliche Aufbereitungstechniken in Anlehnung an konventionelle Verfahren recherchiert.

5.3.3. Aufbereitungstechniken

Die Aufbereitungsverfahren für Aushublehm lassen sich in nasse und trockene Verfahren unterteilen. Da die Zusammensetzung und Beschaffenheit von Aushub je nach Vorkommen stark variiert, muss der Rohstoff in der Regel zerkleinert und homogenisiert werden, bevor eine definierte Mischung mit Zuschlagstoffen wie Sand, Kies oder organischen Fasern hergestellt werden kann.

Trockene Verfahren

Diese Verfahren erzielen die Homogenisierung primär durch Brechen und Sieben.

- Zerkleinerung: Durch Druck, Prall oder Schlag (z. B. mittels Hammermühlen, Prall- oder Backenbrechern) wird der Lehm in die entsprechenden Agglomeratgrößen gebrochen. Trockenem, stark tonhaltigem Material lässt sich gut mit Brechern verarbeiten, wobei jedoch auf erhöhte Staubentwicklung geachtet werden muss.
- Siebung: Rüttel- und Trommelsiebe, die auch als mobile Anlagen gemietet werden können, trennen die verschiedenen Fraktionen voneinander. Es kann sowohl trockenes als auch erdfeuchtes Material gesiebt werden (s. Abbildung 30).
- Aufbereitung vor Ort: Auf Baustellen können Maschinen aus dem Straßenbau wie Bagger, Planier- und Laderaupen eingesetzt werden. Bewährt hat sich zudem die Lagerung auf asphaltierten oder befestigten Flächen, um das Material mit der Baggerschaufel zu bearbeiten und Samenanflug zu verhindern.

- Innovative Ansätze: Ein Beispiel für moderne Trockenaufbereitung ist der Einsatz eines solarstrombetriebenen Wenderoboters, der das Material in einem Glashauss kontinuierlich zerkleinert und homogenisiert (s. Abbildung 31).

Abbildung 30: Mobile Siebanlage des Unternehmens Dödlinger Erdbau (Quelle: IBO)



Abbildung 31: Wenderoboter der Fa. Egginger Naturbaustoffe zur Lehm-trocknung (Quelle: IBO)



Nasse Verfahren

Nasse Verfahren werden klassischerweise in der Ziegelindustrie angewendet, um eine plastische oder flüssige Masse zu erhalten.

- Einsumpfen und Aufschlänmen: Hierbei wird der Rohstoff unter Zugabe von Wasser und unter Einsatz von Rührwerken verarbeitet. Dieses Verfahren ist bei sehr hohem Tonanteil schwierig, da sich das Material nur schwer auflöst. Erfahrungen zum Einsumpfen liegen bisher vor allem für Kleinmengen (z. B. in Fässern) vor.
- Industrielle Mahl- und Misanlagen:

- Kollergang: Dient der ersten groben Zerkleinerung harter Tonklumpen unter Wasserzugabe.
- Vor- und Feinwalzwerk: Walzen zermahlen das Material stufenweise auf Korngrößen von 1,5 bis 2,0 mm und schließlich bis auf 0,8 mm, wodurch eine homogene Masse entsteht.
- Waschanlagen: Anlagen wie Schwert- oder Turbowäschen werden genutzt, um Sande und Kiese von lehmigen und tonigen Bestandteilen zu befreien.

Natürliche Aufbereitung und Mischprozess

- Winterlagerung: Ein althergebrachtes, aber effektives Verfahren ist das Lagern des Rohmaterials über den Winter. Durch Frosteinwirkung wird der Boden physikalisch zerkleinert, wodurch eine feinkörnige und lockere Materialstruktur entsteht.
- Mischen: Für die Vermengung mit Sand oder Fasern werden Zwangsmischer (mobil oder stationär), Handmischgeräte oder für Fasermischungen landwirtschaftliche Geräte wie Miststreuer eingesetzt.

Innovative Verarbeitungstechnologien

- Robotik und 3D-Druck: Für den Stampflehmbau werden zunehmend Roboteranlagen eingesetzt, die das Material gleichmäßig in die Schalung einbringen und direkt verdichten. Auch 3D-Drucker, die ursprünglich für Beton konzipiert wurden, sowie Roboter mit mitlaufender Schalung kommen zum Einsatz.
- Spezialpressen: In sogenannten "Feldfabriken" wird an Verfahren wie der Wellerlehmpresse gearbeitet, um großformatige Lehmblöcke für den Schallschutz wirtschaftlich herzustellen.¹⁵⁸

5.3.4. Strategische Lösungsansätze

Anstelle der Neuschaffung einer völlig eigenständigen Plattform wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes primär die Konzeptionierung und die Integration in bestehende Systeme verfolgt. Dafür bietet sich an, die Österreichische Recycling-Börse-Bau (RBB) um die Kategorie „Baulehm“ (Kürzel: BL) zu erweitern. In einem Gespräch mit dem Geschäftsführer des Baustoff-Recycling-Verbandes (BRV), DI Tristan Tallafuss, im Oktober 2025 wurden Möglichkeiten erörtert, Aushubmaterial, das sich zur Herstellung von Lehmbaustoffen eignet, in die RBB aufzunehmen. Damit Baulehm dort integriert werden kann, müssten jedoch eine klare Klassifizierung und Beschreibung auf Basis von Regelwerken oder Normen definiert werden. Deshalb sind in einem ersten Schritt mögliche bzw. sinnvoll erforderliche Parameter zur Bestimmung der Qualität des Aushubmaterials festzulegen.

Es wird vorgeschlagen, den neben bislang geführten Materialien „Unbelasteter Bodenaushub“, „Straßenaufbruch und Beton“, „Bauschutt“, „Mineralischer Recycling-Stoff“ und „Humus&Kompost“ „Baulehm“ für geeignetes Material einzuführen und die Suchmasken um spezifische Parameter zu erweitern.

¹⁵⁸ Naturschutz hochklappen - Innovativer Lärmschutz als vertikale Ausgleichsmaßnahme; Zentrum für Peripherie; DBU 2020-2022 (<https://zentrum-fuer-peripherie.org/wp-content/uploads/MBKS-11-LQ.pdf>) Zugriff am 16.10.2024

Für die Eingabemaske der Plattform sollen möglichst bereits vorhandene Informationen genutzt werden, um den Erfassungsaufwand gering zu halten und gleichzeitig eine verlässliche Materialbeschreibung sicherzustellen. Grundlage hierfür bilden Daten aus ohnehin erforderlichen Bodengutachten sowie ergänzend Informationen aus der EDM (Elektronisches Datenmanagement Umwelt Österreich) - Abfallinformation, die jedoch nur eine begrenzte Informationstiefe aufweisen. Diese vorhandenen Datensätze können direkt für die Beschreibung und Einstufung des Materials herangezogen werden, sodass keine zusätzlichen Untersuchungen oder Datenerhebungen notwendig sind. Auf diese Weise werden bestehende Informationen systematisch genutzt, um den Aushub nicht nur als Abfall, sondern – sofern geeignet – auch als potenziellen Baustoff zu klassifizieren.

Die Eingabemaske der Plattform konzentriert sich auf wenige, aber zentrale Parameter. Erfasst werden sollten insbesondere die Menge des anfallenden Materials, die Güteklasse, die Korngröße, ggf. die Plastizität sowie die Qualitätsklasse gemäß Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BMK, 2023), beispielsweise A1 oder A2. Diese Angaben ermöglichen eine grundlegende technische und rechtliche Einordnung des Materials und bilden die Basis für eine zielgerichtete Weiterverwendung im Baukontext. Sie können auch dazu dienen, eine bestimmte Materialqualität in Ausschreibungen festzulegen und erleichtern zudem die Vermittlung. Die Erkenntnisse aus 4.2.3, hier vor allem das Kapitel Zusammenfassung der Anforderungen/Klassifizierung auf Seite 79 können dazu herangezogen werden. Es ist sinnvoll, die in Tabelle 46 angeführten Untersuchungen abhängig von der weiteren Vorgehensweise durchzuführen.

Ergänzend dazu ist es von Vorteil, ein umfassendes Qualitätssicherungssystem zu entwickeln, das die bautechnische und baurechtliche Akzeptanz des Materials gewährleisten soll. Dieses System umfasst die Definition relevanter Prüfparameter, die Festlegung geeigneter Stichprobengrößen sowie die strukturierte Dokumentation möglicher Kontaminationen. Durch diese Maßnahmen kann die bautechnische Eignung von Aushubmaterial nachvollziehbar belegt und dessen Einsatz in langlebigen und sicheren Bauanwendungen unterstützt werden.

5.4. Schlussfolgerungen

Die unmittelbare Nutzung von Aushub am Entstehungsort zur Herstellung von Lehmbaustoffen ist vor allem bei großmaßstäblichen Bauvorhaben, etwa in Stadtentwicklungsgebieten, sinnvoll. In solchen Projekten stehen in der Regel ausreichende Flächen für Lagerung, Aufbereitung und innerbetriebliche Logistik zur Verfügung. Dadurch können vorhandene Baustelleninfrastrukturen genutzt, ein bauplatzübergreifendes Logistik-Konzept erstellt und Synergien geschaffen werden, sodass der anfallende Lehm direkt vor Ort gewonnen, aufbereitet und in der weiteren Bauausführung eingesetzt werden kann („Feldfabriken“).

Bei kleineren Bauprojekten gestaltet sich eine solche Vorgehensweise häufig schwierig. Hier fehlen meist geeignete Flächen für die Materialmanipulation, Zwischenlagerung und Aufbereitung, zudem können Anforderungen hinsichtlich Lärm- und Staubemissionen eine Verarbeitung auf der Baustelle einschränken oder ausschließen. In diesen Fällen bietet sich eine Entkopplung von Aushubanfall und Materialverwendung an. Der Aushub kann zu zentralen Lager- bzw. Umschlagplätzen, etwa Aushubdeponien oder Materialaufbereiter:innen, transportiert werden, wo er gesammelt, bewertet und für die weitere Nutzung als Ausgangsmaterial für Lehmbaustoffe aufbereitet wird. Gegebenenfalls können dort bereits Lehmbaustoffe produziert und anschließend bedarfsgerecht zu

den jeweiligen Baustellen geliefert werden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine effizientere Nutzung des Materials und erleichtert die Integration von Aushub in regionale Stoffkreisläufe im Bauwesen.

Um das Potenzial der Nutzung von Aushubmaterial zur Herstellung von Lehmbaustoffen realistisch einschätzen zu können, wäre eine systematische Erhebung der in Österreich vorhandenen Aushubqualitäten erforderlich, insbesondere hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung. Die im EDM (Elektronisches Datenmanagement) erfassten Daten zu Menge und Qualität des Aushubs sind hierfür nicht ausreichend differenziert, da Lehm über keine eigene Abfallschlüsselnummer verfügt. Dadurch lassen sich jene Mengen, die grundsätzlich für eine Aufbereitung zu Lehmbaustoffen geeignet wären, derzeit nicht gesondert erfassen oder quantifizieren.

Anhand einer Aushub-Plattform können Angebot und Nachfrage regional koordiniert und Transportwege minimiert werden. Durch Integration von Daten aus ohnehin erforderlichen Bodengutachten kann die Qualität gesichert und damit die Akzeptanz bei den Abnehmer:innen erhöht werden.

Die ökonomische Analyse im Rahmen der Erhebung verdeutlicht, dass die stoffliche Verwertung von Aushub auch finanziell attraktiv ist. Während die Deponierung Kosten von 10 bis 25 Euro/m³ verursacht, entfällt bei der Nutzung als Baustoff zudem der ALSAG-Beitrag (2025: 10,60 Euro/t). Aufbereiteter, erdfeuchter Baulehm wird am Markt bereits mit ca. 120 Euro/Tonne gehandelt.

Künftige regulatorische Entwicklungen wie der EU Green Deal, die CO₂-Bepreisung (ETS II) und der Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) werden Produkten aus Lehm aufgrund ihres minimalen CO₂-Fußabdrucks (keine Brennprozesse) signifikante Wettbewerbsvorteile verschaffen.

Schließlich spielt auch die frühzeitige Integration in die Bauplanung eine zentrale Rolle. Leitfäden und Handlungsempfehlungen für Bauherr:innen und Planer:innen sollen sicherstellen, dass die Nutzung von Ortlehm bereits in der Ausschreibungs- und Beauftragungsphase berücksichtigt wird. So kann die Kreislaufführung von Böden langfristig in die Baupraxis eingebettet und auf regionaler Ebene verankert werden.

Durch die Kombination aus technologischer Innovation (Robotik), digitaler Vernetzung (Drehscheibe) und fundierter Qualitätssicherung kann der mengenmäßig größte Abfallstrom Österreichs in eine wertvolle Ressource für nachhaltiges Bauen transformiert werden.

Mögliche Kunden von aufbereiteten Fraktionen sind Baustoffhersteller:innen, Baumeister und Bauunternehmungen sowie private Selbstbauer, die ihren eigenen bzw. aus der unmittelbaren Umgebung stammenden Lehm verarbeiten wollen. Wirtschaftliche Chancen für den Verkauf von aufbereitetem Lehm bieten sich für Deponie-, Erdbaubetriebe und auch Maschinenhersteller.

Die neue Aushub-Verordnung führt dazu, dass das Abfallende für Aushubmaterialien deutlich früher eintreten kann als bisher. Nach dem allgemeinen österreichischen Abfallrecht galt ein Material bislang erst dann nicht mehr als Abfall, wenn durch seinen Einsatz tatsächlich ein anderer Rohstoff ersetzt wurde. Dieser Zeitpunkt soll nun vorverlegt werden. Künftig soll das Abfallende bereits mit einer Meldung an die zuständige Behörde eintreten, sofern eine bestimmte Materialqualität nachgewiesen werden kann, wofür entsprechende Beurteilungsnachweise erforderlich sein werden. Darüber hinaus schafft die Verordnung erstmals klare Regelungen dafür, unter welchen Voraussetzungen Aushubmaterialien als Nebenprodukt gelten und damit überhaupt nicht dem Abfallregime unterfallen, beziehungsweise unter welchen Bedingungen ein frühzeitiges Abfallende

möglich ist. Sie gilt für alle Aushubmaterialien mit entsprechender Qualität und betrifft damit Bauherren ebenso wie ausführende Bauunternehmen sowie Verwertungs- und Aufbereitungsbetriebe. Ziel ist insbesondere ein Abbau von Bürokratie, da Materialien schneller aus dem strengen Abfallrecht herausfallen können. Gleichzeitig bleibt die Verordnung im System des Bundes-Abfallwirtschaftsgesetz 2002 verankert, sodass sämtliche dort vorgesehenen Kontrollmechanismen weiterhin Anwendung finden.

6 Umweltwirkungen von Lehm und Baustoffkombinationen

6.1. Ausgangssituation und Zielsetzung

In der neuen EU-Bauprodukteverordnung (BauPVO, 2024) ist eine Analyse der Umweltwirkungen für die Produktdeklaration verpflichtend vorgeschrieben und hierfür eine Indikatorenliste in Annex 1 ausgewiesen, sowie eine zukünftige (default) Datenbank und Software angekündigt. Voraussetzung ist die Existenz einer harmonisierten Norm, die das betreffende Bauprodukt umfasst. Mit Stand Sommer 2025 gibt es noch keine überarbeiteten harmonisierten Normen im Baubereich. Die Einführung erfolgt produktgruppenweise mit unterschiedlichen Terminen, wobei für einzelne priorisierte Produktgruppen (u. a. Beton, Stahlprodukte, Dämmstoffe, Brandmeldetechnik) die Überarbeitung bereits weit fortgeschritten ist. Während industrielle Produktionen über hierfür erforderliche Daten (in Form von EPD) verfügen, ist dies für kleine, regionale Hersteller mit hohen Kosten verbunden.

Die derzeit zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Bauprodukten und Gebäuden angewandten Normen ÖNORM EN 15804 und ÖNORM EN 15978 beinhalten Indikatoren zum Einsatz energetischer Ressourcen und zum Gebrauch von Rohstoffen. Indikatoren, welche die Umweltwirkung bewerten, die durch die Entnahme von Primärmaterial und die Nutzung von Rohstoffen entstehen, fehlen bislang in den genannten Regelwerken (Mostert, Glanz, Weishaar, Sameer, & Bringezu, 2024).

Derzeit erfolgt die Lebenszyklusanalyse als zentraler Bestandteil einer EPD nach ÖNORM EN 15804. Zu deren Erstellung tragen neben Expert:innen mit wissenschaftlichem Hintergrund hauptsächlich solche der transnationalen Industrie bzw. deren Verbände bei. Kleine regionale Produzenten mit regionalem Nutzer:innenkreis der Produkte finden dort kaum Gehör bzw. haben nicht die Ressourcen, sich an der Erstellung zu beteiligen. Die Indikatoren in den standardisierten Ökobilanzen sind für den Baustoff Lehm – aber auch für nachwachsende Baustoffe wie Stroh und Holz bei regionaler Verwendung – nicht adäquat darstellbar, da die entsprechenden Regelwerke auf die internationale Baustoffindustrie zugeschnitten sind und sich die vergleichsweise minimalen Produktionsaufwände und vor allem die resultierenden lokalen Wirkungen der regionalen Baustoffe nicht zufriedenstellend abbilden lassen.

Prinzipiell wurde das CEN TC 350 in einem erweiterten Mandat der Europäischen Kommission mit der Entwicklung von Normen für alle drei Säulen der Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch und sozial) beauftragt. Während an der ÖNORM EN 15804 (ökologische Säule - Produktebene) und ÖNORM EN 15978 (ökologische Säule - Gebäudeebene) seit Jahren intensiv gearbeitet und weiterentwickelt wird, fristen die Normen für die Bestimmung der sozialen Qualität ÖNORM EN 16309 (ÖNORM EN 16309, 2014) und der ökonomischen Qualität von Gebäuden ÖNORM EN 16627 (ÖNORM EN 16627, 2015) ein Mauerblümchendasein. Unmittelbar nach Veröffentlichung der EN 16627 wurde sie von namhaften nationalen Experten:innen scharf kritisiert und findet daher in Österreich auch keine Anwendung. Die dringend erforderliche Überarbeitung ist allen Beteiligten bewusst, allerdings findet

sich seit Jahren kein Vorsitzender der befassten Arbeitsgruppe, was auf ein entsprechend geringes thematisches Interesse zurückzuführen ist.

In der ÖNORM EN 16309 wurde der Schwerpunkt auf die Bauphysik gelegt (ohne die adäquate fachliche Kompetenz einzuholen, was zu einer raschen, erzwungenen Überarbeitung führte) – eine Auseinandersetzung mit der namensgebenden, sozialen Qualität unterblieb gänzlich. Dies, obwohl Social LCA bei der Erstellung der Norm ein prominentes Forschungsfeld darstellte und sogar Richtlinien für eine Komplettierung der Nachhaltigkeitsbetrachtung für Social LCA existierten (UNEP, 2009). Auch hier ist allen Beteiligten die dringende Überarbeitungsbedarf bewusst, der Convenor jedoch zurückgetreten, das Interesse offenbar gering. Mittlerweile ist die Anpassung an ÖNORM EN 15804+A2 und der damit einhergehenden Berücksichtigung weiterer Lebenszyklusphasen so dringend geworden, dass sich eine neue Vorsitzende gefunden hat und die Arbeit fortgesetzt wird.

6.2. Methoden

Der Mangel an inhaltlich ernsthafter Auseinandersetzung im Rahmen der europäischen Normung eröffnet natürlich Raum für Alternativkonzepte. Im Folgenden sollen verschiedene Indikatoren die Teilaspekte der Umweltwirkung von Bauprodukten adressieren vorgestellt werden.

6.2.1. Indikatoren zur Ressourcennutzung (A1-A3)

Kumulierten Rohstoffaufwand (KRA) (Cumulative Raw Material Demand CRD)

Summe der zur Bereitstellung eines Produktes eingesetzten Rohstoffmengen entlang der Wertschöpfungskette. Gebräuchliche Einheit ist Tonnen pro Tonne.

Der KRA umfasst alle zur Herstellung und Transport eines Produktes aufgewendeten Rohstoffe, inklusive der Energierohstoffe. Nicht wirtschaftlich verwendete Stoffe und Stoffgemische, wie die nicht verwertete Entnahme, bleiben unberücksichtigt (Mostert, Glanz, Weishaar, Sameer, & Bringezu, 2024).

Rohstoffeinsatz (Raw Material Input RMI)

Primärrohstoffeinsatz (englisch „Raw Material Input“ / RMI) ist ein Stoffstromindikator: Entspricht dem „Direct Material Input“ (DMI), bei dem die Massen der eingehenden Materialien allerdings in Rohstoffäquivalenten (IMP_{RME}) ausgedrückt werden, d.h. unter Einbezug der indirekten Stoffströme (Gleichung 1). Gebräuchliche Einheit ist „Tonnen pro Jahr“. In der wirtschaftsraumbezogenen Stoffstromrechnung berechnet sich der RMI aus der Gesamtmasse der im Inland gewonnenen Primärrohstoffe und der – in Rohstoffäquivalente umgerechneten – importierten Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren (Mostert, Glanz, Weishaar, Sameer, & Bringezu, 2024).

$$RMI = DMI + IMP_{RME} \quad (\text{BauPVO, 2024})$$

Total Material Requirement (TMR)

Gesamter Materialaufwand (englisch „Total Material Requirement“ / TMR) ist ein Stoffstromindikator: Menge aller direkt und indirekt in ein Bezugssystem eingehenden Materialien einschließlich der versteckten Stoffströme in Massen- oder Massenstromeinheiten (Kilogramm, Tonnen, Tonnen pro Jahr) (Gleichung 2). Bezugssysteme können z.B. Produkte, Verfahren, Dienstleistungen, Branchen, ganze Bedürfnisfelder (Bauen und Wohnen, Mobilität, Ernährung,

Kommunikation) oder Volkswirtschaften sein. In der wirtschaftsraumbezogenen Stoffstromrechnung erfasst der TMR alle Materialflüsse aus verwerteter und nicht verwerteter Entnahme im Inland sowie aller im Ausland anfallender Materialflüsse aus verwerteter und nicht verwerteter Entnahme (Unused Domestic Extraction UDE), die durch Importe verursacht werden (Mostert, Glanz, Weishaar, Sameer, & Bringezu, 2024).

$$TMR = RMI + IMP_{RME-UDE} + UDE \quad (\text{ÖNORM EN 15804})$$

Nach (Mostert, Glanz, Weishaar, Sameer, & Bringezu, 2024) fordern die Sustainable Development Goals (SDGs) 8.4 und 12.2 (UNSTATS, 2015) der UN-Agenda 2030 (UN, 2015) das ressourceneffiziente Wirtschaften sowie nachhaltige Produktions- und Konsumweisen. Ein konkretes Ziel der SDGs ist es, die globale Ressourceneffizienz des Konsums und der Produktion bis 2030 schrittweise zu steigern und das Wirtschaftswachstum möglichst von Umweltbelastungen zu entkoppeln. Der Fortschritt der Ziele 8.4. und 12.2 wird mit Hilfe des Materialfußabdrucks (engl. Material Footprint MF) (Indikator 8.4.1/12.2.1) und des inländischen Materialverbrauchs (engl. Domestic Material Consumption DMC) (Indikator 8.4.2/12.2.2) bestimmt. Der MF wird im Sinne der SDGs ökonomieweit bestimmt und entspricht daher dem RMC. Die Indikatoren können sowohl als absolute Werte und als relative Werte pro Kopf bzw. im Verhältnis zum Bruttoinlandprodukt (BIP) erhoben werden.

Da es sich bei diesen Ressourcenindikatoren um Indikatoren in nationaler Anwendung mit globalen Durchschnittsdaten (mit länderspezifischer Verfügbarkeit für ausgewählte Länder) die auch nur in der kostenpflichtigen Software Open LCA zur Verfügung stehen, wurden diese für den gegenständlichen Anwendungszweck als nicht sinnvoll erachtet.

6.2.2. Indikatoren zu Transport und Errichtung (A4+A5)

Das Umweltzeichen HOLZ VON HIER (HVH)¹⁵⁹ ein internationales Umweltlabel TYP 1 und konform mit der ÖNORM EN ISO 14024 (ÖNORM EN 14024, 2018). Es wird fremdüberwacht vom TÜV sowie zusätzlich nach dem IT-Standard PS 880 des Deutschen Institutes der Wirtschaftsprüfer.

HVH das einzige Umweltlabel, das die Warenströme von einzelnen, individuellen Produkten entlang der gesamten Verarbeitungskette in Echtzeit erfasst und dokumentiert.

Es ist unter Stakeholderbeteiligung entwickelt und wird weiter fortgeschrieben, es ist fremdüberwacht, neutral, transparent und hat einen hohen qualitativen Anspruch, der über den Status Quo und geltende Normen etc. hinausgeht.

In nicht-deutschsprachigen Ländern der EU wird HOLZ VON HIER® als LOW CARBON TIMBER® geführt, was den Klimanutzen impliziert. Die Aussage, Kriterien und Kontrollprozesse sind die gleichen.

Eine Zertifizierung von Produkten mit HOLZ VON HIER setzt die Einhaltung folgender Kriterien voraus:

- Die Transporte entlang der gesamten Lieferkette vom Wald bis zum Kunden sind überdurchschnittlich kurz und damit klimafreundlich und ressourcen-effizient.

¹⁵⁹ Holz von hier - <https://www.holz-von-hier.eu/das-umweltzeichen/> zuletzt abgerufen am 29.08.2025

- Die Grundrohstoffe stammen zu 100% aus verantwortungsvoller Rohstoffgewinnung aus nachhaltiger Waldwirtschaft (Nachweis über Forstmanagement (FM) Zertifikate nach FSC, PEFC oder vergleichbar).
- Produkte, die ein „Holz von Hier®“ resp. „Low Carbon Timber®“ Zertifikat tragen, enthalten kein Holz aus Primärwäldern (Urwäldern) und kein Holz weltweit gefährdeter Arten nach IUCN und CITES.

Die Kriterien wurden in einem Stakeholderprozess und auf der Basis wissenschaftlicher Untersuchungen entwickelt und können nur über Beschluss des Stakeholderkuratoriums von HVH / LCT geändert werden.

Im erläuternden Dokument HVH-015/2012¹⁶⁰ sind die Obergrenzen für unter HOLZ VON HIER (HVH) zulässigen Transportentfernungen zwischen den jeweiligen Gliedern der Verarbeitungskette angeführt. Die Grenzen können sich über die Produktkette akkumulieren. Diese Obergrenzen liegen aber immer deutlich unter dem Durchschnitt der jeweiligen Transportentfernungen entsprechender Produkte auf den Markt.

6.2.3. Indikatoren, die soziale Komponenten und den gesamten Produktlebenszyklus einbeziehen

Product Social Impact Assessment (PSIA)

Die PSIA Methode wird kontinuierlich weiterentwickelt und regelmäßig veröffentlicht (Goedkoop, de Beer, Harmens, & Saling, 2020). Generell werden in dieser Methode vier Stakeholdergruppen im gesamten Produktlebenszyklus adressiert – Arbeiter:innen, lokale Gemeinschaften, Produktnutzer:innen und Kleinbetriebe. Allerdings wird die Methode fast ausschließlich von Akteur:innen entwickelt, die zu den größten Unternehmen der Welt zählen. Als Beispiele seien nur BASF, Nestle, ArcelorMittal und FUJI OIL genannt, die Zielgruppe dementsprechend transnationale Akteur:innen mit den entsprechend international ausgerichteten Datengrundlagen.

6.2.4. GWP der standardisierten Lebenszyklusbetrachtung

Nach der derzeit gültigen Ökobilanzmethode für Bauprodukte (EN 15804) spielt der Kohlenstoffgehalt im betrachteten Produkt eine entscheidende Rolle. Der während des Baumwachstums aufgenommene und zum Zeitpunkt der Herstellung im Produkt befindliche (biogene) Kohlenstoff ist als negatives Treibhauspotenzial (GWP) im Rohstoff zu berücksichtigen (- 3,67 kg CO₂e/kg C) und wird in Modul A ausgewiesen. Allerdings muss der gesamte im Produkt gespeicherte Kohlenstoff am Lebensende (Modul C) verpflichtend wieder aus dem betrachteten System ausgebucht und somit hinsichtlich des GWP mit +3,67 kg CO₂e/kg C bewertet werden. Die Ströme an biogenem Kohlenstoff in und aus den Holzprodukten, führen daher bei dieser Betrachtungsmethode (als auch als „-1/+1-Ansatz“ bekannt) über den gesamten Lebenszyklus zu einem Netto-Null-Beitrag bezüglich des Kohlenstoff-Fußabdrucks des Produkts. Jegliche Anrechnung von positiven Effekten der vorübergehenden biogenen Kohlenstoffspeicherung und der damit verbundenen verzögerten CO₂-Emissionen ist nicht zulässig. Mit dieser Vorgehensweise werden somit im Zusammenhang mit den biogenen Kohlenstoff- bzw. CO₂-Flüssen weder eine Verlängerung

¹⁶⁰ <https://www.holz-von-hier.eu/wp-content/uploads/2022/09/DE-Transportgrenzen-HVH-Dokument.pdf>

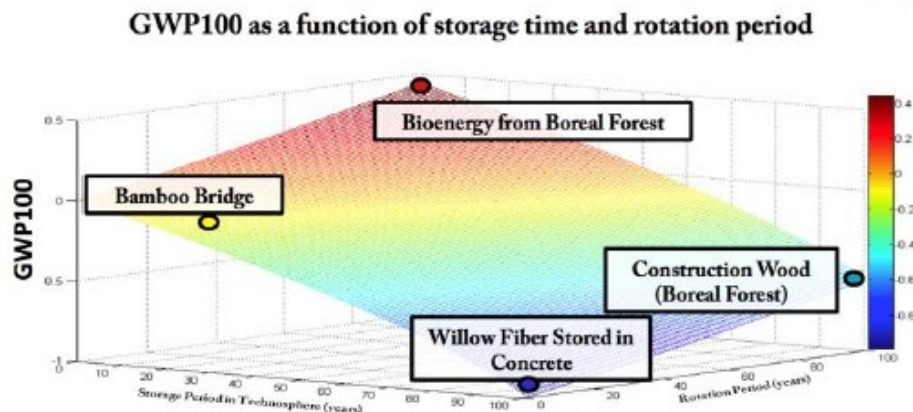
der Produktlebensdauer noch das Bevorzugen einer Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung gegenüber einer thermischen Verwertung am Lebensende berücksichtigt und dementsprechend auch keine Lenkungswirkung in diese Richtung erzielt.

6.2.5. Dynamische Betrachtung der Klimawirksamkeit

Die dynamische Lebenszyklusanalyse (DLCA) ist eine Erweiterung oder Anpassung der „traditionellen“ Lebenszyklusanalyse, die die zeitlichen Aspekte der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts berücksichtigt. Grundsätzlich kann diese „Dynamisierung“ für alle Wirkungsindikatoren durchgeführt werden, bisher lag der Schwerpunkt solcher Betrachtungen jedoch hauptsächlich auf Treibhausgasen (vor allem CO₂). Im Gegensatz zu den oben beschriebenen statischen Methoden, bei denen alle Auswirkungen im betrachteten Zeitraum zeitlich zusammengefasst und somit gleich behandelt werden, berücksichtigt die dynamische Lebenszyklusanalyse explizit den Zeitpunkt der Inputs (Material, Energie) und Outputs (Abfälle, Emissionen) im betrachteten System sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt.

Treibhausgasemissionen werden differenziert betrachtet, basierend auf den tatsächlichen Abbauraten in der Atmosphäre. Das allgemeine Prinzip der DLCA und ihr Zusammenhang mit dem GWP werden in Levasseur et al. (Levasseur, Lesage, Margni, Deschenes, & Samson, 2010) beschrieben und in mehreren Publikationen wie Breton et al. (Breton, Blanchet, Beauregard, & Chang, 2020) und Arehart et al. (Arehart, Hart, Pomponi, & D'Amico, 2021) in Hinblick auf den Bausektor weiter diskutiert. Durch die Verwendung von DLCA mit einem implementierten dynamischen Klimamodell können relevante Indikatoren mit beliebigen Treibhausgasemissionsverläufen berechnet werden (Levasseur, Lesage, Margni, Deschenes, & Samson, 2010). Es wurden mehrere Studien mit dynamischem Ansatz zum Vergleich von biogenen und fossilen Brennstoffen durchgeführt (Holtsmark, 2014) (Cherubini, Stromman, & Hertwich, 2011) (Cherubini, Bright, & Stromman, 2012) (Guest, Cherubini, & Stromman, 2012), wobei von einer sofortigen Freisetzung von CO₂ ausgegangen wurde. Dies mag für Brennstoffe eine vernünftige Annäherung sein, ist jedoch für langlebige Bauprodukte aus Lehm oder nachwachsenden Rohstoffen nicht sinnvoll anwendbar. In einem komplexeren Ansatz für den Baustoff Holz, haben Guest et al. (Guest, Cherubini, & Stromman, 2012) das GWP als Funktion der Umtriebszeit im Wald und der Kohlenstoffspeicherzeit bestimmt. Es konnte gezeigt werden, dass die damit verbundenen Treibhausgasemissionen umso geringer sind, je höher die Speicherdauer und je niedriger die Umtriebszeit ist (Abbildung 32).

Abbildung 32: GWP_{bio} für einen Zeithorizont von 100 Jahren als Funktion der Rotationsperiode (in Jahren) und der Speicherdauer. Quelle: Guest et al.



Auch für die verschiedenen Lehmbaumstoffe kann mit dieser Methode gezeigt werden, dass eine geringe Emission zu Beginn des Produktlebens (beispielsweise gegenüber Beton oder Kalkputz) wesentlich günstigere Auswirkungen auf den Klimawandel hat als eine hohe.

Ein zentrales Instrument des Treibhausgasinventars sind die sogenannten "Common Reporting Tables" (CRT). Diese Tabellen dienen der standardisierten Berichterstattung der Treibhausgasemissionen und -senken der einzelnen Länder und ermöglichen eine konsistente und vergleichbare Erfassung der Treibhausgasemissionen/-senken weltweit.

In der internationalen Klimaberichterstattung wird die Wirkung der biogenen Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten als Harvest Wood Products (HWP) in CRT-Sektor 4 LULCF (Common Reporting Table bzw. Land Use, Land Use Change and Forestry) behandelt, wobei biogene CO_2 -Emissionen und deren Beseitigung in die Treibhausgasbudgets der Länder auf der Grundlage des Produktionsansatzes einbezogen werden, der nach der IPCC-Methodik berechnet wird (IPCC, 2019). Bei der aktuellen Überarbeitung der FprEN 16485 (FprEN16485, 2025) wird im Annex A die dynamische Betrachtung der Treibhauswirksamkeit von langlebigen Holz(bau)produkten vorgeschlagen. Dabei werden im aktuellen, finalen und von der WG3 des CEN/TC 350 bereits abgesegneten Draft, die methodischen Optionen nach Lashof et al. (Lashof & Ahuja, 1990) und jene aus dem ILCD Handbuch (EC, 2010) empfohlen. Auf der Ebene eines einzelnen Produkts sollte die Berücksichtigung verzögerter Emissionen, wenn sie in den Zielen der Studie als relevant angegeben ist, berücksichtigt werden, jedoch gemäß ÖNORM EN ISO 14067 (ÖNORM EN 14067, 2018) separat ausgewiesen werden. Die im ILCD-Handbuch vorgeschlagene Methode kann zur Bewertung der Auswirkungen der vorübergehenden Speicherung von biogenem Kohlenstoff herangezogen werden, wobei die Methode auf einer linearen Diskontierung der Emissionen über einen Zeitraum von 100 Jahren basiert.

6.2.6. Angewandte Methode für die dynamische Betrachtung der Klimawirksamkeit

Die in Dolezal et al. (Dolezal, Dobra, Boogman, & Neumann, 2024) entwickelte Methode liefert Treibhausgasemissionsdaten für eine Auswahl von Bauprodukten, die mit einer dynamischen Ökobilanz erstellt wurden, die (sofern produktrelevant) auf verschiedenen Waldentwicklungsszenarien basiert, die mit einem Waldwachstumsmodell (PICUS) berechnet wurden. Dabei wird von einem hypothetischen, etwa 80 Jahre alten *Picea abies*-*Abies alba*-

Waldbestand (ein Nadelwald, in dem die Gemeine Fichte (*Picea abies*) und die Weißtanne (*Abies alba*) gemeinsam die Hauptbaumarten bilden bzw. den Bestand prägen – ein für Mitteleuropa typischer Wirtschaftswald) mit einer Stammdichte von 410 Bäumen pro Hektar, einer Grundfläche von 32 m²/ha und einem Holzvorrat von 430 m³/ha erstellt, um die Simulationen zu initialisieren. Die Bäume werden so lange generiert, bis die Zielgrundfläche erreicht ist, und ihre Standorte werden zufällig zugewiesen. Der Start der Simulationen erfolgte im Jahr 2022, wobei das folgende Bewirtschaftungsszenario zugrunde gelegt wurde:

Saumschlag bzw. auch Plenterung genannt: kontinuierliche Waldbewirtschaftung mit Entnahmen alle 10 Jahre.

Wie in Dolezal et al. (Dolezal, Dobra, Boogman, & Neumann, 2024) dargestellt, simuliert PICUS v1.5 Baumwachstum, Mortalität aufgrund von Konkurrenz, Wasserstress, Ernte sowie abiotische und biotische Störungen. PICUS verfügt über ein Boden- und Totholzmodul, das auf dem TRACE-Modell basiert. Es wird darauf hingewiesen, dass die Implementierung von TRACE in PICUS noch nicht vollständig validiert ist, dient aber dazu, Boden- und Totholzpool für Kohlenstoffsimulationen zu berücksichtigen, da sie einen wichtigen Beitrag zu den gesamten Kohlenstoffpools leisten. Die berücksichtigten Kohlenstoffspeicher sind lebende Vegetation (ober- und unterirdisch), Boden (einschließlich organischer Streuschichten) und Totholz (stehend und liegend).

Generell werden auch mit dem dynamischen Indikator nur Baustoffe innerhalb einer Anwendungsgruppe verglichen (Massivbaustoffe und Dämmstoffe untereinander). Um den laufenden Entwicklungen in der Kreislaufwirtschaft im Bausektor Rechnung zu tragen, wird die EoL-Phase mit verschiedenen Szenarien modelliert, darunter Wiederverwendung, Verbrennung bzw. Deponierung (die beide gemäß ÖNORM EN 15804 mit kompletter (biogener) CO₂ Emission gerechnet werden), Bioenergie-Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (BECCS) sowie pyrogene Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (PyCCS).

6.3. Ergebnisse

6.3.1. Ergebnisse des GWP der standardisierten Lebenszyklusbetrachtung

Im Rahmen des Projektes wurden die unterschiedlichen Materialien bzw. Produkte unter Zugrundelegung der Datenbank ecoinvent¹⁶¹ einer Lebenszyklusanalyse über den kompletten Lebenszyklus standardmäßig nach ÖNORM EN 15804 sowie, falls vorhanden, nach den entsprechenden Produktkategorieregeln, unterworfen.

Die in Tabelle 57 angeführten Bauprodukte wurden unter Anwendung der Software SimaPro¹⁶² mit der Grundlagendatenbank ecoinvent untersucht und deren Umweltwirkungen erhoben.

¹⁶¹ Ecoinvent v3.11 Ecoinvent Database, Zurich, 2025

¹⁶² Sima Pro v10.2.0.3 PRé Sustainability B.V., Amersfoort, 2025

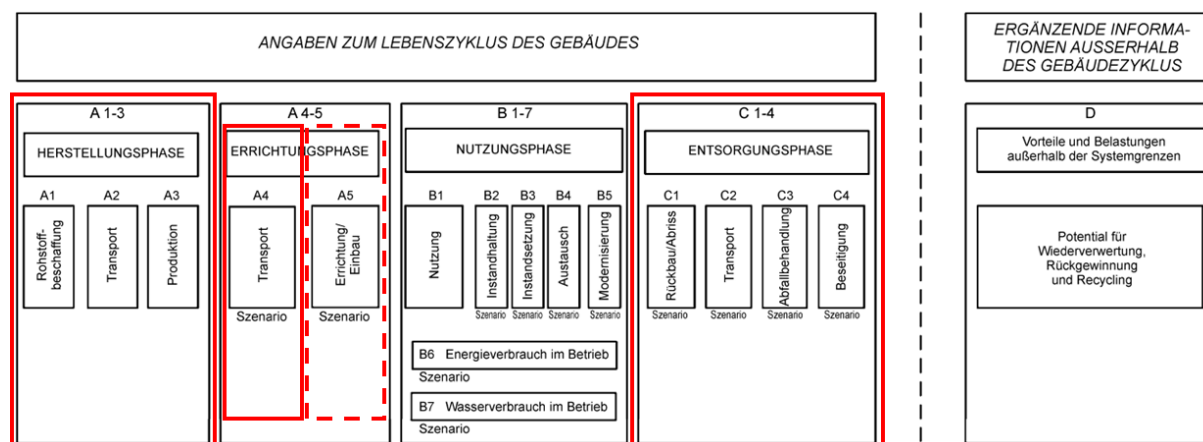
Tabelle 57: Bauprodukte die einer Ökobilanz gemäß EN 15804 unterworfen wurden

Baustoff	Funktionale Einheit (FU)
Stroh Einblasdämmung	m ³
Hanfdämmung PET	m ³
Hanfdämmung PLA	m ³
Holzfaser Einblasdämmung	m ³
Stampflehm	kg
Lehmputz	kg

Dabei ist festzuhalten, dass eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse für die einzelnen Wirkungsindikatoren nur bei den Dämmstoffen gegeben ist, nicht aber für alle angeführten Bauprodukte, da ihre funktionale Einheit unterschiedlich ist und ein einfacher Vergleich von Masse oder Volumen aufgrund unterschiedlicher Einsatzszenarien nicht sinnvoll wäre.

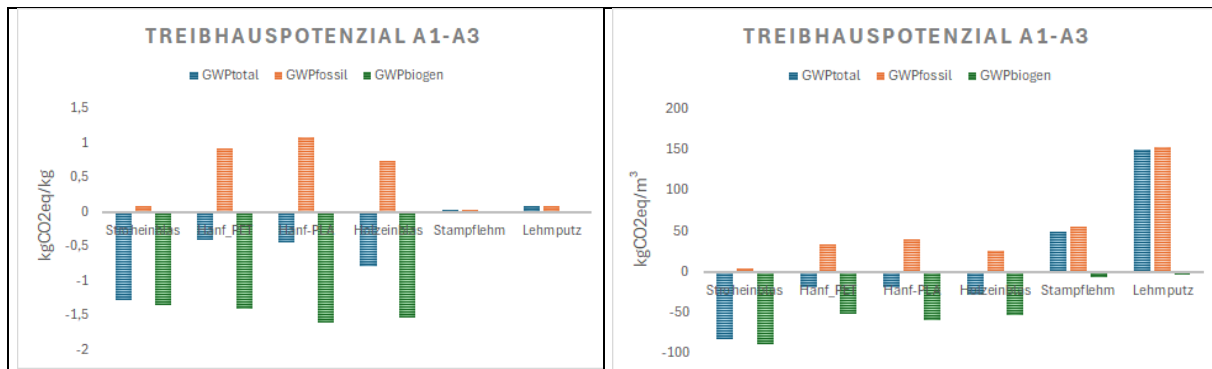
Generell wurden für alle Bauprodukte die Lebenszyklusphasen A1-A3, A4 und die jeweils relevante Unterkategorie von C (C2 + C3 oder C4) betrachtet. Darüber hinaus wurde bei den Einblasdämmstoffen deren finale Verarbeitung (das Einblasen) das eigentlich in A5 (Einbau) ebenfalls bilanziert und mit in die Ergebnisse von A1-A3 aufgenommen. Die Lebenszyklusphasen gemäß ÖNORM EN 15804+A2 und die in den Berechnungen berücksichtigten Lebenszyklusphasen sind in Abbildung 33 dargestellt. Aufgrund dessen, dass der Einbau (A5) bei Stroh Einblasdämmung und Holzfaser Einblasdämmung als Teil von A1-A3 zu sehen ist und so auch in den Berechnungen behandelt wurde, erfolgt die Kennzeichnung von A5 in Abbildung 33 strichliert.

Abbildung 33: Lebenszyklusphasen nach EN 15804+A2 und die in den Berechnungen berücksichtigten, bzw. sinnvollen Phasen rot markiert. Phase A5 bei Einblasdämmungen berücksichtigt, aber der Produktionsphase zugerechnet.



Die Ergebnisdarstellung erfolgt in den Abbildung 34 bis Abbildung 37, jeweils bezogen auf kg (links) und m³ (rechts).

Abbildung 34: Ergebnisse des GWP für A1-A3 (Produktionsphase) in kg (links) und m³ (rechts)

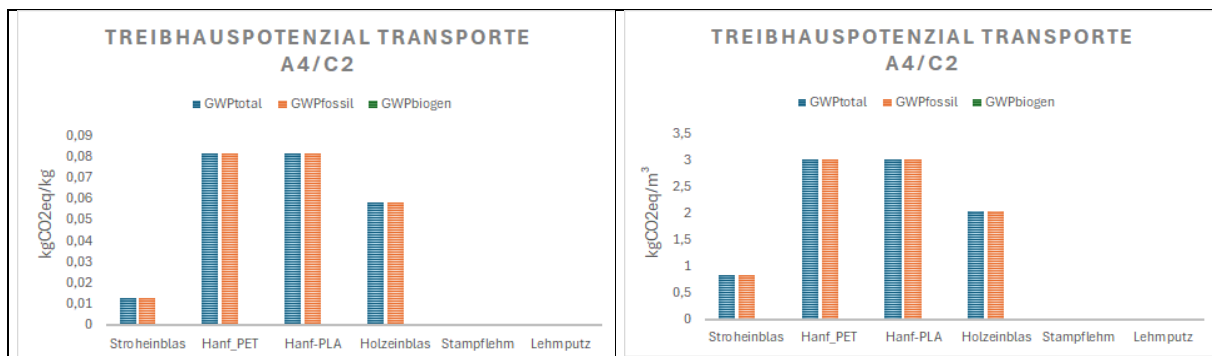


Hinsichtlich der Transporte wurden die folgenden Annahmen gemäß Tabelle 58 für die Berechnung der Umweltwirkungen mit dem Datensatz ecoinvent „Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER} Cut-off, S“ zugrunde gelegt. Betrachtet wurden die Transport-Lebenszyklusmodule A4 (Transport zur Baustelle) sowie C2 (Transport zur Entsorgung).

Tabelle 58: Angenommene Transportentfernungen für die untersuchten Bauprodukte

	Stroheinblas- dämmung	Hanf-PET	Hanf-PLA	Holzfasereinblas- dämmung	Stampflehm	Lehmputz
Entfernung A4						
in km	5	300	300	200	0	0
Entfernung C2 in						
km	50	50	50	50	0	0
Dichte in kg/m³	65	37	37	35	2250	1700

Abbildung 35: Ergebnisse des GWP für die Transportlebenszyklusphasen A4 (Transport zur Baustelle) und C2 (Transport zur Entsorgung) in kg (links) und m³ (rechts)



Erkennbar ist die unmittelbare Verarbeitung des Lehms auf der Baustelle, da hier keine Transportemissionen anfallen – ein massiver Vorteil gegenüber allen anderen (schweren) Baustoffen. Darüber hinaus findet sich beim Transport so gut wie keine biogenen Treibhausgasemissionen, da

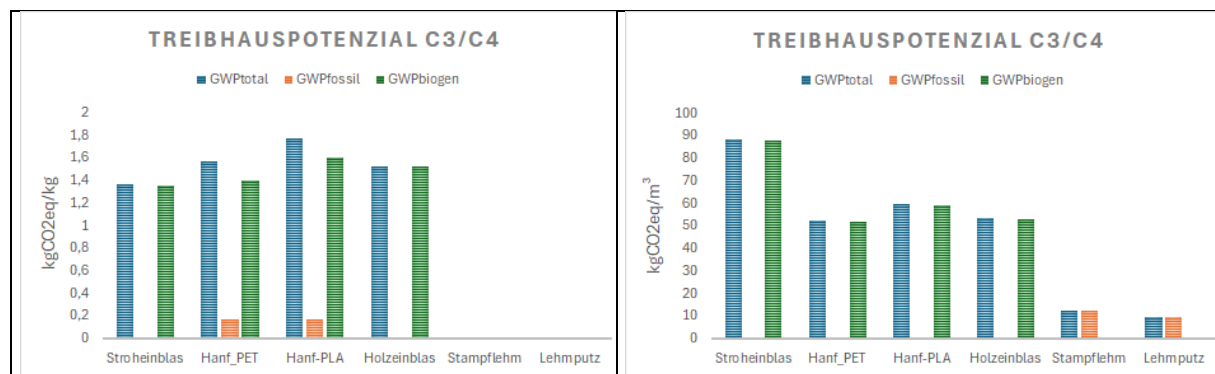
fast ausschließlich mit dem LKW transportiert wird. Aufgrund der hohen Regionalverfügbarkeit von Stroh wurden hierzu die Transporte sehr niedrig angesetzt, was sich ebenfalls in den Ergebnissen des GWP abbildet.

Generell müssen für die Lebenszyklusphasen B1-B7 und C1-C4 bei der Planung Szenarien zugrunde gelegt werden, da deren tatsächliche Umweltwirkungen in der Zukunft liegen und zum Projektierungszeitpunkt nur nach den aktuellen technischen Möglichkeiten abgeschätzt werden können. Die den einzelnen Baustoffen zugrunde gelegten End of Life Szenarien sind in Tabelle 3 angeführt. Dabei ist davon auszugehen, dass aufgrund der in der EU bis 2050 angestrebten Klimaneutralität, die biogenen Baustoffe, keiner thermischen Verwertung mehr zugeführt werden. Plausible Szenarien sind in dieser Hinsicht eher die Verwertung in der Pyrolyse (nach mehrfachem Recycling) oder überhaupt eine dauerhafte Speicherung des inhärenten Kohlenstoffes.

Tabelle 59: Zugrunde gelegte Entsorgungsszenarien für die Baustoffe

	Stroheinblas- dämmung	Hanf-PET	Hanf-PLA	Holzfaserleinblas- dämmung	Stampflehm	Lehmputz
Szenario	therm. Verwertung	therm. Verwert.	therm. Verwert.	therm. Verwertung	Deponie- rung	Deponie- rung

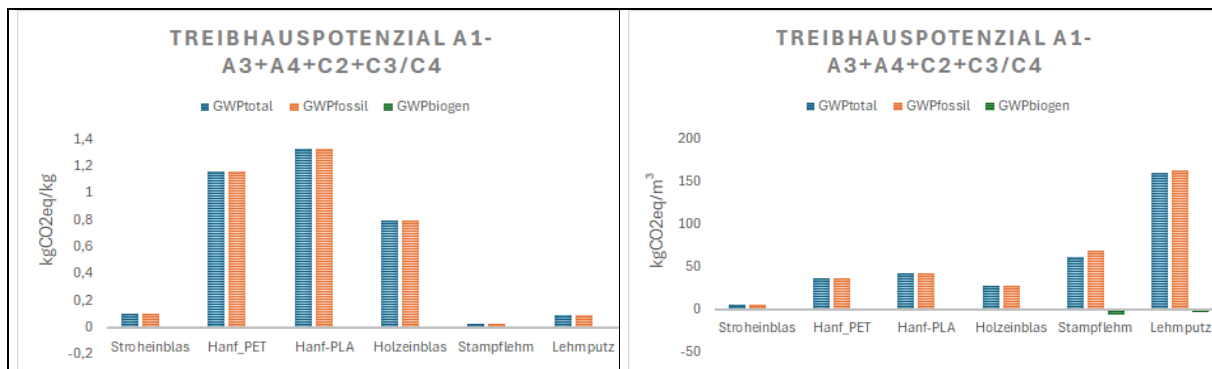
Abbildung 36: Ergebnisse des GWP für die End of Life-Lebenszyklusphasen C3 (therm. Verwertung) und C4 (Deponierung) in kg (links) und m³ (rechts)



Aufgrund der Tatsache, dass Lehmbaustoffe unmittelbar wieder in den Boden eingebracht werden können und keine Deponiebetreuung erforderlich ist, fallen prinzipiell keine Emissionen für deren „Deponierung“ an.

Unter Berücksichtigung des kompletten Lebenszyklus ergibt sich die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial gemäß Abbildung 37.

Abbildung 37: Kumulierte Ergebnisse des GWP für die Lebenszyklusphasen A1-A3+A4+C2+C3/C4 in kg (links) und m³ (rechts)



Sinnvolle funktionale Einheiten

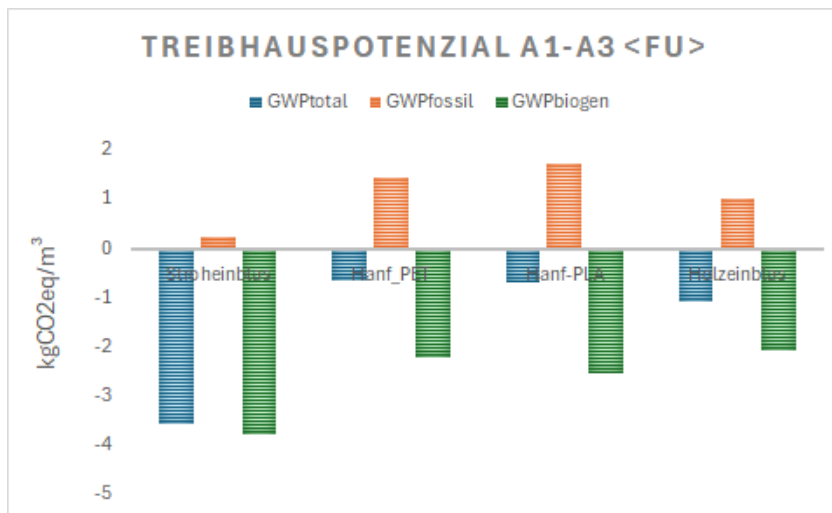
Vor allem bei Dämmstoffen ist eine Ergebnisdarstellung in kg oder m³ als Berechnungsgrundlage zwar wichtig, aufgrund der unterschiedlichen Effizienz der Dämmstoffe – angegeben mit der Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK) – ist ein Vergleich bei Anwendung zum Zwecke der Wärmedämmung nur unter Zugrundelegung eines einheitlichen Wärmedurchgangswiderstandes (R in m²K/W) als Bezugsgröße sinnvoll. Der hierfür erforderliche Konversionsfaktor (KF) wird gemäß Gleichung 1 unter Einbeziehung der Rohdichte (ρ) mit $R_0 = 1$ m²K/W und $A_0 = 1$ m² ermittelt.

$$KF = \rho * \lambda * R_0 * A_0 \quad (\text{BauPVO, 2024})$$

Unter Einbeziehung des Konversionsfaktors und der Bezugsgröße R wird ein vertiefter Vergleich der Dämmstoffe berechnet. Bezogen auf deren Wärmedämmfunktion ergeben sich dadurch veränderte Ergebnisse und damit Aussagen hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen und damit ihrer Wirkung auf den Klimawandel. Aufgrund der höheren Dichte und der (teilweise) höheren Wärmeleitfähigkeit muss bei Strohdämmungen mehr Material eingebaut werden, was einerseits zu höheren Emissionen des GWP_{fossil} führt, andererseits aber auch mehr Kohlenstoff speichert und damit auch mehr GWP_{biogen} enthält. Letzteres muss dann auch in der End of Life Phase wieder ausgebucht werden.

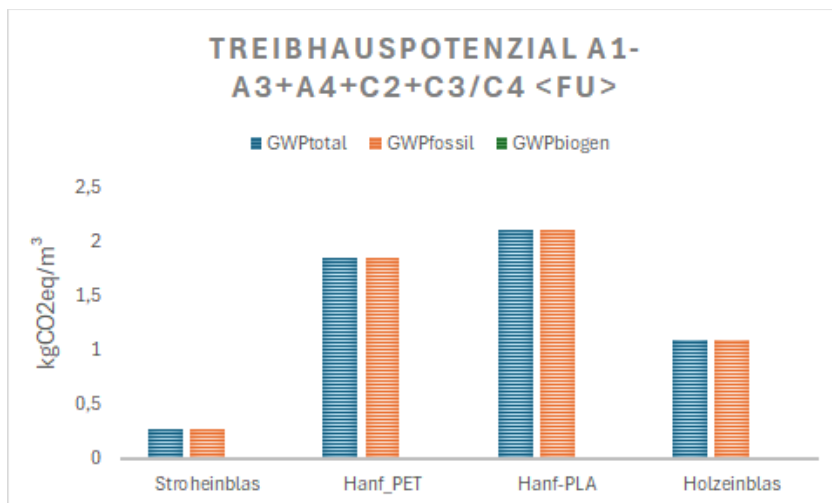
Besonders deutlich zeigt sich das Potenzial von Stroh, wenn nur die Herstellung (A1-A3) der Dämmstoffe in Abbildung 38 betrachtet wird. Das sehr geringe GWP_{fossil} steht dabei dem sehr hohen materialinherenten GWP_{biogen} gegenüber. Wird gemäß den politischen Vorgaben der Klimaneutralität ab 2050 berücksichtigt, dass Material mit gespeichertem Kohlenstoff ab diesem Zeitpunkt voraussichtlich nicht mehr verbrannt wird, so wären Dämmstoffe aus Stroh als effektive Maßnahme gegen den Klimawandel einzustufen.

Abbildung 38: Gegenüberstellung der Ergebnisse des GWP für die Treibhauspotenziale unter Berücksichtigung einer funktionalen Einheit für Wärmedämmung



Auch unter Berücksichtigung der höheren Masse von Einblasstroh und der annähernd gleichen bzw. leicht höherer Wärmeleitfähigkeit weist der Baustoff die geringsten Treibhausgasemissionen unter Betrachtung des kompletten Lebenszyklus auf (Abbildung 39). Holzfaser Einblasdämmung folgt auf dem Fuße aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit und der geringeren Masse. Beide Vorteile führen zu geringerem Materialbedarf und damit reduzierten Treibhausgasemissionen.

Abbildung 39: Vergleich der kumulierten Ergebnisse des GWP für die Treibhauspotenziale der Dämmstoffe in den Lebenszyklusphasen A1-A3+A4+C2+C3, unter Berücksichtigung einer funktionalen Einheit für Wärmedämmung



6.3.2. Ergebnisse der dynamischen Betrachtung der Klimawirksamkeit

Die folgenden Ergebnisse der dynamischen Betrachtung der Klimawirksamkeit von Baustoffen umfasst die folgenden Indikatoren:

Kumulativer CO₂ Fluss, dynamisch:

Der Indikator beschreibt die über einen bestimmten Zeitraum aufsummierte Menge an CO₂-Emissionen bzw. -Aufnahme über eine definierte Systemgrenze hinweg. Im gegenständlichen Fall gibt er an, welche CO₂ Flüsse pro Zeiteinheit in die Atmosphäre bzw. aus ihr herausfließen (in kg CO₂-äq/m³ Produkt).

CO₂ in der Atmosphäre, dynamisch:

Der Indikator beschreibt, wie sich die CO₂-Menge in der Luft zeitlich verändert, also nicht nur den aktuellen Wert, sondern den Verlauf inklusive Quellen und Senken.

Kumulierter Strahlungsantrieb, dynamisch:

Der Indikator beschreibt, wie sich der durch Treibhausgase verursachte zusätzliche Energieeintrag in das Klimasystem zeitlich aufsummiert. Er ist damit ein Bindeglied zwischen Emissionsverlauf, Strahlungsantrieb und Temperaturänderung.

Genannte dynamische Indikatoren werden auf die folgenden Aspekte angewandt:

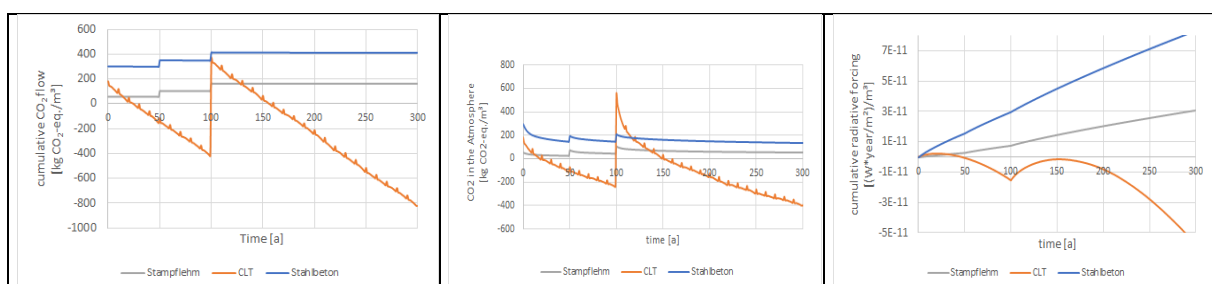
Dabei werden die folgenden Aspekte immer anhand unterschiedlicher Baustoffe bzw. Szenarien betrachtet:

- Vergleich von Massivbaustoffen hinsichtlich ihrer Treibhauswirksamkeit (Abbildung 40)
- Vergleich unterschiedlicher Dämmstoffprodukte (Abbildung 41)
- Vergleich unterschiedlicher End of Life Szenarien am Beispiel Stroh Einblasdämmung (Abbildung 42)
- Vergleich des Einflusses von Transportemissionen unter Zugrundelegung der für die einzelnen Baustoffe üblichen Transportmittel und -entfernungen (Abbildung 43 bis Abbildung 45)
- Vergleich der methodischen Zugänge – Produktsicht versus Systemsicht (Abbildung 46)

Vergleich von Massivbaustoffen hinsichtlich ihrer Treibhauswirksamkeit

Berücksichtigt wurde dabei jeweils eine Wiederverwendung nach 50 Jahren und die finale Entsorgung nach 100 Jahren: Brettsperrholz (CLT) - thermische Verwertung (ohne Berücksichtigung von Energie-Gutschriften), Stahlbeton und Stampflehm - Deponierung.

Abbildung 40: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Massivbaustoffe (Stampflehm, CLT-Brettsperrholz, Stahlbeton): Kumulativer CO₂ Fluss (links), CO₂ in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)

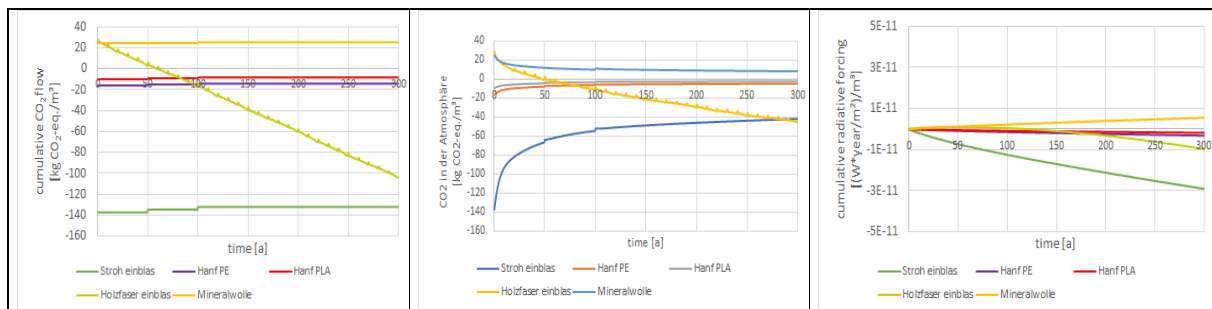


Vergleich unterschiedlicher Dämmstoffprodukte

Bei allen Dämmstoffen wurde eine Wiederverwendung nach 50 Jahren zugrunde gelegt.

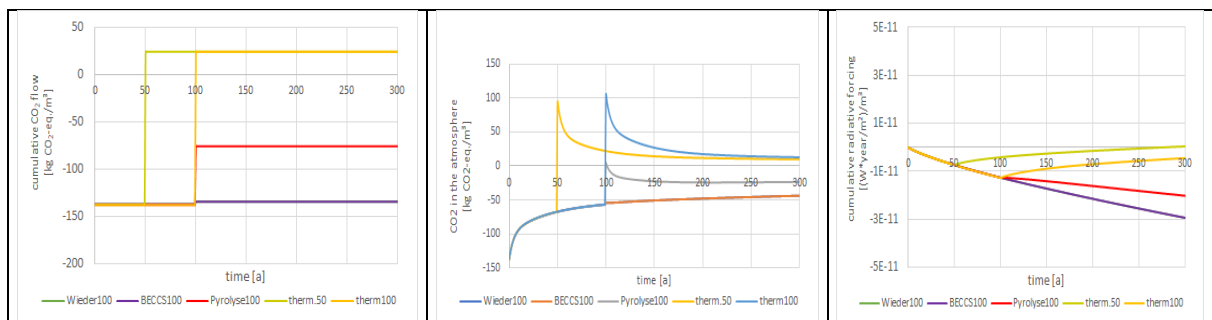
Aufgrund der angestrebten Klimaneutralität bis 2050 wird bei den nachwachsenden Dämmstoffen BECCS - Bioenergy Carbon Capture and Storage (Abscheidung und dauerhafte Speicherung von CO₂ aus biogenen Quellen) nach 100 Jahren angenommen (und damit keine CO₂ Emissionen am Ende der Nutzungsdauer), die Mineralwolle wird am Ende der Nutzungsdauer deponiert.

Abbildung 41: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Dämmstoffprodukte: Kumulativer CO₂ Fluss (links), CO₂ in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)



Vergleich unterschiedlicher End of Life Szenarien am Beispiel Stroh Einblasdämmung

Abbildung 42: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche End of Life Szenarien: Kumulativer CO₂ Fluss (links), CO₂ in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)



Wieder100: Wiederverwendung nach 100 Jahren

BECCS100: Bioenergy Carbon Capture and Storage (Abscheidung und dauerhafte Speicherung von CO₂ aus biogenen Quellen)

Pyrolyse100: Pyrolyse nach 100 Jahren und dauerhafte Speicherung des abgeschiedenen Kohlenstoffs

therm50: Thermische Verwertung nach 50 Jahren

therm100: Thermische Verwertung nach 100 Jahren

Vergleich des Einflusses von Transportemissionen unter Zugrundelegung der für die einzelnen Baustoffe üblichen Transportmittel und -entfernungen

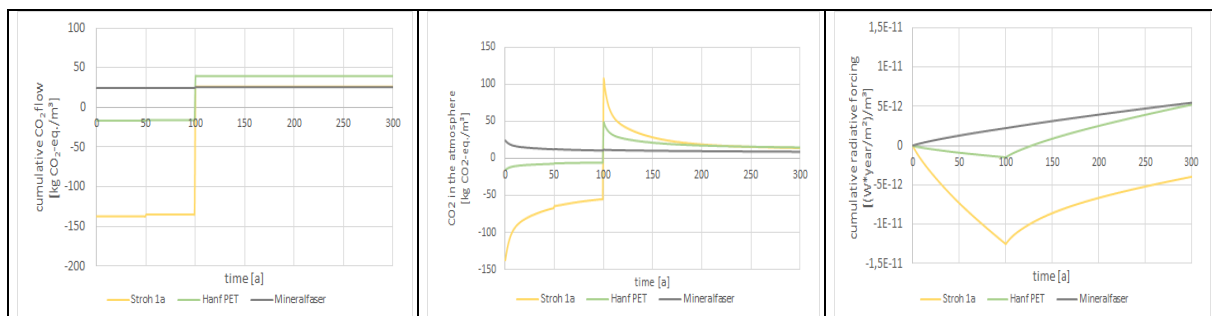
Berücksichtigt wurde dabei jeweils eine Wiederverwendung nach 50 Jahren und die finale Entsorgung nach 100 Jahren (für Stroh und Hanf thermische Verwertung, sowie für Mineralwolle die Deponierung). Zugrunde gelegt werden darüber hinaus die folgenden Transportentfernungen:

Für alle betrachteten Dämmstoffe für alle EoL Szenarien 100 km.

Die Transporte zur Baustelle werden bei Stroh mit 20 km, bei Hanf mit 200 km, und bei Mineralwolle auch mit 200 km angenommen.

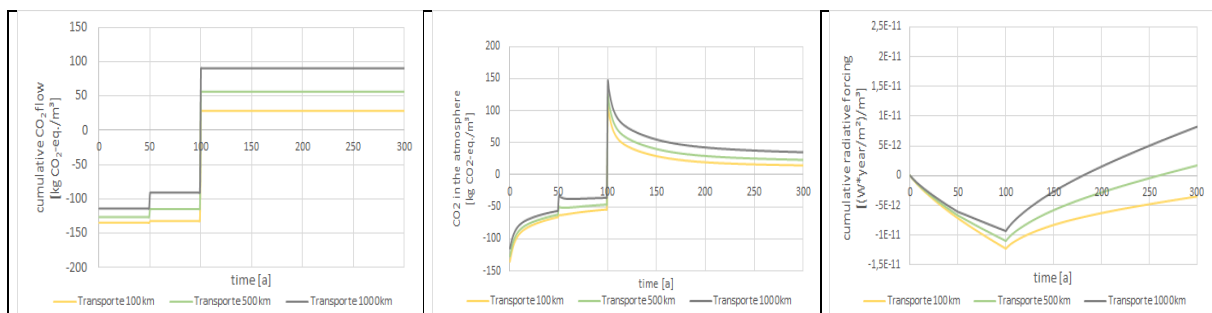
Als Transportmittel werden für alle Baustoffe LKW 7,5-16 t der Klasse Euro 6 herangezogen (ecoinvent „Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER} Cut-off, S“).

Abbildung 43: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Transportentfernungen verschiedener Dämmstoffe: Kumulativer CO₂ Fluss (links), CO₂ in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)



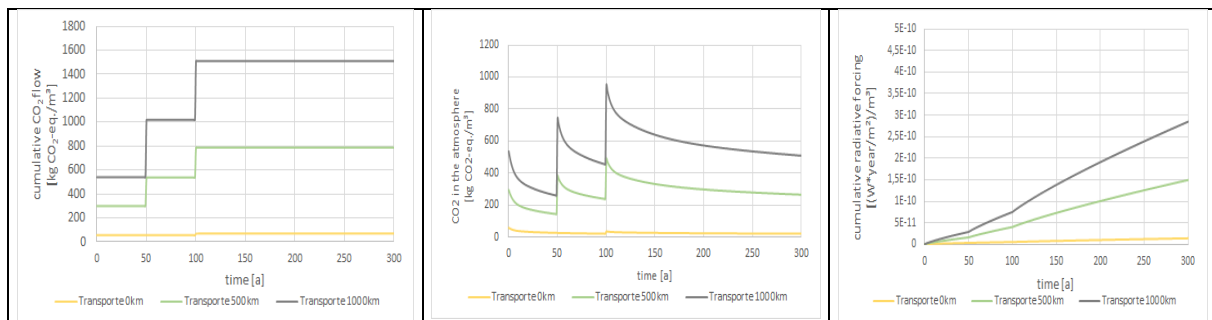
Eine weitere graphische Auswertung anhand des Beispiels Stroh soll den Einfluss auf die Klimawirksamkeit von Transportentfernungen auf einen Dämmstoff und damit relativ leichten Bauteil verdeutlichen (Abbildung 44).

Abbildung 44: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Transportentfernungen ausschließlich für Wärmedämmung aus Einblasstroh: Kumulativer CO₂ Fluss (links), CO₂ in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)



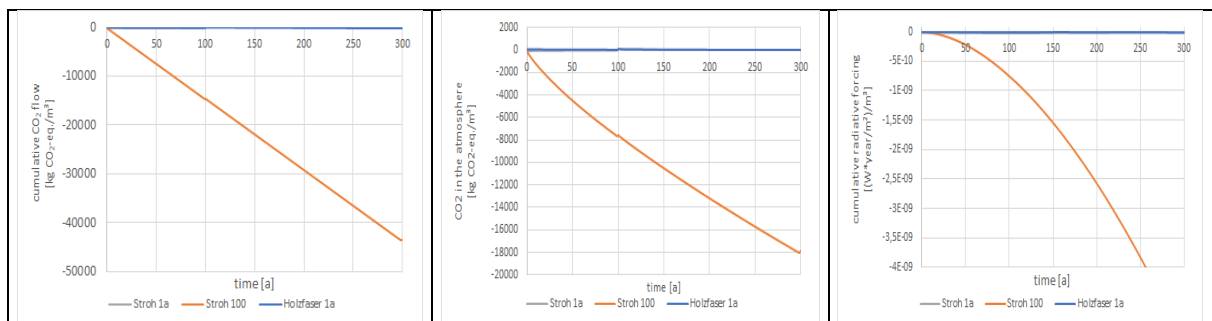
Zusätzlich, als Vergleich zum leichten Baustoff, wird auch noch ein schwerer Baustoff wie Stampflehm graphisch aufbereitet, um die Wirksamkeit von Transportemissionen in Abhängigkeit von der Baustoffmasse zu beleuchten (Abbildung 45).

Abbildung 45: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Transportentfernungen ausschließlich für Stampflehm als typisch schwerer Baustoff: Kumulativer CO₂ Fluss (links), CO₂ in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)



Vergleich der methodischen Zugänge – Produktsicht versus Systemsicht

Abbildung 46: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche methodische Zugänge: Kumulativer CO₂ Fluss (links), CO₂ in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)



Stroh 1a: Stroheinblasdämmung, wobei nur der Effekt einer (für den Baustoff relevanten) Ernte einberechnet wird.

Stroh 100: Stroheinblasdämmung, wobei auch die weiteren 300 Jahre der Kohlenstoffspeichereffekt der Strohernte (also eine Ernte pro Jahr möglich) mit einberechnet wird.

Holzfaser 1a: Holzfaserreinblasdämmung, wobei nur der Effekt einer (für den Baustoff relevanten) Ernte einberechnet wird. Zusätzlich wird das von der Holzfaser Einblasdämmung belastete Waldsystem mitgerechnet.

Generell wurde auch hier für alle betrachteten Dämmstoffe eine Wiederverwendung nach 50 Jahren und eine finale, thermische Verwertung nach 100 Jahren zugrunde gelegt.

6.4. Schlussfolgerungen

Das Projekt hat eine Vielzahl an tiefgreifenden fachlichen Erkenntnissen geliefert, die insbesondere die Unzulänglichkeiten aktueller normativer Bewertungsmethoden für ökologische Baustoffe offenlegen. Eine zentrale Erkenntnis ist, dass die derzeitigen Standardverfahren zur Lebenszyklusanalyse, wie sie in der Norm EN 15804 definiert sind, die spezifischen Vorteile regionaler Materialien wie Lehm, Stroh oder Holz nicht adäquat abbilden können. Da diese Regelwerke primär auf die internationale Großindustrie zugeschnitten sind, finden die minimalen Produktionsaufwände und die positiven lokalen Wirkungen regionaler Kreisläufe kaum Berücksichtigung. Besonders kritisch bewertet das Team den herkömmlichen statischen Ansatz der Kohlenstoffbilanzierung, der biogenen Kohlenstoff am Lebensende eines Produkts pauschal als Emission ausbucht und somit keinen Anreiz für eine Verlängerung der Lebensdauer oder eine stoffliche Wiederverwendung bietet. Im Gegensatz dazu hat die im Projekt angewandte dynamische Lebenszyklusanalyse verdeutlicht, dass eine geringe Emission zu Beginn des Produktlebenszyklus, wie sie für Lehmbaustoffe typisch ist, wesentlich günstigere Auswirkungen auf das Klimasystem hat als die hohen Treibhausgasemissionen konventioneller Materialien. Fachlich lässt sich festhalten, dass vor allem die unmittelbare Verarbeitung von Aushublehm auf der Baustelle einen massiven Vorteil darstellt, da hierbei jegliche Transportemissionen entfallen, was Lehm gegenüber allen anderen schweren Baustoffen ökologisch überlegen macht.

Auf Basis dieser Ergebnisse arbeitet das Projektteam intensiv an der Weiterentwicklung und Etablierung alternativer Bewertungskonzepte. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Dynamisierung von Wirkungsindikatoren, um die zeitlichen Aspekte der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus korrekt darzustellen. Hierbei werden komplexe Modelle genutzt, die beispielsweise den kumulierten Strahlungsantrieb oder den dynamischen CO₂-Fluss in die Atmosphäre einbeziehen, um die Klimawirksamkeit langlebiger Bauprodukte präziser und umfassender als mit statischen Methoden zu bewerten. Zudem adressiert das Team das bisherige Defizit an sozialen und ökonomischen Qualitätsnormen, die im europäischen Normungsprozess bislang vernachlässigt wurden, und sucht nach Wegen, diese Aspekte in eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung zu integrieren. Die im Projekt erarbeiteten Daten zu unterschiedlichen End-of-Life-Szenarien, wie etwa der dauerhaften Speicherung von Kohlenstoff durch Pyrolyse oder Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS), dienen als Grundlage für künftige Strategien zur Klimaneutralität im Bausektor. Aufgrund der auf nationaler und europäischer Ebene angestrebten Klimaneutralität ist davon auszugehen, dass biogener Kohlenstoff (gebunden beispielsweise in langlebigen Bauprodukten) in naher Zukunft nicht mehr als CO₂ Emission in die Atmosphäre entlassen wird.

Die Projektergebnisse sind für eine breite Palette an Zielgruppen von hoher Relevanz. Kleine und regionale Baustoffhersteller profitieren von den Bestrebungen, kostengünstigere und adäquatere Methoden für ökologische Produktdeklarationen zu schaffen, da sie derzeit durch die hohen Kosten standardisierter Verfahren benachteiligt sind. Planer und Architekten erhalten durch die Einführung sinnvoller funktionaler Einheiten, etwa beim Vergleich von Dämmstoffen unter Berücksichtigung ihrer tatsächlichen Wärmedämmwirkung, eine verlässlichere Entscheidungshilfe für die Materialwahl. Auch für politische Entscheidungsträger und Normungsgremien liefern die Erkenntnisse wichtige Impulse, um die ökologische Lenkungswirkung von Regelwerken zu verbessern und die Wiederverwendung von Materialien stärker zu fördern. Bildungseinrichtungen können die

Daten nutzen, um Lehrinhalte zu modernisieren und das Bewusstsein für die Klimarelevanz von Materialentscheidungen zu schärfen.

In Bezug auf rechtliche Hürden stellt vor allem die neue EU-Bauprodukteverordnung (BauPVO, 2024) eine Herausforderung dar, da sie eine detaillierte Analyse der Umweltwirkungen für Produktdeklarationen verpflichtend vorschreibt, während harmonisierte Normen für viele ökologische Produkte noch fehlen. Kleine Hersteller sehen sich hier mit einer massiven finanziellen und administrativen Belastung konfrontiert, die ihren Marktzugang gefährden könnte. Zudem erschweren die starren Vorgaben der geltenden Normen zur Ökobilanzierung die Anrechnung von Kohlenstoffspeichereffekten über den Lebenszyklus hinaus, was innovative, zirkuläre Geschäftsmodelle rechtlich und ökonomisch benachteiligt. Ein weiteres Hindernis ist das mangelnde Interesse auf europäischer Ebene an der Weiterentwicklung von Normen für die soziale und ökonomische Qualität von Gebäuden, was eine ganzheitliche rechtliche Verankerung der Nachhaltigkeit bremst.

Die Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten des Projekts umfassen neben wissenschaftlichen Publikationen und der Teilnahme an internationalen Fachkonferenzen auch die direkte Einbindung von Stakeholdern in Entwicklungsprozesse. Ein besonderes Potenzial zur Marktverbreitung wird in der Nutzung von Umweltlabels gesehen, die wie das Label HOLZ VON HIER auf kurzen Transportwegen und verantwortungsvoller Rohstoffgewinnung basieren und somit die regionale Wertschöpfung stärken. Das weitere Marktpotenzial ist insbesondere vor dem Hintergrund der angestrebten Klimaneutralität bis 2050 als sehr hoch einzuschätzen. Wenn künftig materialinhärenter Kohlenstoff nicht mehr thermisch verwertet werden darf, werden Dämmstoffe aus Stroh oder Massivbauteile aus Lehm aufgrund ihrer extrem niedrigen fossilen Treibhausgasemissionen zu den effektivsten Maßnahmen gegen den Klimawandel zählen. Die Kombination aus technischer Innovation - wie dem robotergestützten Stampflehmbau - und einer verbesserten Datenbasis zur Umweltwirkung positioniert den Lehmbau als zukunftsfähige Alternative im großvolumigen Wohnbau.

7 System mit Lehm

7.1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Herstellung heutiger Gebäude ist nicht kreislauffähig, da diese fast zur Gänze mit synthetischen und chemiegebundenen Baustoffen im Verbund ausgeführt werden. Emissionen von Treibhausgasen bei der Herstellung und Verarbeitung dieser Baustoffe sind hoch. Es ist nicht nur der Beton, der die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes beeinträchtigt, sondern auch sehr viele miteinander verbundene Baustoffe, die nicht mehr oder nur unter großem Aufwand sortenrein getrennt werden können.

Holzwerkstoffe bilden hierbei häufig keine Ausnahme: Ein Großteil der eingesetzten Holzwerkstoffe bzw. ihrer Verbindungen enthält synthetische Klebstoffe. Darüber hinaus sind für die Herstellung von bauphysikalisch nach dem Stand der Technik ausgeführten Wand- und Deckenbauteilen meist zusätzliche Bauprodukte erforderlich, etwa Klebebänder, Dichtmassen und Folien. Dies ergibt sich unter anderem aus normativen und regulatorischen Vorgaben.

Auch im Innenraum kommen, unabhängig davon, ob es sich um einen Beton- oder Holzbau handelt, zahlreiche industriell hergestellte Baustoffe zum Einsatz. Dazu zählen unter anderem Abdichtungen, Anstriche, Gipskartonplatten, Holzwerkstoffe, Zementestriche sowie verschiedene Klebstoffe, insbesondere für Bodenbeläge. Viele dieser Bauprodukte enthalten synthetische Bestandteile oder Bindemittel und können daher potenzielle Quellen für flüchtige organische Verbindungen (VOC) in Innenräumen darstellen, die während oder nach der Verarbeitung an die Raumluft abgegeben werden können (UBA, 2017). Diese Baumaterialien belasten nicht nur die Umwelt, sondern können auch für Nutzer:innen der Gebäude belastend sein, die möglichen Emissionen und Allergenen ausgesetzt sind.

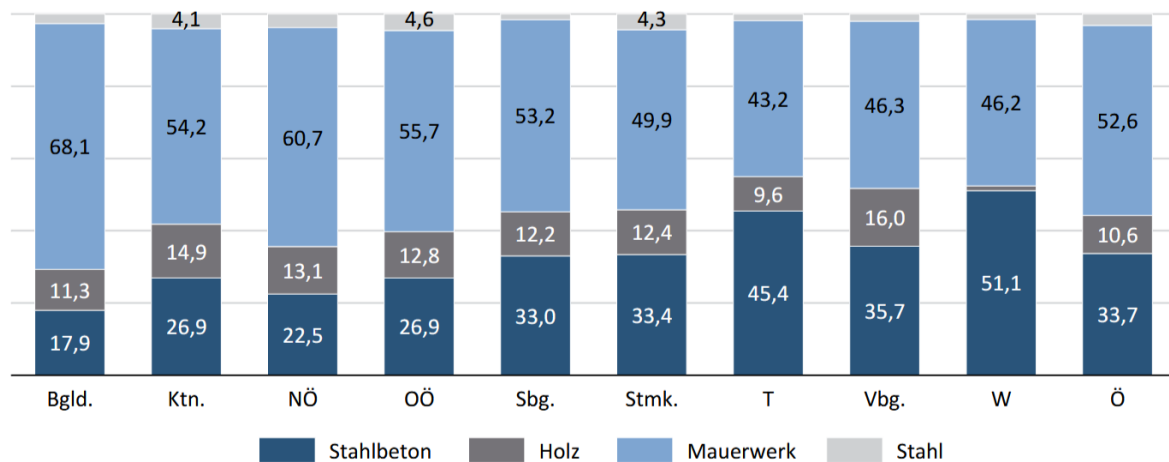
Um die Treibhausgasbelastung im Bauwesen deutlich zu reduzieren und einen gesunden, emissionsfreien Raum zur Verfügung stellen zu können, müssten Gebäude weitestgehend mit natürlichen und im Herstellungsprozess ressourcenschonenden, u.a. auch lokalen Materialien hergestellt werden. Gleichzeitig bietet der Verzicht auf Klebeverbindungen die Möglichkeit, Baumaterialien nach dem Rückbau und im Sinne einer Kreislaufwirtschaft wieder und weiter verwenden zu können.

Es ist daher eine Potentialerhebung durchzuführen, welche Bauteile durch natürliche, CO₂ neutrale und wieder lösbare Bauelemente ersetzt werden können.

Im Wesentlichen lassen sich folgende Bauteile als dafür relevant angeben: Außenwand, Decken, Innenwand, Wand- und Fußbodenaufbauten sowie Bauteilanschlüsse. In einer Untersuchung der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB e.V. aus dem Jahre 2021 (DGNB, 2021) - wurde der Einfluss der Baukonstruktion und der Bauteile eines Gebäudes auf deren Treibhausgasemissionen untersucht. Dabei zeigt sich, dass zwar Holz-Hybridbauten weniger Emissionen als Massiv- und Stahlbetonskelettbauten aufweisen, der Unterschied jedoch viel geringer als erwartet ist. In der gleichen Studie zeigt sich auch, dass es wenig Unterschied zwischen Stahlbetonmassiv- und Stahlbetonskelettbau gibt. Das bedeutet, dass die Außen- und Innenwände neben den Decken ungeachtet der tragenden Funktion eine zentrale Rolle spielen. Obwohl diese Studie noch relativ unscharf hinsichtlich der Stichprobengröße und der exakten Untersuchung von

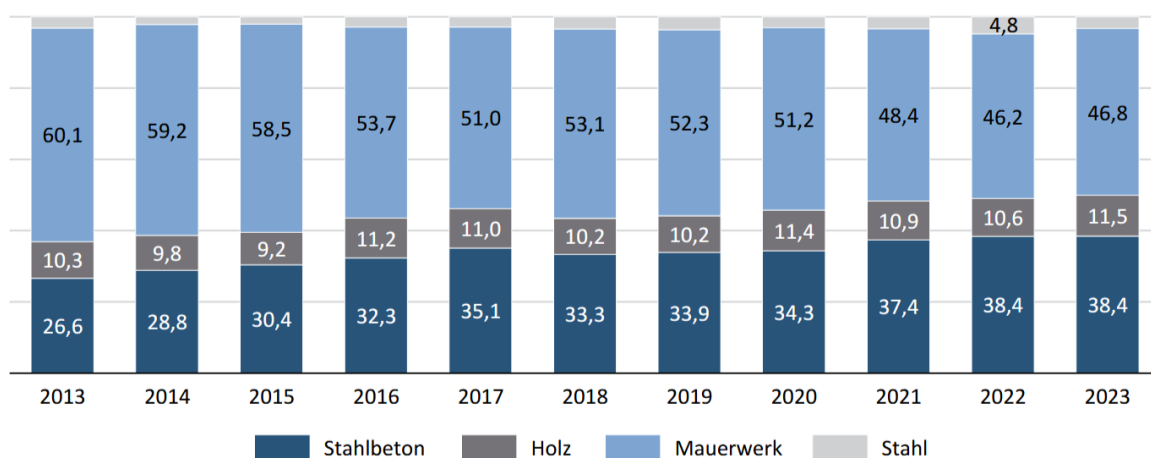
Bauteilaufbauten ist, belegt sie doch die Wichtigkeit, den Fokus der Reduktion von Treibhausgasemissionen nicht nur auf die Gebäudenutzung, sondern auch auf die Herstellung zu lenken, die ca. 35-40 % aller Gebäudeemissionen - u.a. abhängig von der thermischen Qualität der Gebäudehülle und des Heizsystems - ausmacht.

Abbildung 47: Anteil der Bauweise nach Bundesland für die neuerrichteten Gebäude von 2013 bis 2023 – in Prozent (Quelle: Statistik Austria, Sonderauswertung Gebäude- und Wohnungsregister)



Laut Statistik Austria (Statistik Austria, 2025) werden in Wien mehr als 51 % aller neu errichteten Gebäude in Stahlbeton errichtet (Abbildung 47). In weniger urbanen Teilen Österreichs verlagert sich der Anteil mehr zu Mauerwerk mit gebrannten Ziegeln und zum Holzbau, wo Vorarlberg mit einem Anteil von 16 % führend ist.

Abbildung 48: Anteil der Bauweise nach Fertigstellungsjahr für neuerrichtete Gebäude von 2013 bis 2023 – in Prozent (Quelle: Statistik Austria, Sonderauswertung Gebäude- und Wohnungsregister)



Eine Entwicklung der verwendeten Baukonstruktionen österreichweit von 2013 bis 2023 zeigt im Gebäudesektor (inkl. aller Einfamilienhäuser) eine deutliche Steigerung in der Verwendung von Stahlbeton als grundsätzliches Baumaterial von 27 % auf über 38 % (Abbildung 48). Um die

definierten Klimaziele zu erreichen, wäre eine Reduktion erforderlich, die sich im Anteil des Holzbaus manifestieren könnte, der aber seit 2013 von 10,3 % um lediglich 1,2 % auf 11,5 % gestiegen ist.

Basierend auf den Ergebnissen von DGNB e.V sind - unabhängig von der Massivbauweise (Stahlbeton, Ziegel oder Skelettbau), die in Österreich zusammen knapp 90 % ausmacht - die Treibhausgasemission zu hoch und weiter steigend.

Um die definierten Klimaziele der EU zu erreichen, müssten also alle konstruktiven Bauteile hin zu regenerativen Bauelementen transformiert und verändert werden. Da auch Transportwege zu den Emissionen beitragen, sind diese ebenfalls zu reduzieren und der Fokus auf regenerative, lokale Materialien zu lenken.

Ziel ist es, Bauteile zu untersuchen, bzw. wenn nötig neu zu entwickeln, die den jeweiligen, bautechnischen Anforderungen entsprechen.

Dazu stellen sich folgende Fragen:

- Ist dies mit rein regenerativen Materialien möglich?
- Können Bauteilaufbauten mit regenerativen Baustoffen eventuell bautechnische Anforderungen neu bewerten lassen?

Diese Fragen sind im Hinblick auf Tendenzen, das Bauen einfacher zu machen, interessant. In Deutschland gibt es bereits den Gebäudetyp E, der von diesen Ergebnissen profitieren könnte.

Neben schon marktreifen oder noch in Entwicklung befindlichen Systemen müssen zum Teil auch neue Bautechniken entwickelt werden.

Folgende konstruktiven Bauteile eines Gebäudes wurden im Projekt untersucht:

- Innenwand
- Außenwand
- Wand-, Decken- und Fußbodenaufbauten
- Bauteilanschlüsse.

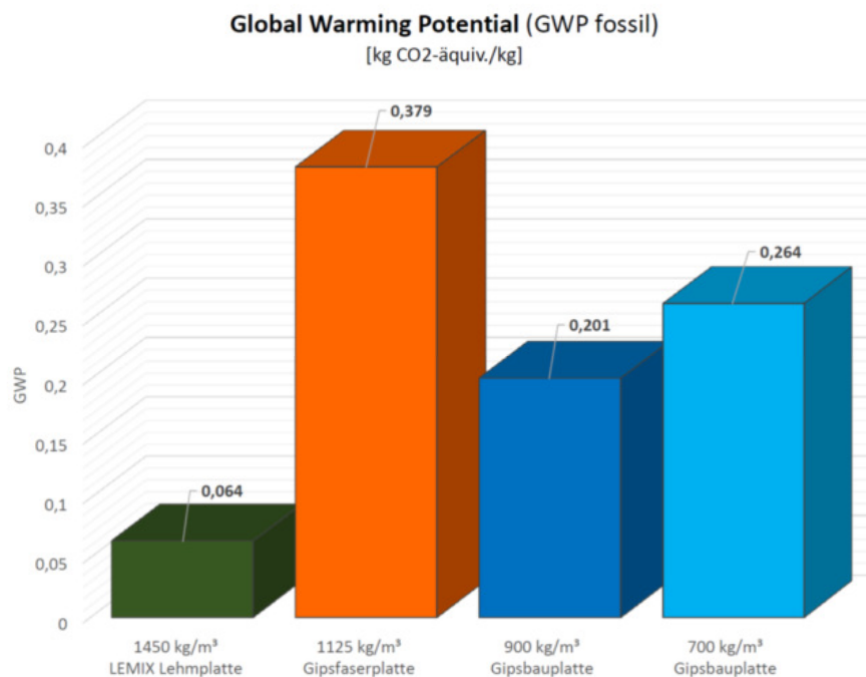
Marktreife Systeme findet man fast ausschließlich bei den Innenwänden. Trenn- und Zwischenwände in Holz-Lehmkonstruktionen stehen für die wesentlichen bautechnischen Anforderungen zur Verfügung. Die Anforderungen betreffen hauptsächlich Schall- und Brandschutz, aber auch Wärmeschutz, welcher jedoch vergleichsweise einfach zu erfüllen ist. Hier kann man bei diversen Hersteller:innen Bauteilaufbauten finden, die geprüft und zertifiziert sind. Als Beispiel sei die erhöhte Schallschutzanforderung an eine Wohnungstrennwand genannt, die mit einer zweischaligen Trockenbauwand bestehend aus Holzständerkonstruktion, innenliegender Holzfaserdämmung und außen angebrachten Lehmplatten erfüllt wird (s. Fa. Hart Keramik AG, AK - Prüfbericht 12123D078-PBOI45-21). Ähnlich wie bei Trockenbauwänden in Gipsbauweise werden von der Industrie Planungsdetails und Prüfzeugnisse angeboten und sind für jede/n Planer:in und Ausführenden wesensgleich mit herkömmlichen Wänden anzuwenden.

Allerdings sind die Kosten für die regenerative Wand deutlich höher. Im Vergleich zu 1 m² Lehmplatte sind derzeit beim Einkauf Gipsfaserplatten um 45 % und Gipskartonplatte um beinahe 60 %

günstiger. Nicht eingepreist sind allerdings die erhöhten Kosten, um Gipsplatten zu recyceln und die erhöhten Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung anfallen. Die Vorteile von Lehmplatten sind bei solarer Trocknung die geringen CO₂-Emissionen bei der Herstellung und die Möglichkeit, das Lehmmaterial vom Glasfasergewebe lösen und den Lehm ohne hohen energetischen Aufwand wieder verwenden zu können. Gipsplatten hingegen können nur mit hohem Transport- und Energieaufwand recycelt werden.

Die CO₂ Bilanz von Lehmplatten ist um ein Vielfaches besser (Abbildung 49). Eine Metallständerwand, doppelt beplankt mit Gipsbauplatten, verursacht in ihrer Herstellung pro m² ca. 17 kg CO₂e. Bei einem Aufbau mit Holzständerkonstruktion, beidseitig beplankt mit Lehmplatten mit 22 mm Dicke, beträgt die CO₂ Bilanz -10 kg CO₂e/m², da die Emissionen aus der Herstellung der Lehmplatten durch das im Holz gebundene CO₂ ausgeglichen werden.

Abbildung 49: Vergleich des Treibhausgaspotentials von Bauplatten (Quelle: Fa. Hart Keramik AG, Nature Plus Zertifizierung von LEMIX Lehmbauplatte durch das IBO-Wien, 2021)



Bei den Außenwänden gibt es einige wenige marktreife Systeme, die hauptsächlich mit Stroh aufgebaut sind. Ein in Österreich angebotenes Element ist zum Beispiel das Lopassystem¹⁶³. Die wenigen, nur eingeschränkt vergleichbaren Systeme, die sich mehr oder weniger für den Geschossbau eignen, werden hier nicht weiter betrachtet, da sie an anderer Stelle bereits umfassend dokumentiert sind. Auch bei den Holzdecken gibt es Holz-Lehmbauteile, die entweder eingegossenen, stabilisierten Lehm verwenden oder als Stampflehmgewölbe zwischen massiven, engmaschigen Holzträgern eingestampft werden. Auch diese Systeme sind gut dokumentiert, werden aber noch nicht großflächig eingesetzt.

¹⁶³ Firma Lopas, <https://www.lopas.at>, Zugriff am 18.2.2026

7.2. Methoden

Ziel dieses Forschungsprojektes war, anhand von noch nicht marktreifen Holz-Lehmverbundbauteilen (im folgenden HLV abgekürzt) zu zeigen, wie mit einem System basierend auf den Baustoffen Holz und Lehm die erforderlichen Bauteile hergestellt werden können. Dazu werden systemische Herstellungsverfahren aufgezeigt, um diese Systeme großflächig für den Geschossbau anbieten zu können. Die beschriebenen Holz-Lehmverbundsysteme (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc, Patentnr.: AT 520492 A1 2019-04-15) sind einerseits patentiert und/oder schon seit einiger Zeit erprobt im prototypischen Einsatz bei kleinvolumigen Gebäuden. Im Fokus stand daher nicht die grundsätzliche Eignungsprüfung dieser Verfahren, sondern die Identifikation geeigneter systemischer Anwendungen und Herstellungsprozesse sowie die Untersuchung ihrer Praxistauglichkeit für den Geschossbau.

Folgende Systeme werden untersucht:

- Außenwandbauteil in Holz-Lehmverbundbauweise (HLV)
- Innenwandbauteil in Holz-Lehmverbundbauweise (HLV)
- Holz-Lehmestrich
- Holz-Lehmschüttungen
- Hanf-Lehmdichtschlämmen

7.2.1. Holz-Lehmverbundtechnik® (HLV-Technik)

Die patentierte Holz-Lehmverbundbauweise® basiert auf einem mechanischen Verbund zwischen Holz und Lehm, der wieder lösbar und kreislauffähig ist. Lehm und Holz können ohne hohen energetischen Aufwand sortenrein getrennt und weiterverwendet werden, wobei Lehm mehrere Nutzungszyklen durchlaufen kann – entweder für den gleichen Anwendungsbereich oder mit Hilfe von Wasser und regenerativen Zuschlägen für andere Funktionen. Lehm kann im ausgehärteten Zustand komplexe Baufunktionen erfüllen und bei Wasserzugabe wieder in einen plastischen Zustand versetzt werden. Lehm kann nicht verrotten, während für Holz die Gefahr besteht, bei unsachgemäßer Anwendung – zum Beispiel zu viel Feuchtigkeit – verrotten zu können. In den Holz-Lehmverbundsystemen liegt das Holz aber im Inneren des Lehms, also im vor Feuchtigkeit geschützten Kern. Dicke Lehmschichten umschließen das Holz und schützen es vor Verrottung. Es ist aus Funden in historischen Gebäuden überliefert, dass Holz ummantelt von Lehm über Jahrhunderte „frisch“ bleibt.

Als Beispiel sei eine Holzblockwand aus dem Mittelalter genannt, die 2013 im Weinviertel entdeckt wurde (Abbildung 50). Obwohl diese tragende Holzwand ohne Abdichtung auf einem erdgebundenen Fundament steht und 600 - 700 Jahre alt ist, wurden keinerlei Schäden entdeckt. Das Holz wirkte nahezu frisch geschlagen. Es war kompakt und fest und würde sich im Falle eines Rückbaus weiterhin für eine erneute Nutzung eignen. Das Holz speichert seit über 600 Jahren den aus der Atmosphäre aufgenommenen Kohlenstoff und wird das auch in den kommenden Jahrzehnten tun.

Abbildung 50: Holzblockwand eines ca. 600 Jahre alten Hauses im Weinviertel (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)



Im Gegensatz zu Stroh, das im feuchten Inneren eines Bauteils unter Umständen verrotten kann, passiert das mit dem kapillar leitfähigen Holz nicht, da die Gleichgewichtsfeuchte von Lehm niedriger als jene von Holz ist und somit dem Holz noch Feuchte entziehen kann, auch wenn dieses seine Gleichgewichtsfeuchte schon erreicht hat. Dieser Vorteil soll bei den Holz-Lehmverbindungen genutzt werden. Lehm schützt das Holz, und so kann CO₂ sehr lange im Holz gespeichert bleiben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dieser Speicherung nicht ausschließlich um Schnittholz handelt, sondern um den gesamten Baum: Beim Einschnitt fallen Äste an, nach dem Zuschnitt entstehen Sägespäne und weitere Holzreste. Ziel ist es daher, auch diese Nebenprodukte sinnvoll in den Holz-Lehm-Verbund zu integrieren.

7.2.2. Außenwandbauteil in Holz-Lehmverbundbauweise®

Das Holz-Lehmverbundelement® als Außenwand besteht aus einer tragenden, aus Schnittholz gefertigten Holzrahmenkonstruktion, sowie einer Rauschalung auf einer oder wahlweise beiden Seiten des Holzrahmens, die – diagonal verlegt – auch horizontal aussteifend auf das Bauteil wirkt (s. Abbildung 51). Für diesen tragenden Holzkern wird ausschließlich sägeraues Schnittholz verwendet, das miteinander lösbar verschraubt wird, damit auch die Verbindungsmittel zumindest noch ein weiteres Mal verwendet werden können. Zwischen den Holzpfosten wird eine Wärmedämmung aus Holzfasern oder Holzspänen eingebracht. Holzspäne entstehen als Abfall beim Sägen von Schnittholz, kommen in großen Mengen vor und werden bislang zu Pellets verarbeitet und thermisch verwertet. Sie speichern CO₂ in Form von Kohlenstoff, das beim Verbrennen freigesetzt wird, während bei weiterer Nutzung als Baumaterial die Speicherung erhalten bleiben kann. Holzfasern werden aus dem Restholz der Holzernte hergestellt, was im Sinne einer temporären CO₂-Speicherung zielführender ist, als sie als Biomasse thermisch zu verwerten.

Innen- und außenseitig werden beim Holz-Lehmverbundelement® Lehmschichten mit der Holzkonstruktion mechanisch verbunden. Die beiden Schichten haben unterschiedliche Zusammensetzungen und Funktionen. Die äußere Schicht wirkt zusätzlich wärmedämmend und wirkt als äußerer winddichter Abschluss sowie als Träger für einen Außenputz oder eine vorgehängte

geschlossene Holzfassade. Die innere Lehmschicht hat ein höheres Raumgewicht und wirkt als innere Speichermasse, Träger für den Lehmputz und beinhaltet, sofern vorgefertigt, schon alle haustechnischen Einbauten (Elektro, Wandheizung etc.). Beide Lehmschichten wirken zusammen, um Brand- und Schallschutzanforderungen an ein Außenwandbauteil erfüllen zu können. In vorangegangenen Forschungsprojekten wurden entsprechende Bauteilprüfungen durchgeführt (NÖ Wohnbauforschung 2017; AWS Creativ Impact – Prototyp 2022; FFG-Ökoscheck 2024). Tabelle 60 zeigt die technischen Daten, die mit Prüfgutachten abgesichert sind (Holzforschung Austria, MA39 Stadt Wien).

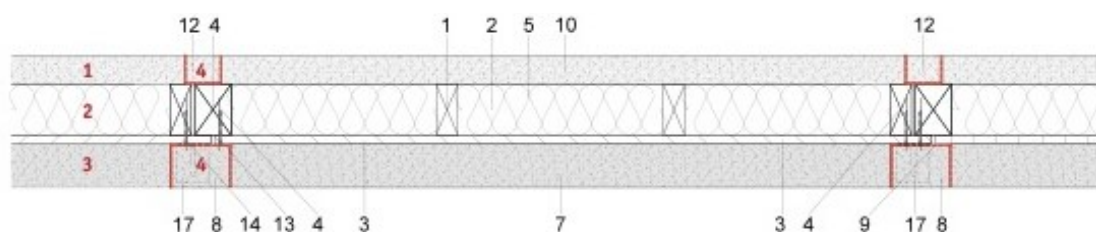
Tabelle 60: Bauphysikalische Kennwerte des Außenwandbauteiles (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc, Kennwerte aus Prüfungen bei Holzforschung Austria, 2022 und MA39 Wien, 2024)

Technische Daten	
Schallschutz Außenwand	RW=59,2 dB $\pm$ 1,2 dB
Luftdichtheit erfüllt	$q_{50}=0,21 \text{ (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h)} < 0,55$
Winddichtheit erfüllt	$q_{50}=0,2w \text{ (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h)} < 0,55$
Brandschutz	EI 120
Wärmeschutz d=42,5 cm	$U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Die verwendeten Materialien sind: Schnittholz, Aushublehm, Holzspäne, Kies, Wasser und Hanfvlies. Es sind keine weiteren Materialien für die Herstellung dieses Bausystems nötig. Der lösbare Verbund untereinander besteht bei Holz mit Holz aus Schrauben und bei Lehm mit der Konstruktion aus Holzleisten, die in patentierter Weise so eingebaut sind, dass die trockenen Lehmschichten fest mit der Holzkonstruktion verbunden sind. Armierungsgitter oder -fasern sind nicht erforderlich.

Die Elementstöße, die die Funktionen Luft- und Winddichtheit erfüllen müssen, werden mit einem Hanfvlies in Lehmschlämme hergestellt. Diese Elementanschlüsse waren Teil einer Dichtheitsprüfung seitens der Holzforschung Austria (2022) und sind in Tabelle 60 abgebildet.

Abbildung 51: Wandaufbau aus Patent Nr. AT 520492 A1 2019-04-15. 1...Lehm Außen; 2...Holzkonstruktion, dazwischen Holzspäne; 3...Lehm Innen; 4...Hanf-Lehmschlämme mit Lehmstein



Das Holz-Lehmverbundelement wird vorgefertigt und trocken auf die Baustelle geliefert. Das Gewicht von Modulen mit einer transportablen Größe von 2,5 m x 3,5 m (B x H) ist auf einen herkömmlichen Zimmermannskran abgestimmt.

2023 wurden die ersten Prototypen für ein Forschungshaus hergestellt. Auf einem überdachten Gelände wurden die entsprechenden Holz-Lehmmischungen überprüft, analysiert bzw. adaptiert und verschiedene Arten der Einbringung ausprobiert (s. Abbildung 52 und Abbildung 53). Grob zusammengefasst wurden die äußere und innere Schicht nacheinander eingebracht, was eine Trocknungszeit von 3 - 4 Wochen dazwischen bedingte.

Abbildung 52: Außenwandbauteil - Verdichtung des Lehms mit Holzplatten (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)



Abbildung 53: Außenwandbauteil - Verdichtung des Lehms barfuß (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)



Die Schichten sind mit verschiedenen Varianten (a-d) eingebracht worden: für die plastischen, nicht zu feuchten Mischungen

- a. mit Estrichschuhen verdichtet und Abziehlatten geebnet,

- b. wie ein Zementestrich eingeschüttet und mit einer Glättkelle geebnet und abgezogen,
- c. flüssiger gemacht und eingegossen,
- d. trockener gemacht und barfuß eingetreten wurden.

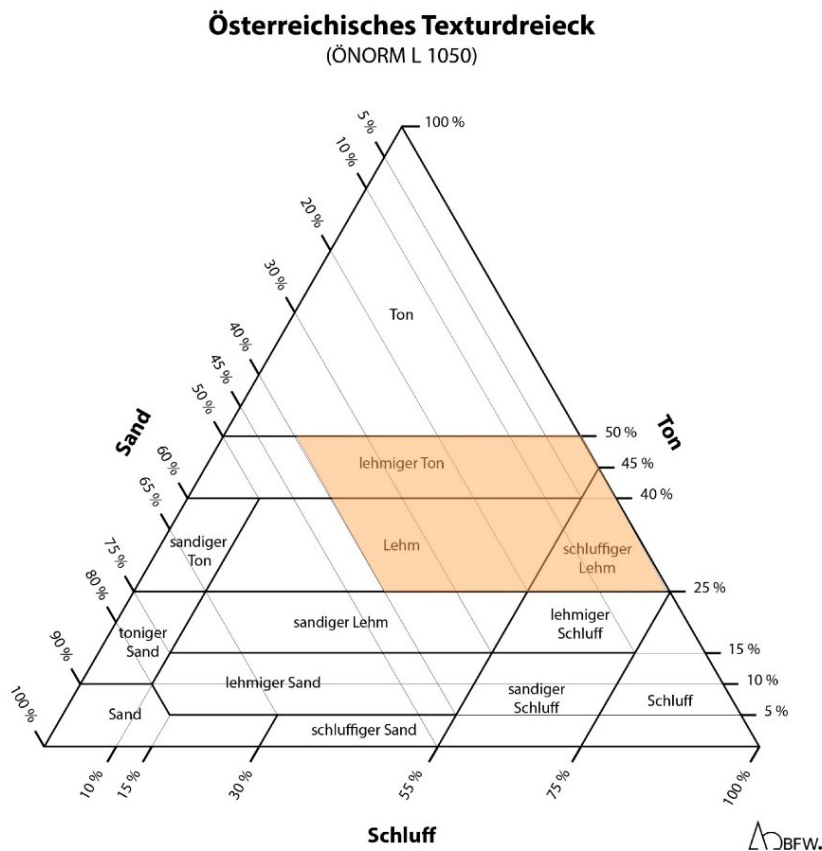
Sowohl die inneren als auch äußeren Lehmschichten konnten mit niederschwelliger, körperlicher Arbeit zufriedenstellend eingebracht werden. Auch das Handling mit Stapler, sowie das Drehen und Wenden der Elemente hat keinerlei Schäden nach sich gezogen. Mit dieser Technik wurden insgesamt 62 Elemente für den Bau eines Forschungshauses hergestellt.

Diese Art der Produktion ist jedoch nicht skalierbar, d.h. die Werkzeuge Fuß und Körper müssen mechanisiert werden, um systemische Konzepte für die Herstellung von Holz-Lehmverbundelementen® zu erzielen. Ziel ist, standardisierte Handlungsweisen und Rezepturen an ausführende Firmen weiterzugeben – speziell an Holzbaufirmen - sodass dort die Elemente fern einer Industrialisierung lokal gefertigt werden können. Um Transportwege zu sparen, wäre es vorteilhaft, lokale Betriebe anzusprechen, die mit den vorhandenen Ressourcen und wenn möglich auch Werkzeugen das Auslangen finden können.

Rezeptur der Lehmischung

Bei der Verwendung von Lehm stand Aushublehm im Zentrum. Ziel war es, Mischungen so niederschwellig ansetzen zu können, um die Varianzen, die im Baulehm gegeben sind, auffangen und ausgleichen zu können. Im ersten Schritt wurden Aushublehme gesammelt, geprüft und verglichen. Es handelt sich um Proben aus dem Weinviertel West und Ost, Aushublehm vom Bau einer Schnellstraße in Niederösterreich, Aushub aus einem Keller in 1160 Wien, Bauaushub aus Wien 1230 und Bauaushub aus dem Burgenland. Mit allen Lehmproben wurden Muster für das Holz-Lehmverbundelement® erstellt und hinsichtlich Kompaktheit, plastischer Verformbarkeit, Bindekraft und Druckfestigkeit geprüft. Wenn man das Texturdreieck für die Korngrößenverteilung heranzieht, bekommt man einen guten Überblick über existierende Lehmvorkommen und kann die Anforderungen dort grafisch festlegen (Abbildung 54). Wenn man die Korngrößenverteilung der erwähnten tauglichen Bodenproben auflistet, ergibt sich ein Toleranzbereich, der für die Verwendung als Holz-Lehmverbundelement tauglich ist.

Abbildung 54: Österreichisches Texturdreieck (Quelle: ÖNORM L 1050)



Lehme mit einem Tonanteil zwischen 25 und 50 %, einem Schluffanteil zwischen 40 und 70 % sowie einem Sandanteil von ca. 35 bis 50 % sind sehr gut geeignet. Es ergeben sich in Abhängigkeit der Verteilung bei den Zuschlagstoffen leicht variierende Anteile. So verschieben sich die Mischungsverhältnisse Lehm zu Holz zu Wasser geringfügig nach einem vorgegebenen Raster, der in der Rezeptur jeweils berücksichtigt werden muss.

Das Ziel, eine große Bandbreite von Lehm nutzen zu können und ein niederschwelliges Angebot für die Nutzung von Lehm zu machen, kann beim Holz-Lehmverbundsystem® realisiert werden. Es zeigen sich dennoch überraschende Abweichungen, wenn die Mischungsverhältnisse nicht eingehalten werden. Mit einer bestimmten frisch zubereiteten Mischung lässt sich zum Beispiel ein gutes Ergebnis erzielen, wenn man die gleiche Mischung jedoch über Nacht stehen lässt und am nächsten Tag verwenden möchte und allenfalls fehlende Flüssigkeit nachgibt, passt die Konsistenz manchmal nicht mehr genau. Deshalb ist es wichtig, neben der Rezeptur auch eine genaue Handlungsanweisung für den Mischprozess mitzugeben, damit keine Qualitätsverluste entstehen können.

Einbringen der Lehmmischung

Das Mischen und Einbringen wurde gemeinsam mit Holzbau Simlinger GmbH realisiert. Auf dem Gelände der Holzbaufirma wurde für das Abmischen der Lehmmasse ein großer traktorbetriebener Zwangsmischer verwendet. Im vorliegenden Untersuchungsfall wurde ein Mischer mit einem Fassungsvermögen von 1500 Liter verwendet, in den mit einem kleinen Bagger die trockene Mischung hineingeschaufelt wurde. Die Mischzeit ist mit maximal 10 Minuten eher kurz, sodass eine große

Menge Lehm pro Stunde hergestellt werden kann. Bei Mischzeiten, die länger als 10 Minuten dauern, verändert die große Hitzeeinwirkung, die durch Reibung entsteht, das Mischverhalten. Holzspäne beginnen sich wieder vom Lehm zu lösen und es bilden sich trockenere Klumpen, die nicht verdichtbar sind.

Tabelle 61: Zeitangaben für die Anfertigung der Lehmmischung (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc, Holzbau Simlinger GmbH)

Time Table Lehmmischung einbringen		
Lehmmischung in den Zwangsmischer laden	2	min
Mischzeit	10	min
Lehmmischung aus dem Zwangsmischer holen	3	min
Lehmmischung in den Holzrahmen schütten	1	min
.....verteilen und eben abziehen	5	min
Mit einer Rüttelplatte verdichten	12	min
Werkzeug wegräumen	5	min
Holz-Lehmverbundelement drehen oder lagern	5	min
Gesamt pro Lehmschicht	43	min

Mit einem größeren Bagger oder Radlader kann eine Mischung in die vorgefertigten Holzrahmen geschüttet werden. Dort wird mit einer Latte der Lehmteig eben gezogen und mit einer Rüttelplatte verdichtet. Dabei ergibt sich folgender Zeitaufwand pro Lehmschicht: Der tatsächliche Arbeitsaufwand beträgt pro Lehmschicht 43 Minuten (siehe Tabelle 61) – Manipulationszeiten mit eingerechnet – kann von einer Stunde Herstellungszeit ausgegangen werden. Weil nach 15 Minuten der Mischer wieder leer ist, können also Mischungsherstellung und -einbringung jeweils parallel laufen. Damit ergibt sich ein Potential von ca. 8 Lehmschichten – ungeachtet, ob äußere oder innere – pro Tag, die sicher noch optimierbar auf ca. 10 Lehmschichten pro Tag sind, gerechnet auf Elemente mit einer Größe von 2,5 x 3,5 m.

Trocknung der Holz-Lehmverbundelemente

Bei der Herstellung der HLV®-Prototypen 2023 wurde die zweite Lehmschicht erst nach Trocknung der ersten eingebracht. Begonnen wurde mit Lehm450 (äußere Schicht), die dann 3-4 Wochen in einem offenen, überdachten Bereich der Firma Holzbau Simlinger trocknen konnte. Holzbaubetriebe verfügen in der Regel über offene, überdachte Bereiche, die günstig für die Trocknung der HLV-Elemente sind. Dazu wurden die HLV-Elemente übereinandergestapelt, sodass eine gute Durchlüftung gegeben war. Die Länge der Trockenzeit hängt prinzipiell von der Jahreszeit ab. Während im Sommer bei optimalen Bedingungen schon nach 14 Tagen weitergearbeitet werden kann, kann sich diese im Herbst auf bis zu 6 Wochen ausdehnen. Im Winter ist eine Lufttrocknung aufgrund von Frostgefahr im Freien nicht möglich. Hier würden sich Trockenkammern für Holztrocknung anbieten, wo man die Elemente gemeinsam bestücken kann. Bei einem früheren Forschungsprojekt (NÖ Wohnbauforschung 2017) konnte nachgewiesen werden, dass mit dem gleichen Trocknungsprotokoll für die technische Trocknung von Holz gearbeitet werden kann. Nach erfolgter und überprüfter Trocknung wurden die HLV-Elemente gedreht, sodass die trockene Lehmschicht450 über Kopf hing. Die Lehmmischung muss also so gut verkrallt sein, dass Erschütterungen und Vibrationen zu keiner Loslösung führen. Im nächsten Schritt wurde die innere Lehmschicht Lehm1200 in mehreren Lagen eingebracht und wieder zum Trocknen gelagert. Für die

Trocknungsphase waren wieder die oben beschriebenen Zeiträume erforderlich. Für eine systemische Produktionsweise ist das zu aufwändig und unwirtschaftlich, denn – neben Trocknungszeiten von insgesamt 6 bis 12 Wochen (im Herbst noch mehr) – müssen auch die Elemente zwei Mal manipuliert werden.

Herstellung der HLV-Lehmschichten

Ziel dieser Studie war also den Fertigungsprozess zu systematisieren, daher sollten die beiden Schichten nicht hinter- sondern nebeneinander, also in einem Zug eingebracht werden. Die Lehmischung Lehm450, die als erstes eingebracht wird, musste so adaptiert werden, dass sie noch im feuchten Zustand über Kopf gedreht werden konnte, ohne sich vom Verbund zu lösen. Die zweite Anforderung war, die Mischung pro Lehmschicht nicht in mehreren verdichtbaren Lagen, sondern in einem Zug einzubringen, also die ganze Schichtdicke von 8 cm verdichten zu können. Dafür musste eine Mischung entwickelt werden, die bei Verdichtung mit einer Rüttelplatte so plastisch ist, dass sie zwischen die Holzleisten dringt und gleichzeitig so trocken und konsistent ist, dass sie allein durch die Verdichtung schon am Verbund hält. Das Abrutschen und Weggleiten von der Holzkonstruktion, das alleine durch das Gewicht zu erwarten ist, soll durch eine Schalung, die wie eine große Palette aufgebaut ist, verhindert werden. So wird es möglich, das HLV-Element sofort zu drehen, das mit einem Bagger, Stapler oder Kran-LKW mittels der Hängeschlaufen, die schon für die spätere Montage im Element integriert sind, ohne Komplikation möglich ist. Dieser Ablauf erfolgte in enger Abstimmung mit dem Holzbaubetrieb, um vorhandene Ressourcen solcher Unternehmen optimal zu nutzen. Das Einbringen der inneren Lehmschicht Lehm1200 muss so erfolgen, dass Vibrationen und Erschütterungen aus Rücksicht auf den über Kopf hängenden Lehm450 minimiert werden. Gleichzeitig besteht auch hier der Anspruch, die gesamte Schichtdicke von 12 cm in einem Zug einzubringen. Beim Prototyp musste das noch mit drei Einbringebeinen, die jeweils einzeln verdichtet wurden, realisiert werden. Das „Verquetschen“ des Lehms in die Holzleisten ist hier noch anspruchsvoller, da diese nicht nur in einer, sondern in zwei überlagerten Ebenen liegen. Weiters sind in der untersten Ebene noch die Wandheizungs- und Elektrorohre eingelegt. Die Haustechnikinstallation muss ebenso wie die gesamte Holzkonstruktion vorgefertigt sein und von Mitarbeiter:innen des Holzbauunternehmens ausgeführt werden. Die Lehmischung Lehm1200 muss also flüssiger und breiiger werden. Ein Eingießen von flüssigem Lehm wurde auch untersucht, würde aber nur mit einem zusätzlichen Fließmittel im Lehm funktionieren, was hier nicht in Frage kommt, da das System auf reinen Lehm, Holz, Kies, Wasser und Hanfvlies beschränkt bleiben muss. Gefragt war also eine Konsistenz, die noch so plastisch ist, dass sie in die Holzleisten gequetscht werden kann, aber noch so „festbreiig“ ist, dass sie verdichtet werden kann. Auf so einer plastischen Mischung kann eine Rüttelplatte aber nicht mehr fahren. Sie würde einsinken und sofort festkleben. Also wurde eine temporäre, feste Platte zwischen Lehm und Rüttelplatte gelegt, auf der die Maschine fahren kann. Über diese Platte muss das „Verquetschen“ des Lehms bis in eine Tiefe von 12 cm funktionieren. Die Platte wird nach Fertigung herausgenommen und kann für das nächste Element verwendet werden.

Somit ergibt sich ein Zeitbedarf von weniger als zwei Stunden für die Herstellung aller Lehmarbeiten des gesamten HLV®-Elementes mit einer Größe von 2,5 m x 3,5 m, also kalkulatorisch ca. 15 Minuten pro m² HLV®-Element.

Herstellung und Montage von HLV-Elementen für ein Mock-Up

Nach den Voruntersuchungen und erfolgreichen Tests mit den Lehmischungen wurde in Kooperation mit dem Holzbaubetrieb Simlinger die systemische Herstellung von 14 HLV®-Elementen

in oben genannter Vorgangsweise für den Bau eines Mock-Ups realisiert. Das Mock-Up dient der Überprüfung verschiedener Parameter:

Herstellung der HLV-Elemente

Wesentlicher Parameter der systemischen Herstellung ist die Anforderung, dass Holzbaufachleute den Lehm in die vorgefertigten HLV®-Holz-Elemente einbringen können, auch wenn sie dafür nicht geschult sind. Voraussetzung ist eine definierte Rezeptur, die gleichbleibende Qualität sichert, ohne dass während des Mischprozesses Nachjustierungen nötig werden. Das Einlegen von vorgefertigten Heizungsrohren und Elektroinstallationen stellte für Fachleute des Holzbauunternehmens kein Problem dar. Das Mischen und Einbringen von Lehm dagegen konnte im Holzbaubetrieb nicht friktionsfrei realisiert werden. Diese Tätigkeiten unterscheiden sich zu stark von jenen der Holzbearbeitung. Auch Rückmeldungen der involvierten Mitarbeiter von Holzbau Simlinger offenbarten eine starke Skepsis gegenüber dem Handling mit nassen, mineralischen Baustoffen. Trotzdem ist der Holzbaubetrieb in der Gesamtabwicklung für das HLV®-System das richtige Unternehmen, da der Anteil der Holzarbeiten sehr hoch ist und die Montage der HLV-Elemente am Holzrahmenbau orientiert ist. Wahrscheinlich ist es für einen Holzbaubetrieb ratsam, die Lehtarbeiten an einen Baubetrieb auszulagern, oder – bei entsprechender Nachfrage – ein eigenes Lehmteam aufzubauen.

Montage der HLV-Elemente

Der Ablauf der Montage von HLV®-Elementen sollte dem von üblichen Holzrahmenkonstruktionen entsprechen. Das betrifft einerseits den Anschluss an die Decken, und andererseits die Befestigung der Elemente untereinander sowie an Ihren Stößen. Weiters sollen übliche Zimmermannskräne ausreichen, um teure, aufwändige Spezialkräne zu vermeiden. Das Gewicht und die Größe der HLV-Elemente sind deshalb auf herkömmliche Transportgrößen abgestimmt. Für die Montage stand ausschließlich holzerfahrenes, aber lehmunerfahrenes Personal zur Verfügung. Das herzustellende Mock-Up, bei dem weitere Parameter zur Geschosstauglichkeit untersucht werden konnten, wurde auf einem Forschungshaus aus HLV-Elementen temporär aufgebaut. Die Montage des Mock-Ups erfolgte im Dezember 2024 seitens des Unternehmens Holzbau Simlinger. Alle 14 Wandelemente wurden mit einem einzigen Sattelschlepper angeliefert. Das Bausystem erfüllt also auch die Anforderung, optimiert mit Transport umzugehen, da die HLV®-Elemente liegend transportiert und dicht gestapelt werden können. Mit einem LKW-Kran der Holzbaufirma wurden die Elemente abgeladen und auf dem Bauplatz verteilt. Vorarbeiten für die Montage waren die Demontage der seitlichen Schalbretter. Hier zeigt sich, dass die Schraubköpfe vor dem Lehmeintrag geschützt werden müssen, da sonst durch deren Verstopfung eine rasche Demontage verzögert wird. Vor dem Versetzen wurde das HLV®-Element in die Vertikale gehoben und die tragende Palette konnte entfernt werden. Sowohl die Schalbretter als auch die Palette wurden verstaut und können wieder verwendet werden.

Für die Kranmontage wurden im Element an den Stehern Hebeschlaufen befestigt, die einen sicheren Montageablauf garantieren. Diese Art der Aufhängung wurde im Vorfeld mit der Firma Holzbau Simlinger optimiert. Die Elemente wurden an einer Schwelle auf der Decke positionsgenau versetzt und an den Elementstößen miteinander verbunden. Es haben sich keine besonderen Anforderungen gegenüber der Montage von Holzrahmenelementen ergeben, ggf. mit Ausnahme eines etwas sorgsameren Umganges beim Heben, da die Kanten der Lehmschichten zwar frei, aber nicht im Stoßbereich sind. Schäden und Abbrüche wurden nach der Montage keine festgestellt.

Demontage der HLV-Elemente

Nach Abschluss aller Messungen für die Geschosstauglichkeit wurde das Gebäude noch bis in den zweiten Winter hinein ohne Fassadenschutz der Witterung ausgesetzt. Es wurde geprüft, welche Schäden an der Außenschicht der HLV®-Elemente auftreten können, wenn diese nicht durch einen Putz oder eine vorgehängte Fassade geschützt sind. Obwohl die Witterungstauglichkeit an die äußere Schicht keine Anforderungen darstellt, sollte eine Bewitterung Aufschluss über die Kompaktheit und eventuelle Schwachstellen geben. Nach einem Jahr mit starken Regen-, Sonnen- und Frosteinflüssen sind kleine Teile der Fassade abgefallen und einige Bereiche haben sich von der Konstruktion gelöst, sind aber erstaunlicherweise noch kompakt zusammenhängend. Abplatzungen waren vorwiegend an jenen HLV®-Elementen zu beobachten, die bei der Herstellung nicht bis in die erforderliche Tiefe verdichtet wurden. Das zeigt, dass bei der Produktion die ordentliche Verzahnung von Lehmschicht und Holzkonstruktion essenziell ist.

Im zweiten Winter wurde das Mock-Up von der Firma Holzbau Simlinger fachmännisch demontiert und abgebaut. Dabei wurden die Elemente einzeln heruntergenommen und danach das HLV®-Element ebenfalls aufgelöst. Es hat sich gezeigt, dass der Lehm mit einem Stemmhammer leicht zu lösen war. Der Lehm, der sich um das Holz „gequetscht“ hatte, war trocken und ließ sich einfach wegheben. Auch die Verzahnung zwischen Holzfasern und Holzspänen war leicht zu lösen. Fasern und Späne, die am Lehm hängen bleiben, sind unproblematisch, weil diese ja auch in der Lehmmischung vorkommen, die dann wieder für den gleichen Anwendungsfall (HLV®-Element) oder für verwandte Bauanwendungen wie z.B. Schüttungen verwendet werden können. So bleibt der Kohlenstoff im Holz gebunden.

Dämmplatten im Inneren konnten aus der Holzkonstruktion gehoben werden und verbliebene Lehmreste waren leicht abzuklopfen. Das bedeutet, dass auch die Wärmedämmstoffe für andere Anwendungszwecke wieder verwendbar sind. Auch eine allfällige Einblasdämmung kann abgesaugt und wieder verwendet werden.

Das Holz der Konstruktion ist verschraubt und daher zur Gänze lösbar. Die Holzkonstruktion besteht aus Schnittholz, Holzwerkstoffe kommen in diesem Aufbau nicht vor. Schrauben, die nur einmal eingedreht wurden, können sortiert und wieder verwendet werden. Es bleibt von diesem System nichts übrig, das als Abfall entsorgt werden müsste. Einzig bei den haustechnischen Installationen können verpresste Verbindungsmuffen nicht wieder benutzt werden. Die vorgebogenen Wandheizungsrohre können aus dem Lehm herausgehoben werden und in einem neuen HLV®-Element oder auch im Fußbodenaufbau wieder verwendet werden. Es gibt im Element keine künstlichen Halterungen, da die frei verlegten Rohre durch die Holzleisten gehalten sind.

Die Elektroinstallationen sind nicht eingemauert, sondern als eigene Module aus Schalbrettern mit integrierten Dosen und Rohren eingebaut. Diese können weggeschraubt und wiederverwendet werden.

Selbstverständlich können die HLV®-Module als Ganzes abgebaut und für ein anderes Haus wieder benutzt werden, da alle Elementstöße verschraubt und daher lösbar sind. Auf die Demontage und Wiederverwendbarkeit der Dichtmaterialien wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Luft- und Winddichtheit der HLV-Elemente

Der Anspruch an heutige Gebäude ist, dass sie luft- und winddicht sein müssen. Das betrifft sowohl die Fläche als auch die Bauteilanschlüsse. Beim HLV®-Element wurde die Luftdichtheit in der Fläche

durch eine zusätzliche Lehmschicht, die wie ein innenliegender versteckter Putz wirkt, erreicht. Das wurde zum ersten Mal 2022 in einem Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Prototyps für das HLV®-System überprüft (Andreas Breuss, AWS Creativ Impact - Prototyp). Dort erfüllte das HLV®-System in einem Luftdichtstand bei einer Messung nach EN 12114 die Anforderungen (Prüfstand Holzforschung Austria, 2022). Das Herstellen einer luftdichten Ebene mit Lehmputz ist sehr aufwändig in der Herstellung, und zeigt zwar, dass das Bausystem ohne die Verwendung synthetischer Baustoffe herstellbar ist, aber praxistauglich scheint diese Art der Abdichtung nicht zu sein, da viele komplizierte Anschlüsse mit dieser Putzfläche verbunden werden müssen. Deshalb wurde beim Mock-Up eine Variante mit einem Dampfbremspapier hinter der inneren Schalung geplant. Wichtig ist, dass die Dampfbremse tief in der Schicht sitzt, damit die Nutzer:innen unkompliziert Bilder, Regale und ähnliches aufhängen können. Das Papier wird in der Bauteilfuge umgeschlagen und muss abgeklebt werden. Das lässt sich aber mit der Hanf-Lehmschlämme nicht realisieren. Diese löst sich auf glattem Untergrund und verliert Ihre Wirkung. Die Dichtschlämme funktioniert nur zwischen Lehm und Lehm, zwischen Bauholz und Lehm, sowie zwischen Bauholz und Bauholz, weil dieses eine sägeraue Oberfläche hat, wo sich die Schlämme verzahnen kann. Das bedeutet, dass der Einsatz EINES synthetischen Baustoffes leider weitere nach sich zieht und das System des regenerativen Bauens verlassen wird. So sind in den Bauteilanschlüssen sehr viele Klebebänder für die Herstellung der luftdichten Ebene verbraucht worden, und somit ist der Anspruch, 100 % regenerativ und kreislauffähig zu bauen, nicht erfüllt.

Die Frage, die sich im Zuge dieses Forschungsprojektes stellte, war, inwiefern die Fläche, die durch dicke Lehmschichten innen geschützt, aber laut genormten Messungen nicht ausreichend dicht ist, negativ auf die gesamte Feuchtebilanz wirkt. Denn luftdichte Schichten erfüllen im Wesentlichen zwei Aufgaben: Sie verhindern erstens, dass Wärmeverluste entstehen und zweitens das Eindringen von warmer Luft in die Dämmebene, um Kondensatbildung zu verhindern. Bei herkömmlichen, synthetischen Gebäuden ist das wesentlich, da die Feuchtigkeit nicht oder nicht rasch genug aus dem Bauteil entweichen kann. Feuchte und Schimmelprobleme, sowie Schäden in innenliegenden Holzkonstruktionen sind die Folgen. Beim HLV®-System ist das anders. Es handelt sich um ein offenes, und vor allem kapillar leitfähiges System und die sehr dicken Lehmschichten haben ein großes Potential, Feuchte schon im Bauteilinneren aufzunehmen – d.h. Kondensat, wenn es entsteht, wird aufgenommen und an die jeweilige Wandaußenseite weitertransportiert. Man kann sich das vielleicht am besten mit einem Badezimmerspiegel vorstellen: In einem Bad mit Gipskartonplatten und Fliesen ist der Spiegel hartnäckig beschlagen, auch wenn man ihn wischt beschlägt er gleich wieder, während in einem Badezimmer mit Lehmputz der Spiegel nicht beschlagen ist. Bevor sich das Kondensat auf dem Glas niederlassen kann, wird es von Lehm schon absorbiert.

Viel wesentlicher als die Flächen sind die Fugen in den Elementstößen, weil dort bei Undichtigkeit der Verlust zu hoch wäre. Entscheidend ist also nicht unbedingt der q50 Wert einer Fläche, der zudem keiner eindeutigen Norm unterliegt, sondern, dass das Gebäude als Ganzes einen q50 Wert von $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ nicht überschreitet.

Der Bauteilanschluss wird mit der schon erwähnten Hanfvlies-Lehmschlämme ausgeführt. Sie wird in die Fuge zwischen den beiden Elementen nass eingebracht und mit den Lehmschichten verbunden. Die Dichtigkeit dieser Art der Fugenausbildung wurde in der oben genannten Luftdichtheitsprüfung 2022 bezogen auf ein Außenbauteil (Andreas Breuss, AWS Creativ Impact - Prototyp) bei der Holzforschung Austria bestätigt. Wenn man nun die HLV®-Elemente wieder auseinanderbaut, kann man das trockene Hanf-Lehmvlies wieder lösen und abziehen, ohne dass es beschädigt werden.

Diese Vliese werden gesammelt und trocken gelagert. Für den neuerlichen Einsatz werden sie wieder in Schlämme getaucht und neuerlich als Dichtband eingesetzt. Es stellt das weltweit erste wiederverwendbare, kreislauffähige Dichtband dar. Weiter oben wurde vermerkt, dass das HLV®-System zu 100 % kreislauffähig ist. Hier liegt der Nachweis, dass das auch auf die Bauteilanschlüsse zutrifft.

7.2.3. Innenwandbauteil

Das HLV®-System als Innenwandbauteil (s. Abbildung 55) lässt sich am besten als Gebäude- oder Wohnungstrennwand realisieren. Gebäudetrennwände, die zwei aneinander stehende Häuser trennen, haben hohe Ansprüche an Schall- und Brandschutz. Die Ausführung ist entkoppelt, sodass jeder Wandbauteil für sich stehen kann und die Übertragung von Schall und Brand vermindert wird. Für diese komplexen Anforderungen eignet sich das regenerative HLV®-Bausystem sehr gut. Bei den Bauteiluntersuchungen wurde ein Brandschutz bis 120 Minuten gesichert geprüft (Quelle: Brandschutztest MA39, Wien, gefördert mit einem Ökoscheck von FFG) und ein bewertetes Schalldämmmaß von $R_w=59 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$ gemessen (Quelle: Holzforschung Austria, gefördert von AWS Creativ Impact - Prototyp). Der Aufbau eines Innenbauteiles in HLV-Technik ist eine Holzkonstruktion mit dazwischen liegender Holzfaserdämmung und einer inneren 12 cm starken Lehmschicht (Lehm1200). Gespiegelt dazu in einem Abstand von $> 1 \text{ cm}$ ist der Teil für das benachbarte Gebäude. Entkoppelt werden die Holzkonstruktionen in der Fuge mit einem 1 cm starken Hanfvlies. Für herkömmliche Trenn- und Zwischenwände eignet sich das HLV®-System nicht, da die Wände durch ihr Gewicht statisch in der Gebäudekonstruktion schon berücksichtigt und positioniert werden müssten. Der Vorteil einer inneren Wand liegt aber in Ihrer Flexibilität. Da eignen sich die im Kapitel 7.1 beschriebenen, schon marktreifen Holz-Lehmkonstruktionen besser.

Abbildung 55: seitliche Ansicht eines Innenwandbauteils (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)



7.2.4. Holz-Lehmestrich

Der Begriff Lehmestrich wird auf vielfältige, aber sehr unterschiedliche Weise verwendet. In den meisten Fällen bezeichnet er Schüttungen aus Lehm, die trocken oder feucht zwischen Lagerhölzer eingeschüttet werden. Diese Lehmschüttungen, die zum Teil auch verdichtet werden, können laut deren Herstellern auch Fußbodenheizungen aufnehmen und als Wärmeleiter fungieren.

Der Begriff Estrich kommt aus dem Geschossbau, wo er als flächige Masse für den Trittschallschutz wesentlich ist. Um die Anforderungen an den Trittschallschutz zu erfüllen, benötigt es zusätzlich zur Masse der Rohdecke eine dazwischenliegende „Federung“ (Trittschalldämmplatten) zur – von der Wand entkoppelten – flächigen Estrichmasse, die auf die Feder drückt und wieder nachgibt. In der Estrichmasse wird der Schall aufgenommen und durch die Trittschalldämmplatten nur bedingt oder gar nicht weitergeleitet. Meist ist aber für einen ausreichenden Schutz noch zusätzliches Gewicht in Form von gebundenen schwereren Ausgleichsschüttungen nötig. Der gängige Fußbodenaufbau besteht aus einem zementgebundenen Polystyrolbeton, einer Trittschalldämmung aus z. B. Mineralwolle, einer PE Folie, einem Zementestrich und einem aufgeklebten Fußbodenbelag. Bei diesem Aufbau, der sehr viel Zementanteil enthält, ist nur die Trittschalldämmebene wieder verwendbar. Der Zementestrich mit dem darauf verklebten Bodenbelag ist als Abfall zu entsorgen und kann aufgrund des Materialverbundes in der Regel nicht getrennt verwertet werden. Denn im Gegensatz zu Stahlbeton, der – wenn auch sehr aufwändig – downgecycelt werden kann, funktioniert das im Klebeverbund mit dem Fußboden nicht.

Der hier beschriebene und untersuchte Holz-Lehmestrich (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc) soll ein Ersatz für den herkömmlichen trittschallrelevanten Zementestrich sein, und der These folgend mit den Materialien Holz, Lehm und Hanf die Trittschallanforderungen erfüllen, und als Ganzes wiederverwendbar und kreislauffähig sein. Dafür benötigt es – wie beim herkömmlichen Estrich – eine kompakte, feste Masse, die die Energie des Gehenden aufnehmen kann. Im Wesentlichen ist der Aufbau eine Polsterholzkonstruktion, bei der in den Zwischenräumen Lehm bündig verdichtet wird. In dieser Schicht liegen die Heizungsrohre, die Wärme an die kompakte Lehmmasse abgeben. Der Holzfußboden muss aus massiven Dielen bestehen, da diese auf die Polsterholzkonstruktion verschraubt werden. Zwei- oder mehrschichtige Holzböden eignen sich nicht, da der Lehm die Feuchtigkeit durch den diffusionsoffenen Boden abgeben können muss. Diese Konstruktion wurde seitens des Verfassers schon 2014 das erste Mal in einem Geschossbau in Wien erprobt. Dort wurde bei einer in-situ-Messung die Trittschalltauglichkeit mit einem gemessenen Wert von $L'_{nT,w} = 33 \text{ dB}$ weit unter den geforderten $L'_{nT,w}$ von 48 dB nachgewiesen (Messung: IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, Wien).

Die vorliegende Untersuchung beschreibt die systemische Herstellung und Anwendung des beschriebenen Lehmestrichs. Wesentlichster Parameter ist dabei die Lehmmischung, die folgende Anforderungen erfüllen muss:

- Schwindrisse und Schrumpfungen müssen verhindert werden, da überall dort, wo Lufteinschlüsse im Boden vorkommen, die Übertragung der Wärme an den Fußboden vermindert wird. Zudem bedeutet Luft in Hohlräumen innerhalb von Bauteilen Gefahr von Kondensatbildung.
- Ausreichend Druckfestigkeit muss gegeben sein, um bei Geh- und Punktbelastung Brüche in der Lehmmasse zu vermeiden.

Um dies zu gewährleisten, muss die Mischung einerseits eher trocken eingebracht werden, und andererseits sehr gut verdichtbar sein, damit die nötige Druckfestigkeit und Masse erreicht werden. Das Raumgewicht eines verdichteten Lehmestrichs sollte mindestens 1900 kg/m^3 sein. Nach mehreren Versuchen mit der Erstellung von $50 \times 50 \text{ cm}$ großen Mustern hat sich ein Aufbau ergeben, der mit einer eher trockenen Mischung aus Lehm und Sand (0-8mm) in zwei Lagen eingebracht wird. Die Stärke des Lehmestrichs sollte 6 cm nicht unterschreiten. Es ergibt sich mit den sägerauen

Lagerhölzern eine optimale Verzahnung, die nach Trocknung nicht aufreißt. Zur Verdichtung ist auch in bestehenden mehrgeschoßigen Gebäuden eine leichte, elektrische Rüttelplatte geeignet.

7.2.5. Holz-Lehmschüttungen

Bei Lehmschüttungen sind vor allem Lehmgranulat- und Hanf-Lehmschüttungen bekannt und am Markt schon erhältlich. Schüttungen haben im Wesentlichen zwei Aufgaben zu erfüllen: zum einen notwendiges Gewicht in den Deckenaufbau zu bekommen und zum anderen dämpfend als Trittschalldämmung zu wirken. Die erste Anforderung wird mit einer schweren und die zweite mit einer leichten, federnden Masse zu realisieren sein. Bei Hanf-Lehmschüttungen ist die Wirkungsweise bekannt. Dazu wird relativ trockener Lehm mit Hanfschäben vermischt. Diese Hanfschäben wirken in der Lehmmasse dämpfend. Das Raumgewicht der Hanflehmschüttung bewegt sich zwischen 200 und 300 kg/m³, während die Holz-Lehmschüttung ein Raumgewicht von 600 - 800 kg/m³ aufweist. Auch hier wirken die Sägespäne, die vom Lehm ummantelt sind, dämpfend. Im Vergleich scheint die Trittschallverbesserung mit der Holz-Lehmmischung besser zu sein. Es handelt sich allerdings um eine einmalige Messung, die im Laborversuch überprüft werden müsste.

Tabelle 62: Vergleich der Trittschallwerte einer Hanf-Lehm- sowie einer Holz-Lehmschüttung (Quelle: HANFFASER Uckermark eG, Schallschüttung LS200*; Trittschallmessung Mock-Up** IBO, 2025)

ΔLw Estrichmasse > 60 kg/m²	ΔLw Hanf-Lehm* dB	ΔLw Holz-Lehm** dB
Beschüttungshöhe 4 cm	20	25
Beschüttungshöhe 6 cm	23	28
Beschüttungshöhe 8 cm	25	31

7.2.6. Hanf-Lehmdichtschlämme

Ergänzend zu der in 7.2.2. beschriebenen Hanfvlies-Lehmschlammtechnik gibt es am Markt derzeit noch verschiedene Alternativen. Angeboten werden Leinenvliese, die in einen „Lehmkleister“, bestehend aus Ton und Roggenleim, getränkt und dann feucht angedrückt werden. Es wird seitens der Hersteller (Fa. Hanffaser Uckermark) ein Luftvolumenstrom $V = 1,35 - 1,90 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ angegeben. Das ist ein Wert, der den bauphysikalischen Anforderungen nicht entsprechen würde. Der zweite Nachteil dieser Technik ist, dass sie eine schnelle Trocknungszeit benötigt, da ansonsten der Lehmkleister (Roggenleim) unangenehme Gerüche abgibt.

Auch bei Hanf- und Flachsvliesen gibt es Anbieter die „Kleber“ in Form von Pflanzenstärken dazu mischen. Es ist nicht genau untersucht, inwiefern diese Lehmkleister die Feuchtesorption und kapillare Leitfähigkeit beeinträchtigen können.

Das hier in der vorliegenden Untersuchung verwendete Material ist ein 3 mm starkes Hanfvlies aus Hanffasern, die „ohne jegliche Zusätze ausschließlich mechanisch verfestigt“ sind¹⁶⁴. Das Hanfvlies wird in eine Lehmschlämme, die aus Aushublehm hergestellt wird, getränkt. In geringfügigen Mengen wird zur Abmagerung feinkörniger Sand < 1 mm hinzugefügt und vermischt. Auch hier hat sich bei mehreren Prototypen und Versuchen gezeigt, dass die Zusammensetzung des Lehms einen großen Toleranzbereich haben kann. Das bedeutet, dass die Qualität des Lehms wie oben im Texturdreieck für die Korngrößenverteilung dargestellt (Abbildung 54), auch hier ausreichend ist. Wichtig ist aber in jedem Fall ein Tonanteil von > 25 %. Die Verwendung von mageren Lehmen, wäre mit einer manuellen Beimischung von tonigem Lehm möglich. Ein Tonanteil von über 50 % führt dagegen zu Spannungsrissen und würde die Dichtheit negativ beeinflussen.

Tabelle 63: Differenzdruck der Dichtheit in der Fläche und inkl. Fugen bei unterschiedlichem Druck (Quelle: Prüfung Holzforschung Austria, gefördert von AWS Creativ Impact. Prototyp, 2022)

Δp [Pa]	Fläche mit Hanf-Lehmvlies, $m^3/(m^2h)$	Fläche mit Lehmputz $m^3/(m^2h)$	Fläche mit Lehmputz und mit Hanf-Lehmvlies $m^3/(m^2h)$
40	8,16	0,63	0,18
52	10,33	0,82	0,23
68	13,16	0,96	0,27
89	16,74	1,57	0,36
153	27,03	1,99	0,55
200	34,10	2,46	0,68

Bei der Prüfung (Andreas Breuss, AWS Creativ Impact - Prototyp) der Luftdichtheit für das HLV®-Element 2022 wurde auch die Hanf-Lehmschlämme untersucht. Dabei führte ein Versuchsaufbau der luftdichten Ebene mit einem flächigen, durchgehenden Hanf-Lehmvlies, auf dem die Lehmschicht Lehm1200 aufgebracht war zu keinem positiven Ergebnis. Es zeigte sich mit der Hanf-Lehmschlämme in der Fläche ein 13-fach höherer Durchlass als mit der Variante Lehmputz in der Fläche, die im Normbereich lag. Der Aufbau mit Lehmputz in der Fläche und Hanf-Lehmschlämme an den Fugen bzw. Bauteilstößen wiederum zeigte ein positives Ergebnis (siehe Tabelle 63).

7.3. Ergebnisse

Die systemische Herstellung und Produktion von regenerativen Bauteilen, die geeignet für den mehrgeschossigen Bau sind, konnte mit den untersuchten Komponenten Außenwand, Innenwand, Wand- und Deckenaufbauten sowie Bauteilanschlüsse nachgewiesen und entwickelt werden. Dafür

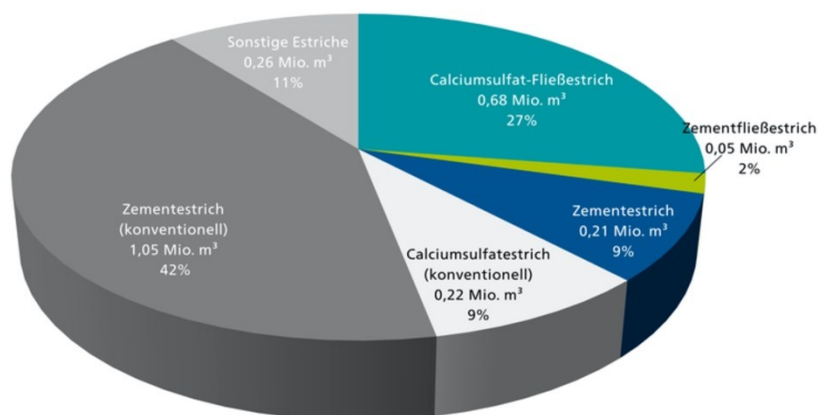
¹⁶⁴ Angaben des Herstellers <https://www.hanftopia.at/p/hanf-akustikvlies-3-5-10-rolle-1-m-25-25-15-lfm>

wurden Methoden zur Überprüfung durch den Bau von 1:1 Mock-Ups und durch bautechnische Messungen herangezogen. Das Resultat sind systemische Herstellungsverfahren, die von ausführenden Betrieben – speziell Holzbaubetrieben – durchgeführt werden können, und bei denen sich durch Nutzung von lokalen Ressourcen wie Holz und Lehm die Transportwege deutlich verkürzen lassen. Weiters ist für die Herstellung ein sehr geringer Maschineneinsatz – ohne teure Großmaschinen oder robotische Anlagen – ausreichend.

Weiters sind alle entwickelten und untersuchten Bauelemente kreislauffähig in dem Sinne, dass die Stoffe komplett trennbar, sowie unmittelbar wieder verwendbar sind und keine Rückstände bzw. Abfälle anfallen.

Bis zu drei Vollgeschoßen ist die Umsetzung einer Außenwand mit dem patentierten Holz-Lehmverbundbauteil® als tragende Konstruktion nachgewiesen. Alle statischen und bauphysikalischen Anforderungen können mit dem oben beschriebenen System erfüllt werden. Ab drei Vollgeschoßen empfiehlt es sich, das HLV®-Element als Ausfachung zu verwenden. Als Grundkonstruktion kann eine Stahlbeton- oder Holzskelettstruktur dienen, die die tragende Funktion übernimmt. Dem HLV®-Bauteil obliegen dann die bauphysikalischen Anforderungen an Wärme-, Brand- und Schallschutz. Hier gibt es keine Grenzen bezüglich der Geschossanzahl.

Abbildung 56: Volumen der in Österreich im Jahr 2025 eingesetzten Estricharten (Quelle: Estrichmörtel-Marktstatistik für 2025, Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel (VDPM) gemeinsam mit B+L Marktdaten)



Unabhängig von der Geschosshöhe und der Bauweise der tragenden Konstruktion, lassen sich aber bei herkömmlich errichteten Gebäuden (Stahlbeton, Holzbau, Ziegelmauerwerk) die in diesem Bericht beschriebenen Ausbauten mit Holz-Lehmtechniken realisieren. Als Beispiel sei der trittschalltaugliche Lehmostrich genannt. Wie in Abbildung 56 ersichtlich, werden in Österreich pro Jahr 1,26 Millionen m³ Zement- und 0,9 Millionen m³ Calciumsulfatestrich verbaut. Dabei entstehen enorme Mengen an Treibhausgasemissionen. Der IBO-Richtwert¹⁶⁵ für das GWP_{Total} für Zementestrich beträgt 0,151 kg CO₂e/kg, für Calciumsulfatestrich 0,104 kg CO₂e/kg.

¹⁶⁵ www.baubook.at Zugriff am 11.3.2026

Das ergibt pro Jahr allein für die Estrichherstellung eine Belastung von über 567 Millionen kg CO₂e. Wenn man zu einem großen Teil diesen synthetischen Estrich gegen einen Lehmestrich tauschen würde, könnte man enorme Mengen an Treibhausgasemissionen einsparen.

Der folgenden Berechnung liegt die Annahme zugrunde, dass nur ca. 80 % aller Zement- oder Calciumsulfatestriche ersetzt werden können, denn es gibt Anforderungen, die mit einem Lehmestrich nicht erfüllbar sind: Verlegung von Fliesen, mineralische Beschichtungen oder Industrieböden und anderes. Die GWP-Werte in der Tabelle 64 sind dem baubook entnommen, wobei Konstruktionsvollholz (Rohdichte 475 kg/m³, GWP-Total -1,44 Kg CO₂e/kg) und Massivlehm (Rohdichte 2.000 kg/m³, GWP-Total 0,0209 kg CO₂e/kg) herangezogen wurden. Das Einsparungspotential ist sehr hoch und bewegt sich je nach Lesart im dreistelligen Millionenbereich.

Tabelle 64: Vergleich GWP und Verbrauch unterschiedlicher Estricharten (Berechnung: A. Breuss)

Estrichart	Rohdichte kg/m ³	GWP Total* kg CO ₂ e/kg	GWP Total kg CO ₂ e/m ³	Verbrauch** pro Jahr in kg	GWP Total kg CO ₂ e/m ³
Zementestrich	2000	0,151	302	1.260.000	380.520.000
Calciumsulfatestrich	2000	0,104	208	900.000	187.200.000
SUMME				2.160.000	567.720.000
Holz-Lehmestrich 80 %	1900	-1,419	-105	1.728.000	-181.495.296
Synthetischer Estrich 20 %	2000	0,127	254	432.000	109.728.000
SUMME				2.160.000	-71.767.296

Allein die Berechnung dieses einen Bauteils, zeigt welches Potential in der Errichtung von Gebäuden mit Holz-Lehmverbundtechniken liegt. Auf alle anderen in diesem Bericht beschriebenen Bauteile (Außenwand, Innenwand, Boden- und Deckenaufbauten, sowie Bauteilanschlüsse) ist diese Tendenz übertragbar. In die Berechnung fließt aber der zusätzliche Effekt der Kreislauffähigkeit all dieser Bauteile noch gar nicht hinein, denn diese sind nicht nur einmal, sondern theoretisch unendlich oft wiedereinsatzbar. Dabei sind die ökologischen Eigenschaften des regenerativen Holz-Lehmverbundsystems nicht mit Einschränkungen in der bautechnischen Qualität verbunden. Zum Teil wird sogar eine bessere Performance als mit Aufbauten aus konventionellen Materialien erreicht, wie zum Beispiel bei der Trittschallqualität des Lehmestrichs dargestellt wurde.

Der letzte Aspekt betrifft die Wohnqualität, weil mit diesem Bausystem chemie- und emissionsfreie Räume zum Wohnen und Arbeiten angeboten werden können, die zudem mit den großen Schichtmassen an Lehm das Raumklima positiv regulieren können, und gesundes Leben in diesen Räumen anbieten kann.

7.3.1. Außenwand

Das Patent der Holz-Lehmverbund-Außenwand® ist dadurch gekennzeichnet, dass das Bauelement ohne synthetische Baustoffe verwenden zu müssen, alle statischen und bauphysikalischen Funktionen erfüllen kann (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc, Patentnr.: AT 520492 A1 2019-04-15). Die Prototypen, die nicht Gegenstand dieses Forschungsprojektes sind und 2023 ohne maschinelle Unterstützung manuell hergestellt wurden, entsprechen diesem Anspruch. Aufbauend auf den damaligen Erkenntnissen und Ergebnissen sollte die Transformation in eine systemische Herstellung untersucht werden. Dazu musste die Einbringmethode – und damit verbunden auch die Lehmischung – völlig neu überdacht und maschinengerecht entwickelt werden. Dazu sollten aber handelsübliche Kleingeräte oder in einem Betrieb ohnehin verwendete Baumaschinen ausreichend sein.

Ein wesentlicher Aspekt systemischer Herstellung ist ihre Wirtschaftlichkeit, also Kosten, die im Vergleich zu anderen Bausystemen konkurrenzfähig sind. So ist eine Minimierung der Produktions-, Lager- und Trocknungszeit anzustreben. Die Herstellung in zwei Phasen ist nicht wirtschaftlich. Es wurden im Zuge dieses Forschungsprojektes Einbringtechniken entwickelt, die das Herstellen des HLV®-Elementes – mit je einer Lehmschicht innen und außen – in einem Zug erlauben. Die entwickelte Methode ist wirtschaftlich (ca. 15 min/m² Element) und maschinell niederschwellig, da sie neben kleinen Baumaschinen wie Bagger, Stapler und Zwangsmischer nur eine Rüttelplatte zum Einbringen und Verdichten benötigt. Bei der Herstellung der Mock-Up Elemente kam ausschließlich lehmunerfahrenes Personal zum Einsatz.

Durch eine vorgegebene Rezeptur der Lehmischung, die einerseits fertig geliefert oder wenn vorhanden vor Ort mit Baulehm hergestellt werden kann, sowie einem vorgegebenen Ablauf der Einbringung und Sicherung der Mischungen kann im Prinzip jeder Holzbau- oder Baubetrieb die Mischungen in die vorgefertigten Holzrahmenelemente einbauen. Die vorgefertigten, gebogenen Wandheizungsrohre liegen im Inneren der HLV®-Elemente und müssen vom ausführenden Betrieb nur eingelegt werden, ohne dass es hier einer besonderen Fachausbildung bedarf, was gleichermaßen für die vorgefertigten Elektromodule und -rohre gilt. Nach dem Einbau müssen diese Verrohrungen von einem Fachbetrieb nur noch zusammengeschlossen werden.

7.3.2. Luftdichtheit

Die Herstellung der luftdichten Ebene mit dem innenliegenden Lehmputz funktioniert zwar technisch, entspricht aber nicht den Erwartungen an eine wirtschaftliche Produktionsweise, da mehrere Arbeitsschritte zusätzlich benötigt werden, wie das Befestigen einer Schilfstukkatur, das Aufbringen des Lehmputzes im liegenden Zustand, die Wartezeit, bis der Putz angezogen ist und schlussendlich das aufwändige Verreiben der Putzoberfläche. Unklar ist auch, wie sich der Putz verhält, wenn schwere und große Lehm Massen mit einem Bagger eingeschüttet werden. Das Risiko, dass es zu Beschädigungen kommt, die später nicht mehr kontrollierbar sind, ist groß. Diese Variante muss also verworfen werden. Beim Erstellen der Mock-Up Elemente wurde daher auf eine im Holzbau gebräuchliche Art der Luftdichtheit zurückgegriffen – nämlich die Verwendung einer Dampfbremse (Fa. Isocell Airstop Öko Natur Dampfbremse), deren Montage eine kalkulierbare Arbeitsleistung für einen Holzbaubetrieb darstellt.

Schwer wiegt aber das Hinzuziehen eines synthetischen Baustoffes für die Herstellung des HLV®-Elementes, das den Anforderungen an dieses System widerspricht. Die Konsequenzen sind leider noch deutlicher als erwartet, weil alle Bauteilanschlüsse zwischen Papier und Holz oder Lehm mit der Hanf-Lehmschlämme nicht herstellbar sind. Die Oberfläche des Papiers ist zu glatt und das Hanfvlies löst sich, wodurch keine Dichtheit mehr gegeben ist. Der Anschluss zwischen Papier und Holz muss deshalb mit einem Klebeband hergestellt werden – also einem weiteren synthetischen Baumaterial. Ebenso braucht es für den Anschluss Papier zu Lehm ein spezielles Klebeband mit einem verputzbaren Gitter an der lehmzugewandten Seite.

Abbildung 57: Bauteilanschluss HLV und Dampfbremse synthetisch (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)



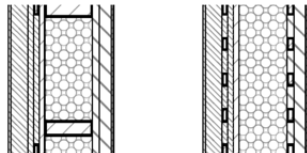
Der Flaschenhals zur systemischen Herstellung eines regenerativen Bauelementes ohne Anteil von konventionellen Baumaterialien liegt also in der luftdichten Ebene, da eine wirtschaftliche Produktion mit dem innenliegenden Lehmputz nicht möglich ist. Damit stellt sich die prinzipielle Frage, ob die Luftdichtheit in der geforderten Norm überhaupt relevant für das HLV®-System ist. Die strengen Empfehlungen und Anforderungen zielen ja auf synthetische Baustoffe ab, die in der Regel weder hygroskopisch noch kapillar leitfähig sind. Das bedeutet, ein angefallenes Kondensat im Inneren des Bauteiles kann nicht entweichen und verursacht in der Folge Schäden. Das HLV®-System kann dagegen solche Kondensatspitzen risikolos verarbeiten.

In einer feuchtetechnischen Beurteilung unter Berücksichtigung eines Strömungspfades im Bauteil (Quelle: IBO, Wien 2025) konnte gezeigt und nachgewiesen werden, dass unter Berücksichtigung eines Konvektionsstroms von $2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s Pa}$ die zulässigen Grenzwerte hinsichtlich Dampfdiffusion eingehalten werden. Dies gilt sowohl für den Fall ohne als auch mit Anfangsfeuchte, bei denen die Anforderungen zur Vermeidung schadensverursachender Kondensation im Inneren von Bauteilen eingehalten werden. Die Feuchteanreicherung liegt unter dem Normgrenzwert $g_c < 0,50 \text{ kg/m}^2$.

„Andererseits betrachtet dieser Nachweis neben der Taupunktberechnung und einer gewissen Konvektionsströmung zwar das Abtrocknungsvermögen – jedoch nicht die Effekte durch die spezifischen Absorptions- und Kapillaritätseigenschaften des Materials Lehm. Es ist daher davon

auszugehen, dass in der Realität geringere Kondensatmengen anfallen, bzw. diese besser verteilt und schneller abtrocknen können und Holzbestandteile weniger feuchtebelastet sind.“ (Quelle: IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie: Feuchtetechnische Beurteilung unter Berücksichtigung eines Strömungspfad im Bauteil nach ÖNORM B 8110-2: 2020, Wien 2025). Da die HLV®-Elemente schon ohne die beschriebenen, positiven Eigenschaften Grenzwerte zur Dampfdiffusion einhalten, kann davon ausgegangen werden, dass eine zusätzliche Ebene als Dampfbremse hier nicht notwendig ist und diese entfallen kann. Der Entfall der synthetischen Dampfbremse verhilft dem Bauteil, in seiner Zusammensetzung regenerativ und kreislauffähig zu bleiben.

Abbildung 58: Feuchtetechnische Beurteilung unter Berücksichtigung eines Strömungspfad im Bauteil nach ÖNORM B 8110-2:2020 (Quelle: IBO, 2025)

Wasserdampfdiffusion, -konvektion und Kondensationsschutz		
Andi Breuss Wand-Fertigbauteile Holz-Lehmverbund - Holz-Lehmverbundwand - ohne Ausgangsfeuchte		
AW01a	Holz-Lehmverbundwand - ohne Ausgangsfeuchte	Neubau
AW	Außenwand	
Vermeidung schadensverursachender ...		
... Kondensatmengen im Bauteilinneren		Nachweis ist erfüllt
ÖNORM B 8110-2 :2020-01-01 - Vereinfachter Nachweis		
... Wasserdampfkondensation raumseitiger Oberflächen von Bauteilen		Nachweis ist erfüllt
ÖNORM B 8110-2 :2020-01-01 - Hintanhaltung von Schimmelbildung - Vermeidung von schadensverursachender Wasserdampfkondensation		
		

7.3.3. Innenwände

Da das Marktangebot für systemisch anwendbare Trenn- und Zwischenwände ausreichend abgedeckt ist, wurden für das HLV-System ausschließlich konstruktive Bauteile im Inneren des Gebäudes untersucht. Das betrifft insbesondere Gebäudetrennwände mit sehr hohen Schall- und Brandschutzanforderungen, die vom HLV®-System erfüllt und im Zuge eines vom AWS (Creativ Impact Prototyp) geförderten Forschungsprojekts 2022 nachgewiesen werden konnten. Überprüft wurde hier hauptsächlich die Herstellung der Innenwandbauteile. Da Gebäudetrennwände zweiteilig und schallentkoppelt ausgeführt werden müssen, bietet sich an, die innere Schicht Lehm1200 des HLV®-Systems jeweils getrennt herzustellen und spiegelverkehrt mit einem Hanfvlies (> 1 cm) im Zwischenraum zu montieren. Die Erkenntnisse und Ergebnisse zur Herstellung des HLV®-Elementes (siehe Außenwände) konnten hier deckungsgleich angewendet werden. Für die untersuchten Prototypen wurden Holzkonstruktionen mit einer Stärke von nur 10 cm verwendet, um nutzbare Fläche im Gebäude optimieren zu können. Bei der Montage und beim Transport sind zwar bei Elementen mit einer Größe von 2,5 m x 3,0 m minimale Verwindungen aufgetreten, die jedoch in der Lehmschicht Lehm1200 keine Schäden verursacht haben. Aufgrund des hohen Gewichtes scheinen die Holzsteher und -riegel mit 10 cm Stärke zu gering bemessen zu sein und sollten auf 14 cm erhöht

werden – die nutzbare Fläche wird dadurch geringfügig reduziert. Gebäudetrennwände lassen sich also im gleichen Produktionsverfahren wie HLV®-Außenwände herstellen.

7.3.4. Holz-Lehmestrich und Lehmschüttung

Im aufgebauten Mock-Up sollten nicht nur die systemische Herstellung durch einen ausführenden Holzbaubetrieb sowie die Montagetauglichkeit, sondern auch die Eignung für die Anwendung in mehrgeschoßigen Gebäuden mit einem trittschallrelevanten Aufbau nachgewiesen werden.

Das Mock-Up wurde mit einer verdübelten Holzstapeldecke versehen, die dem Anspruch der Kreislaufrfähigkeit entspricht. Auf dieser Dübelholzdecke mit 16 cm Stärke und einer Grundfläche von knapp 40 m² wurden drei Prüffelder schallentkoppelt aufgebaut. Dabei sollte u.a. die Trittschallverbesserung mit einer Holz-Lehmschüttung quantifiziert werden (siehe 7.2.5 Holz-Lehmschüttungen).

Im Testfeld 1 wurde folgender Aufbau hergestellt:

16 cm Dübelholzdecke, 8 cm Holz-Lehmschüttung, 6 cm Lehm-Estrich zwischen Polsterhölzern mit 6x6 cm), 2 cm massiver Kieferschiffboden verschraubt

Gemessen wurde ein bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ von 53 dB. Nachdem die rohe Dübelholzdecke einen Norm-Trittschallpegel von 80 dB aufweist, kann eine Verbesserung ΔL_w von 27 dB abgeschätzt werden, auch wenn es sich hier um keinen Prüfstand handelt und wir einerseits von $L_{n,w}$ und andererseits von $L'_{nT,w}$ sprechen.

In Testfeld 2 wurde die Verbesserung durch eine zusätzliche Trittschalldämmung mit folgendem Aufbau geprüft:

16 cm Dübelholzdecke, 6 cm Holz-Lehmschüttung, 2 cm Hanfdämmplatte, 6 cm Lehm-Estrich zwischen Polsterhölzern mit 6x6 cm, 2 cm massiver Kieferschiffboden verschraubt

Gemessen wurde ein bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ von 44 dB. Es kann (siehe oben) eine Trittschallverbesserung ΔL_w von 36 dB abgeschätzt werden. Der Aufbau kommt ohne die zwischen Trittschalldämmung und Zementestrich sonst zwingend vorgeschrieben PE-Folie aus. Der Grund für den Entfall liegt in einem differenten Feuchteverhalten des gesamten HLV-Aufbaus, in dem durch das Zusammenwirken von Holz und Lehm Feuchtigkeit verarbeitet und weitergeleitet werden kann. Es hat sich nach diesem Versuch gezeigt, dass nach Öffnen des Fußbodenaufbaus keinerlei Schäden oder Spuren von Verrottung zu erkennen waren. Das Bauteil inklusive der Trittschallmatte war durch und durch trocken.

In Testfeld 3 wurde folgender Aufbau gemessen:

16 cm Dübelholzdecke, 6 cm Lehmgranulat (1200 kg/m³), 1 cm Sandausgleichsschicht, 2 cm Hanfdämmplatte, 4 cm Holz-Lehmschüttung, 6 cm Lehm-Estrich zwischen Polsterhölzern mit 6x6 cm), 2 cm massiver Kieferschiffboden verschraubt.

Gemessen wurde ein bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ von 40 dB. Es kann in Bezug auf die Dübelholzdecke eine Trittschallverbesserung ΔL_w von 40 dB abgeschätzt werden.

Insgesamt sind die Ergebnisse mit Lehmschüttung und Lehmestrich überaus vielversprechend. Die Werte sind in-situ bei weitem besser als aktuelle Berechnungsmethoden vermuten lassen.

Generell ist im Holzbau für die Erreichung eines guten Schallschutzes eine umfassende Planung erforderlich. Mit entsprechenden planerischen Maßnahmen ist ein sehr gutes Schallschutzniveau erreichbar, wie die dargestellten, neuen und kreislauffähigen Optionen im Fußbodenaufbau aus Lehm und Holz aufgezeigt haben.

Alternativ werden derzeit neue Lösungen mit Holz-Lehmdecken, die schwerer sind, entwickelt und untersucht. Zum Teil wird dafür aber stabilisierter Lehm verwendet, oder es sind, durch die Technik der Decke bedingt, gestalterisch eher wuchtige Vorgaben zu akzeptieren. Wenn man den Trittschallschutz im Aufbau lösen kann, ist das wirtschaftlicher und die Planer:innen bzw. Nutzer:innen sind freier in Ihrer Gestaltung.

Abbildung 59: Bauphysikalische und ökologische Bewertung einer Geschoßdecke (Quelle: dataholz.eu; Massivholzdecke gdmnxn02-02)

Geschoßdecke - gdmnxn02-02

Geschoßdecke, Holzmassivbau, ohne, nass, mit Schüttung, Holz sichtbar

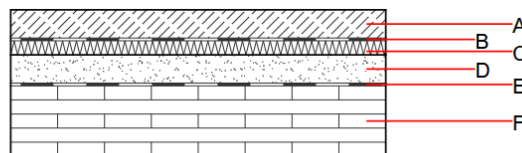
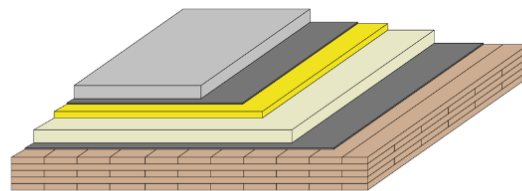
Bauphysikalische Bewertung

Brandschutz REI 60
max. Spannweite = 5 m; max. Last $E_{d,n} = 5 \text{ kN/m}^2$ (ohne Fußbodenaufbau)
Klassifizierung durch HFA

Wärmeschutz U 0,43 W/(m²K)
Diffusionsverhalten geeignet
Berechnung durch HFA

Schallschutz $R_w (C; C_{tr})$ 55 dB
 $L_{n,w} (C_i)$ 60 dB
Bewertung durch TU-GRAZ

Flächenbezogene Masse m 301,80 kg/m²



Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau (von außen nach innen, Maße in mm)

	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltensklasse EN
			λ	μ min – max	ρ	c	
A	60,0	Zementestrich	1,330	50 - 100	2000	1,080	A1
B		Trennschicht Kunststoff	0,200	100000	1400	1,400	E
C	30,0	Trittschalldämmung MW-T [$s' = 10 \text{ MN/m}^3$]	0,033	1	70	1,030	A1
D	60,0	Splittschüttung gebunden	0,700	1	1800	1,000	A1
E		Rieselschutz					E
F	140,0	Brettsper Holz (verklebt) d $\geq 140,0$; mind. 5-lagig, Decklage mind. 30mm	0,130	50	500	1,600	D

Welches Potential der Trittschallverbesserung in diesen neuen Aufbauten liegt, zeigt ein Vergleich mit einem herkömmlichen Aufbau bei einer vergleichbaren Holzmassivdecke. Mit einem Zementestrich, einer Trittschalldämmung aus Mineralwolle, sowie einer gebundenen Splittschüttung ergibt sich ein $L_{n,w}$ von 60 dB, liegt also deutlich über den Minimalanforderungen eines $L_{n,w}$ von 48db. (Quelle: dataholz.eu, Geschoßdecke - gdmnxn02-02, 2023).

Ein Vergleich der Aufbauten gdmnxn02-02 (dataholz) und Testfeld 3 (Lehmestrich Mag. Andreas Breuss MSc) zeigt: Zementestrich versus Lehmestrich = 60:40 dB.

Der herkömmliche Fußbodenaufbau weist auf ein gravierendes Problem des Holzbaus hin - nämlich die schlechte Schallqualität im Geschossbau. Meist werden zusätzlich abgehängte Decken oder zusätzliches Gewicht an- und eingebracht, trotzdem bleibt die Performance eher schlecht. Das führt dazu, dass im Geschossbau auf Stahlbetondecken umgeschwenkt wird, oder gleich das gesamte Gebäude in einem Stahlbetonskelett gebaut wird, um den Problemen mit der Trittschallübertragung aus dem Weg zu gehen.

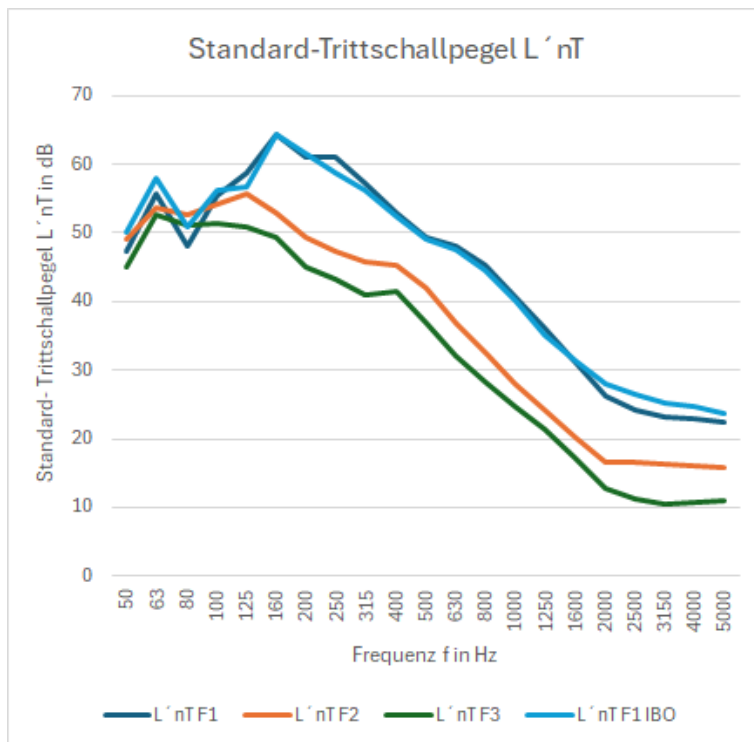
Darstellung der Ergebnisse der Schallmessungen und ein alternatives, vom IBO entwickeltes Schall- und Schwingungsmesssystem

Neben den im Projekt durchgeführten Schallmessungen nach ISO 16283 -2 mit dem geeichten Messsystem Bruel&Kjaer 2260 und der Bewertung der frequenzabhängigen Ergebnisse nach ISO 717-2 wurden darüber hinaus mit einem einfachen Audio Interface und einer open source Schallanalyse Software für Audiogeräte in Verbindung mit einem Klasse 1 Messmikrophon parallel Trittschallmessungen durchgeführt.

Abbildung 60 zeigt die Frequenzverläufe der gemessenen Standard-Trittschallpegel mit dem B&K Schallanalysator der oben angeführten bewerteten Ergebnisse. Außerdem ist für das Feld 1 der Vergleich mit dem eigenen Messsystem angeführt, welches im Rahmen des Projekts weiterentwickelt wurde.

Im Vergleich zeigt der Frequenzverlauf nur eine geringe Abweichung vom kommerziellen System (einzahlbewertet $L'_{nT,w}$ 52 statt 53 dB). Nicht dargestellt, weil für die Mess- und Projektergebnisse nicht relevant, sind Abweichungen in der Nachhallzeitmessung vor allem im tiefen Frequenzbereich unter 100 Hz. Dies liegt vor allem an der höheren Genauigkeit des IBO-Systems, das den Raum mit sinus sweep Signalen anregt, wodurch ein höherer Schallpegel in den tiefen Frequenzen erreicht wird als bei der Anregung mit einem Pistolenschuss. Das ermöglicht eine bessere Abklingkurve über 30 dB und daher eine zuverlässigere Messung der Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen. Diese tiefen Frequenzen sind jedoch für die Einzahlbewertung (im von der OIB RL7 vorgeschriebenen Frequenzbereich) nicht relevant.

Abbildung 60: Standard-Trittschallpegel L'_{nT} der drei untersuchten Aufbauten und Vergleich Feld 1 mit IBO System



7.3.5. Hanf-Lehmdichtschlämme

Zur Herstellung von Hanf-Lehmschlämmen benötigt man ein Hanfvlies und in Wasser geschlämmten Lehm. Ein zusätzlicher Kleister in Form von Roggenleim wird von der Industrie angeboten, ist aber für die Funktionsfähigkeit nicht erforderlich. Für das Hanfvlies verwendet man „*Trittschalldämmfilze aus Hanf die ohne jegliche Zusätze, ausschließlich durch mechanische Verfestigung der Hanffaser hergestellt werden*“¹⁶⁶. Am besten eignen sich 3 mm starke Hanfvliese, die dicht vernadelt sind. Die Rohdichte sollte $\geq 130 \text{ kg/m}^3$ betragen.

Je nach Qualität des Hanfvlieses ergeben sich große Unterschiede in der Verarbeitung. 5 mm starke und/oder weniger dicht vernadelte Vliese werden durch das Tränken elastisch und verziehen sich. Das Hinzugeben von kleinen Anteilen sehr feinem Sand scheint die Verkrallung von Lehm und Vlies zu begünstigen, konnte aber nicht experimentell nachgewiesen werden.

So können systemische Anforderungs- und Verarbeitungsprofile entwickelt werden, die es lehmunerfahrenen Fachkräften erlaubt, diese Technik anzuwenden, ähnlich wie es mit dem synthetischen Klebeband der Fall ist.

Das Ergebnis zeigt, dass ein kunststoffbasierter Baustoff wie das Klebeband, das in großen Mengen im Holzbau eingesetzt wird, durch einen regenerativen, kreislauffähigen Baustoff ersetzt werden kann, der wiederverwendet oder kompostierbar ist. Die Kreislauffähigkeit wurde an unterschiedlichen Bauteilanschlüssen überprüft: Das geschlämmte Vlies lässt sich einfach per Hand lösen, wieder mit Schlämme tränken und neuerlich aufbringen. So können Fehler in der Ausführung

¹⁶⁶ Fa. Hanffaser, Uckermarkt <https://www.hanftopia.at/p/hanf-akustikvlies-3-5-10-rolle-1-m-25-25-15-lfm>

korrigiert und alle Dichtbänder nach Rückbau eines Gebäudes erneut eingesetzt werden. Dabei entsteht weder bei der Erstmontage noch bei jeder weiteren Anwendung Abfall.

Das 3 mm Hanfvlies für die Hanf-Lehmschlämme verursacht in der Herstellung pro kg ca. 0,5 kg CO₂e (A1-A3), Lehm aus dem Aushub abzgl. Transport ist weitgehend CO₂ neutral, während Klebebänder (je nach Zusammensetzung) pro kg ca. 4 - 7 kg CO₂e (A1-A3) das Zehnfache an Treibhausgasemissionen verursachen und am Lebensende aufwändig zu entsorgen sind.

7.4. Schlussfolgerungen

Es ist gelungen, die Herstellung und Montage von regenerativen Bauteilen, die zur baulichen Herstellung eines Gebäudes ab der Fundamentoberkante bis zur Dachunterkante notwendig sind, zu definieren und systemisch so darzustellen, dass ausführende Firmen diese herstellen und montieren können. Die Geschosstauglichkeit wurde durch den Bau eines Mock-Ups und durch zusätzliche Messungen und Prüfungen sowie die Kreislauffähigkeit durch den Rückbau der Bauteile nachgewiesen.

Es ist in dieser Tiefe und in diesem Umfang einzigartig, die konstruktive Herstellung eines Gebäudes mit ausschließlich regenerativen Baustoffen und kreislauffähigen Bauteilaufbauten realisieren zu können.

Das bedeutet:

- Die Herstellung der Konstruktion eines Gebäudes ist damit unabhängig von der globalen Bauindustrie möglich, weil lokale natürliche Ressourcen genutzt werden können.
- Es entstehen bei der Produktion der Baumaterialien und beim Herstellen der Gebäude nur geringe Treibhausgasemissionen, die vornehmlich durch lokale Transporte verursacht werden.
- Es kann durch den hohen Schnittholzanteil CO₂ gebunden bleiben, da dieses mehrfach genutzt werden kann.
- Den Nutzer:innen dieser Gebäude kann ein gesunder und emissionsfreier Wohnraum angeboten werden.
- Die verwendeten Bauteile sind mechanisch lösbar und praktisch abfallfrei wiederverwendbar.

Um dies in einem größeren Maßstab realisieren zu können, müssen Rezeptur- und Produktionsbeschreibungen sowie Baudetails neu definiert und standardisiert, Aufbautenkataloge erstellt, ein Kostenmonitoring gestartet und Montageanleitungen dargestellt werden. Das geht nur in Zusammenarbeit zwischen den Entwickler:innen dieses Bausystems, Planer:innen und ausführenden Firmen. Hinzugezogen werden müssen auf der Planungsseite Architekt:innen, Statiker:innen und Bauphysiker:innen. Durch die Kooperation mit dem ausführenden Holzbaubetrieb Simlinger wurden die Vorgänge zur Produktion und Montage der HLV-Elemente auf Praxistauglichkeit und wirtschaftliche Effizienz hin optimiert.

Der nächste Schritt wäre die Planung und der Bau eines mehrgeschossigen Gebäudes, um in eine großmaßstäbliche Ebene zu kommen.

Zielgruppe sind alle mit Bauen beschäftigten Unternehmen und Institutionen: Bauträger:innen, Kommunen, Immobilienentwickler:innen, Bau- und Wohngenossenschaften, Bau- und Holzbauunternehmen sowie private Bauherrenschaften.

Es ist zu erwarten, dass noch einige wenige rechtliche Hürden zu bewältigen sind. Das betrifft neben einer Produktdeklaration und einer bautechnischen Zulassung insbesondere die ÜA-Kennzeichnung gemäß den einschlägigen österreichischen Vorgaben bzw. den Anforderungen der Baustoffliste ÖA oder eventuelle die nicht zwingend vorgeschriebene Umweltproduktdeklaration (EPD) und ähnliches.

„Voraussetzung für die Herstellung der HLV-Elemente ist die Einhaltung der jeweils einschlägigen bauproduktrechtlichen Anforderungen. Bei vorgefertigten, tragenden und geschlossenen Holzbauteilen betrifft dies insbesondere die Anforderungen der Baustoffliste ÖA sowie die ÜA-Kennzeichnung des Bauprodukts. Voraussetzung dafür sind insbesondere eine werkseigene Produktionskontrolle, ein Überwachungsvertrag mit einer akkreditierten Inspektionsstelle sowie die Registrierung des Bauprodukts.“ (Martin Simlinger, Holzbau Simlinger)

Mit den Holz-Lehm-Verbundtechniken (HLV®) steht ein sehr großes Potential zur Verfügung, den mehrgeschossigen Bau regenerativ und kreislauffähig zu erstellen.

8 Aus- und Weiterbildung im Lehmbau

8.1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Der wachsende Bedarf an ressourcenschonenden Bauweisen und emissionsarmen Materialien rückt Lehm durch seine vollumfängliche Kreislauffähigkeit vermehrt in den Fokus des Baugeschehens. Um den Baustoff in der Praxis vermehrt einzusetzen, mangelt es häufig an gut ausgebildeten Fachpersonen. Die bautechnische Lehre im akademischen und handwerklichen Bereich umfasst überwiegend konventionelle Baumaterialien, der Baustoff Lehm wird kaum gelehrt. Dieses Arbeitspaket des Projektes hat sich deshalb mit der Frage beschäftigt, wie man in die Lehrinhalte an Berufsschulen, berufsbildenden (höheren) Schulen und Universitäten/Fachhochschulen um dieses Baumaterial erweitern kann.

Projektziel war es deshalb, in enger Zusammenarbeit mit dem Netzwerk Lehm – dem Fachverband zur Förderung des Lehmbaus sowie zur Vernetzung von Lehmbauschaaffenden in Österreich – und diversen Bildungseinrichtungen den Baustoff Lehm in bestehende Lehrpläne zu integrieren sowie eine einheitliche Ausbildungsschiene im Bereich des Lehmbaus zu etablieren. Durch das Angebot dieser Ausbildungsschiene soll fundiertes Fachwissen im Lehmbau vor allem in der Berufspraxis etabliert werden. Die breite fachliche Kompetenz in diversen Berufssparten im Umgang mit dem Material Lehm ist eine fundamentale Voraussetzung für dessen großflächige Akzeptanz und Verbreitung.

Um den Baustoff Lehm auch breiteren Teilen der Bevölkerung bekannt zu machen und die österreichische und internationale Lehmbau-Community zusammenzubringen, sollte im Rahmen des Projekts eine Tagung realisiert werden. 2017 fand die 1. Österreichische Lehmbautagung an der TU Wien statt, darauf aufbauend soll diese Tagung wieder die Gelegenheit bieten, aktuelle Themen des Lehmbaus zu diskutieren.

8.2. Methoden

Im Rahmen des Projekts hat sich eine ca. 20-köpfige Arbeitsgruppe formiert und im ca. zweimonatigen Rhythmus getroffen, um Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten im Bereich Lehmbau zu entwickeln und voranzutreiben. Die Arbeitsgruppe bestand aus Lehmbauexpert:innen und -interessierten verschiedenster Bildungsinstitutionen (Universitäten, FHs, Workshopanbieter:innen), Handwerksbetrieben, Forschungsorganisationen und dem Netzwerk Lehm bzw. dem Partnerverein Young Earth Builders. Zu diesen – großteils – virtuellen Treffen wurden regelmäßig Stakeholder:innen eingeladen, um einen Überblick über bereits bestehende und zukünftige Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten zu erhalten. Dabei hat sich rasch herauskristallisiert, dass es in Österreich ein eigenes Aus- bzw. Weiterbildungsangebot für Lehmbauinteressierte außerhalb von Schulen und Universitäten braucht.

Zu den Arbeitsgruppen-Treffen wurden u.a. folgende Stakeholder geladen:

- Stephan Jörchel – Geschäftsführung Dachverband Lehm, Deutschland
- Margit Geiger – IG Lehm, Schweiz

- Kai Längle, Dominik Abbrederis – Gewerbetreibende Lehmbauer
- Andreas Mokesch – Bauakademie Niederösterreich
- Vertreter der ARGE Bauwirtschaft Niederösterreich

Um das Vorhaben eines neuen Ausbildungsangebots umzusetzen, wurde erhoben, wie ähnliche Weiterbildungsangebote in der Schweiz („Fachperson Lehm“ der IG Lehm) und in Deutschland („Fachkraft Lehm“ des Dachverband Lehm) aufgebaut sind und inwiefern eine österreichische Variante ergänzend dazu konzipiert werden kann. Das Angebot sollte praxisnah angelegt werden, indem für den Abschluss der Ausbildung eine vier- bis sechswöchige Praxiszeit in einem Unternehmen zu absolvieren ist. Im Rahmen einer Masterarbeit mit dem Titel „Aufbau einer Lehmbauschulungsschiene in Österreich – Bestandsaufnahme und Impulse zur Förderung des Baustoffs Lehm in Aus- und Weiterbildung“ konnte nochmals fundiert nachgewiesen werden, dass praktische Erfahrungen und fachbereichsübergreifende Tätigkeiten die Arbeit von Lehmbauer:innen prägen und eine Weiterbildung zum Baustoff Lehm in Österreich als wichtiger Schritt gesehen wird. Im Rahmen der Studie konnten zudem Unternehmen herausgefiltert werden, die große Bereitschaft gezeigt haben, Praxis-Ausbildungsplätze anzubieten.

Im Laufe des Projekts und nach intensiverer Recherche hat sich allerdings gezeigt, dass es in Österreich kaum Unternehmen gibt, die eine durchgängige vier- bis sechswöchige Praxisausbildung anbieten können, sodass nicht allen KursteilnehmerInnen ein Praxisplatz in einem abschätzbaren Zeitrahmen zur Verfügung stehen könnte. Es soll allerdings zum nun entwickelten Grundkurs in weiterer Folge aufbauende Module geben, die für Interessierte ein intensives Praxisprogramm beinhalten.

Der ursprüngliche Plan, diese neue Ausbildung in das europäische ECVET-Programm einzubinden, wurde nach intensiver Recherche und Rücksprache mit ECVET- als auch mit Lehm-Expert:innen nicht weiterverfolgt. Dieses europaweite Leistungspunktsystem für Berufsbildung unterliegt einer länderübergreifend vergleichbaren Qualifikation, ist allerdings in Österreich weitgehend unbekannt und eine entsprechende Einbindung der Lehm-Ausbildung hätte den Projektumfang überstiegen. Allerdings wurden im Rahmen der neuen Ausbildung Inhalte speziell zur Hybridbauweise Holz-Lehm entwickelt, die als Basis für ein zu entwickelndes ECVET-Programm dienen können. Damit kann dem wachsenden Interesse der Holzbauwirtschaft Rechnung getragen werden, die das Material Lehm zunehmend als gewinnbringendes thermisches Speichermedium im Leichtbau erkennt und damit neue Maßstäbe in der Verbreitung von Lehm als Baumaterial setzen kann.

Von einem Architekturstudenten wurden im Rahmen einer Masterarbeit Videos zu Lehmbautechniken sowie Sanierungskonzepten im Lehm- und Holzbau angefertigt. Diese Kurzfilme werden für die neu entwickelte Ausbildung verwendet.

Neben dem Aufbau einer eigenständigen Ausbildung war das Verankern von Lehm bzw. Lehm- und Holzbau an technischen Schulen und Universitäten/Fachhochschulen zentraler Projekthinhalt. Die Befragung von Lehrkräften an technischen Schulen sowie Lehrenden an Universitäten und Fachhochschulen hat gezeigt, dass die Integration von Lehm in Schul- und Universitätslehrplänen gefordert wird, doch schwierig umsetzbar ist. Die Bewusstseinsbildung und die aktive Motivation der Lehrenden sind hier entscheidende Faktoren.

Folgende Aufgaben konnten von der Technischen Universität Wien als Projektpartnerin nicht zur Gänze abgedeckt werden und wurden auch an Expert:innen, Lehmbaufachleute und Mitgliedern aus dem Netzwerk Lehm als Drittleister:innen vergeben:

- Aufbau einer praktischen Ausbildungsschiene unter Beteiligung von Mitgliedern im Netzwerk Lehm
- Dissemination der Ergebnisse des Forschungsprojekts auf der Netzwerk Lehm Homepage, in den sozialen Netzwerken, im Zuge von Vorträgen, Veranstaltungen, Messen etc.
- Qualitätssicherung des Projekts durch Bereitstellung von Expert:innenwissen und Beratungsdienstleistungen
- Abwicklung einer Lehmbautagung im Architekturzentrum Wien im März 2023
- Weiterbildung von Lehrkräften an höheren technischen Schulen

8.3. Ergebnisse

8.3.1. Österreichische Lehmbautagung

Am 24. März 2023 wurde im Architekturzentrum Wien die 2. Österreichische Lehmbautagung abgehalten. Diese wurde gemeinsam von Studierenden und Lehrenden der TU Wien in Kooperation mit dem Netzwerk Lehm organisiert und durchgeführt. Bei der Veranstaltung konnten mehr als 120 Teilnehmer:innen und 20 Vortragende aus fünf verschiedenen Ländern begrüßt werden. Das detaillierte Programm sowie eine Nachschau finden sich unter: <http://www.lehmbautagung.at>.

8.3.2. Integration von Lehmbau in bestehende Lehrpläne

Eine Potentialanalyse mit bestehenden Bildungseinrichtungen hat die Integration von Lehmbaum-Themen in die bestehenden Curricula überprüft und folgende Ergebnisse gezeigt:

a) Universitäten, Fachhochschulen

Zusätzlich zu den Lehrangeboten an der TU Wien und der Kunstuniversität Linz werden seit dem Sommersemester 2024 auch an der FH Campus Wien im Masterstudium Green Building Vorlesungen und Entwurfsübungen zu Lehmbau angeboten.

b) Höhere Technische Lehranstalten

Ein Lehmbau-Seminar für alle branchenspezifischen HTL-LehrerInnen wurde im November 2024 an der HTL Baden und Mödling angeboten. Dabei wurden 18 Lehrkräfte aus den verschiedensten Schulen aus allen Bundesländern sowohl theoretisch als auch praktisch von Lehmbau-ExpertInnen – u.a. von der TU Wien – an das Thema herangeführt. In den ersten HTLs wird das Thema bereits im Unterricht integriert, eine Anpassung des Lehrplans ist dafür nicht notwendig. Der kontinuierliche Austausch mit den teilnehmenden Lehrkräften sowie eine Wiederholung des Seminars sind aufgrund des großen Interesses in der Zukunft geplant. An der Camillo-Sitte-Versuchsanstalt für Bautechnik wird ein Skriptum zu Lehmbau an höheren technischen Schulen erarbeitet, das nach Fertigstellung an KollegInnen weitergegeben werden soll.

c) Berufsschulen/Lehrlingsausbildung

Der Lehrberuf „Hochbauspezialist:in – Schwerpunkt Sanierung“ beinhaltet unter anderem das Sanieren von Lehmgebäuden – dieses ist bereits im Lehrplan integriert. In Kooperation mit der ARGE Bauwirtschaft Niederösterreich sowie VertreterInnen relevanter Berufsschulen soll in weiterer Zukunft Lehm in der Lehrlingsausbildung der Gewerke Estrichhersteller (Bauhilfsgewerbe), Maler und Tapezierer, Stuckateure sowie Holzbau integriert werden. Erste Gespräche wurden im Rahmen des Projekts bereits geführt.

d) Außeruniversitäre Erwachsenenbildungseinrichtungen

Verschiedene Anbieter, wie beispielsweise das Lehmwerk Waldviertel oder das Museumsdorf Niedersulz, bieten regelmäßig Lehmbau-Workshops und -kurse an. Die Bauakademie Niederösterreich, eine auf die Bauwirtschaft spezialisierte Bildungsinstitution, hat zwei Lehmbau-Weiterbildungsangebote für BauleiterInnen und BautechnikerInnen im Programm. Mit allen Bildungsanbieter:innen fand während des Projekts ein kontinuierlicher Austausch statt.

8.3.3. Entwicklung einer eigenständigen Lehmbauausbildung

Im Rahmen des Projekts wurde eine in Österreich gänzlich neue Lehmbau-Ausbildung entwickelt: *Grundkurs Lehmbau – ein umfassender Zertifikatskurs zu Theorie und Praxis des Bauens mit Lehm*. Der Kursinhalt umfasst grundlegende Aspekte des Lehmbaus, die zentralen Lehmbautechniken, die Integration des Materials in den Planungsprozess sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen. Im praktischen Teil werden handwerkliche Kompetenzen kennengelernt, wie die fachgerechte Verarbeitung von Lehmputzen und Lehmplatten, die Herstellung von Lehmziegeln und Stampflehmwänden oder die Ausführung von Lehmestrichen, Lehmschüttungen und diversen Holz-Lehmverbindungen.

Der kostenpflichtige, 115 Lehreinheiten umfassende Kurs wird hybrid abgehalten, um eine weitgehend zeit- und ortsunabhängig Teilnahme zu ermöglichen. Der theoretische Teil ist im Selbststudium, der praktische Teil im Rahmen von Workshops zu absolvieren. Im Rahmen des Theorieteils werden zehn Videovorträge sowie ein Kurslehrbuch zur Verfügung gestellt. Die zu absolvierenden Videovorträge werden von Lehmbauexpertinnen und -experten vorgetragen. Das bereitgestellte Kurslehrbuch vertieft die Inhalte der Videovorträge, das Lehrbuch wurde vom deutschen Dachverband Lehm erstellt, es konnte dafür eine Lizenzvereinbarung abgeschlossen werden.

In Workshops von insgesamt 30 Stunden erwerben die TeilnehmerInnen praktische Kenntnisse in der manuellen Verarbeitung von Lehm. Es wurden hierfür keine eigenen Formate entwickelt, die TeilnehmerInnen greifen stattdessen auf das bestehende Workshop-Angebot zurück, wobei die Wahl und Buchung der Workshops eigenständig durch die TeilnehmerInnen erfolgt. Im Rahmen des Grundkurses ist auch mindestens ein eintägiges Vernetzungstreffen zu besuchen, bei dem die KursteilnehmerInnen die Möglichkeit zur fachlichen Vernetzung und zum Austausch haben.

Der Grundkurs wird mit einer theoretischen Prüfung abgeschlossen. Nach erfolgreichem Abschluss aller Kursteile sowie der Prüfung wird das Abschlusszertifikat „Grundkurs Lehmbau“ verliehen.

Durchgeführt wird der Kurs vom Netzwerk Lehm sowie der Bauakademie Niederösterreich und kann ab Anfang 2026 absolviert werden. Die Buchung erfolgt über die Bauakademie, die Abwicklung und laufende Betreuung der Teilnehmer:innen vom Netzwerk Lehm. Dieses ist seit 2018 als Verein

organisiert und sowohl Interessensvertretung als auch Forschungsinstitution. Die Bauakademie Niederösterreich zählt zu den zentralen Bildungsinstitutionen der österreichischen Bauwirtschaft und verfügt über langjährige Expertise in Aus- und Weiterbildungsprozessen. In diesem Bildungsangebot ist es gelungen, das spezifische Fachwissen beider Institutionen systematisch zu bündeln.

Beworben wird der Grundkurs Lehm auf den Social Media-Kanälen des Netzwerk Lehm sowie der Bauakademie Niederösterreich. Werbeflyer werden auf Messen und bei Veranstaltungen des Netzwerk Lehm und der Bauakademie verteilt sowie an Mitglieder des Netzwerk Lehm zur Verteilung weitergegeben.

Abbildung 61: A6-Flyer zur Bewerbung des Grundkurs Lehm (Vor- und Rückseite)

Der neue Zertifikatskurs **Grundkurs Lehm** bietet eine fundierte Einführung in das Planen und Bauen mit Lehm und verbindet theoretisches Wissen mit praktischer Erfahrung. Keine Vorkenntnisse notwendig.

Nähere Informationen finden Sie unter:
<https://netzwerkehm.at/grundkurs-lehmbau/>

In Kooperation mit:
BAUakademie Niederösterreich

Mit Unterstützung von:
TU WIEN **FFG** **IBO** **Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie**

Weitere Informationen zum Grundkurs Lehm finden sich unter:
<https://netzwerkehm.at/grundkurs-lehmbau> sowie <https://noe.bauakademie.at/course/209585-grundkurs-lehmbau?vanr=20958015>.

8.4. Schlussfolgerungen

Der im Projekt neu entwickelte *Grundkurs Lehm* wird von der TU Wien an das Netzwerk Lehm sowie die Bauakademie Niederösterreich zur Durchführung übergeben. Der Kurs richtet sich an Handwerker:innen und Planer:innen (Baumeister:innen, Architekt:innen etc.) sowie an alle weiteren Interessierten. Für die Kursteilnahme ist kein spezielles Vorwissen erforderlich, er steht grundsätzlich allen offen. Die Anmeldung zum Kurs erfolgt ausschließlich über die Bauakademie Niederösterreich, die Aktualisierung der Inhalte wird vom Netzwerk Lehm beigesteuert.

Die Projektergebnisse haben gezeigt, dass es in Bildungseinrichtungen (Berufsschulen, Fachschulen/HTLs, Universitäten/Fachhochschulen) schwierig und vor allem langwierig ist, bestehende Lehrpläne zu ändern und die Integration von Inhalten vom Engagement einzelner Lehrkräfte abhängig ist.

9 Ausblick und Empfehlungen

Im Bereich der gesetzlichen Vorgaben, insbesondere der Bautechnikgesetze und des Bundesvergabegesetzes (BVerG), wird empfohlen, das Bewusstsein für ökologische Baustoffe in den behördlichen Entscheidungsprozessen zu schärfen. Ein zentraler Hebel ist hierbei die Anpassung der technischen Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB). Für eine stärkere Durchdringung der Lehmbauweise ist es erforderlich, in den OIB-Richtlinien 6 (Energieeinsparung) und 7 (Nachhaltige Nutzung) messbare Systeme zur Bewertung des gesamten Lebenszyklus von Baustoffen zu verankern. Aktuell dominiert der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) als Alleinstellungsmerkmal, was den geringen Energiebedarf bei der Herstellung und die gute Rückführbarkeit von Lehm in den Naturkreislauf unberücksichtigt lässt. Künftige Regelwerke sollten daher das Treibhauspotenzial (GWP) für funktionale Einheiten, wie etwa einen Quadratmeter Wandbauteil, als Bewertungsmaßstab heranziehen.

Ein wesentliches Hindernis für die Praxis ist das Fehlen standardisierter Ausschreibungstexte. Daher wird die Ausarbeitung einer eigenen Lehmbau-Leistungsbeschreibung für den Hochbau dringend empfohlen. Diese sollte auf Basis der neuen ÖNORM B 3230 oder bestehender DIN-Normen Positionen für Lehmputze, Lehmsteine und Lehmörtel sowie für die erforderlichen Baulehmprüfungen enthalten. Nur durch solche standardisierten Texte können die für öffentliche Vergaben notwendige Transparenz und Vergleichbarkeit im Sinne des BVerG gewährleistet werden.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung von Anforderungen für die Vor-Ort-Herstellung von Lehmabaustoffen. Während die deutschen Normen DIN 18945 bis DIN 18948 im Werk hergestellte Produkte behandeln, fehlt für die Aufbereitung von Aushub direkt auf der Baustelle (Ortlehm) ein vergleichbares normatives Regelwerk. Die Erweiterung der Grundlagendokumente für die Planung und Ausführung auf Techniken wie den Stampflehm- und Wellerlehm- Bau wird als essenziell erachtet, um Planer:innen die notwendige Rechtssicherheit zu geben. Hierbei ist ein Abgleich zwischen den Eurocode-Vorgaben und den spezifischen Materialeigenschaften von Lehm erforderlich, um realistische Teilsicherheitsbeiwerte festzulegen.

Da das in den Lehm-Regeln beschriebene traditionelle Verfahren zum Bindekraftversuch (Achterling-Versuch) in der Praxis erhebliche Mängel aufweist, wie etwa eine hohe Streuung der Ergebnisse und Schwierigkeiten bei der Einstellung der „Normsteife“, werden zwei mögliche Wege vorgeschlagen. Einerseits kann das bestehende Verfahren optimiert werden, indem beim Bindekraftversuch der Wassergehalt über die normierte Ausrollgrenze nach ÖNORM EN ISO 17892-12 eingestellt wird, da diese der Normsteife nahekommt und objektiver bestimmbar ist. Zusätzlich sollten Verdichtungsmethode und Einbauenergie in der Prüfform standardisiert werden. Die derzeitige Toleranzgrenze von 10 % für Einzelwerte gilt dabei als zu streng und könnte zugunsten mehrerer Wiederholungen angepasst werden. Andererseits werden Alternativen empfohlen: Besonders die plastischen Zustandsgrenzen (Atterberg-Grenzen) zeigen eine hohe Korrelation zur Bindekraft, wodurch die Bodenklassifizierung nach ÖNORM EN ISO 17892-12 künftig besser zur Beurteilung der Materialeignung geeignet sein könnte.

Die Umsetzung dieser Empfehlungen in Form von Technischen Empfehlungen oder nationalen ÖNORMEN (wie der ÖNORM B 3230) wird als der entscheidende Schritt angesehen, um den Lehm- Bau aus der Nische zu holen und als ökologische Alternative im urbanen Geschossbau zu

etablieren. Durch die Verknüpfung von traditionellem Materialwissen mit modernen geotechnischen Prüfverfahren wird die notwendige Rechtssicherheit und bautechnische Akzeptanz geschaffen, um die Kreislaufwirtschaft im Bauwesen maßgeblich voranzutreiben.

Die geschaffene Möglichkeit zur standardisierten Klassifizierung bietet die Grundlage dafür, Bodenaushub gezielt als Rohstoffquelle zu erschließen. Ziel künftiger Arbeiten muss es sein, auf Basis der Klassifizierungsmatrix spezifische Anforderungsprofile für verschiedene Endprodukte zu definieren. So kann ein Bauunternehmen bereits im Vorfeld durch einfache Parameter wie die Korngrößenverteilung und Plastizität entscheiden, ob ein Aushubmaterial für Lehmsteine, Putze oder Stampflehm geeignet ist.

Für weiterführende Untersuchungen erscheint es sinnvoll, systematisch zu erheben, welcher Anteil des anfallenden Aushubmaterials grundsätzlich für die Herstellung von Lehmbaustoffen geeignet ist. Dabei sollten sowohl bodenmechanische als auch stoffliche Eigenschaften berücksichtigt werden, um das tatsächliche Verwertungspotenzial realistisch einschätzen zu können. Darüber hinaus ist die Rolle von Aushubdeponien und Aufbereitungsunternehmen näher zu analysieren. Insbesondere deren zeitliche und räumliche Entkopplungsfunktion bietet Potenzial, indem Aushubmaterial zwischengelagert, qualitätsgesichert aufbereitet und bedarfsgerecht wieder in den Stoffkreislauf eingebracht werden kann.

Ein weiterer Forschungsbedarf besteht in der Untersuchung, inwieweit Geräte und Verfahren aus dem konventionellen Baubetrieb für die Aufbereitung von Lehm adaptiert werden können. Eine entsprechende Recherche und Bewertung vorhandener Technologien könnte dazu beitragen, bestehende Infrastrukturen effizient zu nutzen und den Markteinstieg von Lehmbaustoffen aus Aushubmaterial zu erleichtern.

Das IBO führt aktuell dazu weitere Forschungsprojekt durch, die die rechtlichen, infrastrukturellen, logistischen, ökonomischen Voraussetzungen für die Nutzung von Aushubmaterial zur Herstellung von Lehmbaustoffen untersuchen und relevante Stakeholder:innen einbinden.¹⁶⁷

Hinsichtlich vorhandener Bewertungs- und Planungsinstrumente wird empfohlen, diese stärker an die Eigenschaften regionaler Baustoffe wie Lehm, Stroh und Holz anzupassen. Gleichzeitig sollten technische, ökologische sowie sozioökonomische Aspekte gemeinsam betrachtet werden, um deren tatsächliches Potenzial im Bauwesen besser abzubilden. Es wird empfohlen, die bestehenden Normen zur Lebenszyklusanalyse hinsichtlich ihrer Eignung für regionale und biobasierte Baustoffe zu überprüfen und ggf. weiterzuentwickeln. Insbesondere ist zu untersuchen, wie geringe Produktionsaufwände, lokale Stoffkreisläufe und kurze Transportwege methodisch angemessen berücksichtigt werden können. Ziel sollte ein Bewertungsrahmen sein, der nicht nur internationale Massenprodukte, sondern auch ortsgebundene Materialien fair abbildet.

¹⁶⁷ *missing link - Voraussetzungen für die Herstellung von Lehmbaustoffen aus Aushubmaterial am Ort seiner Entstehung*; Laufzeit 04/2025 – 03/2028; Ausschreibung: Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologie 2024; Fördergeber: BMK, vertreten durch die FFG
reSOILution - Nutzung von Bodenaushub für die Lehmbaustoffherstellung; Laufzeit 04/2026 – 03/2027; Ausschreibung: Technologien und Innovationen für die klimaneutrale Stadt 2025; Fördergeber: BMIMI, vertreten durch die FFG

Zudem wird die Berücksichtigung sozialen und ökonomischen Effekte regionaler Baustoffe empfohlen. Dazu zählen regionale Beschäftigung, Wertschöpfung vor Ort, Resilienz lokaler Bauprozesse und Akzeptanz bei Bauherren und Nutzergruppen. Eine integrierte Nachhaltigkeitsbewertung würde die Aussagekraft solcher Materialien deutlich erhöhen.

Da dynamische Lebenszyklusanalysen den zeitlichen Verlauf von Emissionen realistischer berücksichtigen als statische Modelle, wäre es sinnvoll, diese stärker in Forschung und Praxis einzubinden. Künftige Arbeiten sollten prüfen, wie sich unterschiedliche Nutzungsdauern, Wiederverwendungen und End-of-Life-Szenarien auf die Klimawirkung von Lehm und biobasierten Baustoffen auswirken. Besonders relevant ist dabei die Frage, wie frühe oder späte Emissionen im Hinblick auf Klimaziele bis 2050 zu gewichten sind.

Für biogene Baustoffe sollten unterschiedliche End-of-Life-Szenarien systematisch analysiert werden, etwa Wiederverwendung, stoffliches Recycling, Pyrolyse oder BECCS (biogene Kohlenstoffabscheidung und -speicherung). Dabei ist zu untersuchen, welche Verfahren unter technischen, ökologischen und infrastrukturellen Bedingungen tatsächlich umsetzbar sind. Für Lehm-Baustoffe sollte insbesondere erforscht werden, wie eine schadlose Rückführung in den Boden praktisch und normativ unterstützt werden kann.

Die im Rahmen des Projekts realisierte Bauteilerrichtung (Mock-Up) hat gezeigt, dass die Umsetzung einer Außenwand als Holz-Lehm-Verbundelement als tragende Konstruktion bis zu drei Vollgeschossen möglich ist. Alle statischen und bauphysikalischen Anforderungen können mit dem beschriebenen System erfüllt werden. Ab vier Vollgeschossen empfiehlt sich, das HLV-Element als Ausfachung zu verwenden. Als Grundkonstruktion kann eine Stahlbeton- oder Holzskelettstruktur dienen, die die tragende Funktion übernimmt. Dem HLV-Bauteil obliegen dann die bauphysikalischen Anforderungen an Wärme-, Brand- und Schallschutz. Hier gibt es keine Grenzen bezüglich der Geschossanzahl. Die positiven ökologischen Eigenschaften des regenerativen Holz-Lehmverbundsystems sind nicht mit Einschränkungen in der bautechnischen Qualität verbunden, sondern übertreffen in Teilen sogar die strengen Anforderungen, wie bei der Trittschallqualität des Lehmestrichs dargestellt wurde.

Über die rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen hinaus kann die Realisierung mehrgeschossiger Gebäude mit Lehm-Baustoffen wesentlich dazu beitragen, diese Bauweise einer breiten Anwendergruppe zugänglich zu machen und ihre Praxistauglichkeit zu belegen. Die Anwendung von Lehm-Baustoffen im mehrgeschossigen Kontext kann einen entscheidenden Beitrag leisten, ihre Marktdurchdringung zu erhöhen, Planungs- und Ausführungsroutinen zu etablieren und die Leistungsfähigkeit unter realen Einsatzbedingungen weiter zu validieren.

Zukünftige Forschungsarbeiten sollten darauf abzielen, die konstruktiven, bauphysikalischen und logistischen Anforderungen zu präzisieren sowie standardisierbare Lösungen für Planung und Ausführung zu entwickeln. Dadurch kann die Grundlage geschaffen werden, Lehm als Baustoff verstärkt in den urbanen und großvolumigen Hochbau zu integrieren und seine Anwendbarkeit langfristig zu sichern.

Das Projekt sieht ein großes Potential für die in Österreich neu entwickelte Ausbildung Lehm-BauPRAXIS, es besteht allerdings das Risiko einer fehlenden Bereitschaft der Zielgruppe. Darüber hinaus stellt die Finanzierung der laufenden Durchführungskosten für einen kleinen,

ausschließlich durch Mitgliedsbeiträge getragenen Verein wie das Netzwerk Lehm eine wesentliche Herausforderung dar.

Die nachhaltige Integration des Lehmbaus in bestehende Curricula unterschiedlicher Bildungseinrichtungen stellt ein langfristiges Ziel dar. Im Rahmen des Projekts wurden Schulen bzw. Lehrkräften bereits empfohlen, das Thema Lehmbau im Rahmen ihrer jeweiligen Möglichkeiten in den Unterricht einzubinden. Derzeit erfolgt dies jedoch vor allem auf Basis des individuellen Engagements einzelner Lehrpersonen; angestrebt wird eine strukturelle, institutionalisierte Verankerung. In einem weiterführenden Projekt könnten Lehrkräfte an Berufs-, Fach- und höheren technischen Schulen gezielt geschult werden, um Lehmbau sowohl im theoretischen als auch im praktischen Unterricht nachhaltig zu integrieren. Aktuell fehlen dafür ausgearbeitete und zielgruppengerechte Lehrunterlagen für SchülerInnen, deren Entwicklung ebenfalls Gegenstand eines Folgeprojekts sein könnte.

Um eine weitere Verbreitung des Baustoff Lehm in Österreich voranzutreiben, ist eine weitere Lehmbautagung für 2027 geplant.

10 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auszug aus Tabelle 1a der OIB-RL 2	29
Abbildung 2: Auszug aus Tabelle 1b der OIB-RL 2	30
Abbildung 3: Anwendungsklasse von Lehmsteinen	46
Abbildung 4: Linke Darstellung: Abfallaufkommen 2023, Zusammensetzung nach Abfallgruppen in %; rechte Darstellung: Stoffstrombild für Aushubmaterial 2023 in Tonnen	53
Abbildung 5: Korngrößenverteil BL 16	61
Abbildung 6: Konsistenzband nach ÖNORM EN ISO 14688-2	71
Abbildung 7: Plastizitätsdiagramm	74
Abbildung 8: Biegezugprüfung nach ÖNORM EN 1015-11	78
Abbildung 9: Temperaturverlauf während einer Frostprüfung nach DIN 18945	92
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Tongehalt, Bindekraft, Trockenschwindmaß und Druckfestigkeit	114
Abbildung 11: Zusammenhang Wassermasse (y-Achse) zu Linearem Trockenschwindmaß (x-Achse)	116
Abbildung 12: Wassergehalt (y-Achse) zu Linearem Trockenschwindmaß (x-Achse)	117
Abbildung 13: Oben Trockenschwindmaß und Druckfestigkeit; unten Trockenschwindmaß und Wassergehalt bei Normsteife	119
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Trockenschwindmaß und Bindekraft	120
Abbildung 15: Oben: Fließ-, Ausrollgrenze und Wassergehalt bei Normsteife; unten: linearer Zusammenhang zwischen Fließ- und Ausrollgrenze und Wassergehalt bei Normsteife	121
Abbildung 16: Plastizitätsdiagramm für untersuchte Baulehme	122
Abbildung 17: Zusammenhang Bindekraft und Zugkraft aus Scherversuch	124
Abbildung 18: Zusammenhang Bindekraft und Fließ- und Ausrollgrenze	125
Abbildung 19: Zusammenhang Bindekraft und Plastizitätszahl	125
Abbildung 20: Zusammenhang Druckfestigkeit und Bindekraft	127
Abbildung 21: Zusammenhang Biegezug- und Druckfestigkeit	127
Abbildung 22: Zusammenhang zwischen Trockenschwindmaß und Mischungsverhältnis	131
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen Bindekraft und Mischungsverhältnis	131
Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Mischungsverhältnis	132
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Biegezugfestigkeit und Mischungsverhältnis	132
Abbildung 26: Zusammenhang zwischen Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit	133
Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Mischungsverhältnis und Rohdichte	133
Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit	134
Abbildung 29: Zusammenhang zwischen Lineares Trockenschwindmaß und Druckfestigkeit	134
Abbildung 30: Mobile Siebanlage des Unternehmens Dödlinger Erdbau (Quelle: IBO)	143
Abbildung 31: Wenderoboter der Fa. Egginger Naturbaustoffe zur Lehmtrocknung (Quelle: IBO) ...	143

Abbildung 32: GWP_{bio} für einen Zeithorizont von 100 Jahren als Funktion der Rotationsperiode (in Jahren) und der Speicherdauer. Quelle: Guest et al.	153
Abbildung 33: Lebenszyklusphasen nach EN 15804+A2 und die in den Berechnungen berücksichtigten, bzw. sinnvollen Phasen rot markiert. Phase A5 bei Einblasdämmungen berücksichtigt, aber der Produktionsphase zugerechnet.	155
Abbildung 34: Ergebnisse des GWP für A1-A3 (Produktionsphase) in kg (links) und m^3 (rechts).....	156
Abbildung 35: Ergebnisse des GWP für die Transportlebenszyklusphasen A4 (Transport zur Baustelle) und C2 (Transport zur Entsorgung) in kg (links) und m^3 (rechts)	156
Abbildung 36: Ergebnisse des GWP für die End of Life-Lebenszyklusphasen C3 (therm. Verwertung) und C4 (Deponierung) in kg (links) und m^3 (rechts)	157
Abbildung 37: Kumulierte Ergebnisse des GWP für die Lebenszyklusphasen A1-A3+A4+C2+C3/C4 in kg (links) und m^3 (rechts)	158
Abbildung 38: Gegenüberstellung der Ergebnisse des GWP für die Treibhauspotenziale unter Berücksichtigung einer funktionalen Einheit für Wärmedämmung	159
Abbildung 39: Vergleich der kumulierten Ergebnisse des GWP für die Treibhauspotenziale der Dämmstoffe in den Lebenszyklusphasen A1-A3+A4+C2+C3, unter Berücksichtigung einer funktionalen Einheit für Wärmedämmung.....	159
Abbildung 40: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Massivbaustoffe (Stampflehm, CLT-Brettsperrholz, Stahlbeton): Kumulativer CO_2 Fluss (links), CO_2 in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts).....	160
Abbildung 41: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Dämmstoffprodukte: Kumulativer CO_2 Fluss (links), CO_2 in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)	161
Abbildung 42: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche End of Life Szenarien: Kumulativer CO_2 Fluss (links), CO_2 in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)	161
Abbildung 43: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Transportentfernungen verschiedener Dämmstoffe: Kumulativer CO_2 Fluss (links), CO_2 in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)	162
Abbildung 44: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Transportentfernungen ausschließlich für Wärmedämmung aus Einblasstroh: Kumulativer CO_2 Fluss (links), CO_2 in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)	162
Abbildung 45: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche Transportentfernungen ausschließlich für Stampflehm als typisch schwerer Baustoff: Kumulativer CO_2 Fluss (links), CO_2 in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts).....	163
Abbildung 46: Ergebnisse der Berechnung der Klimawirksamkeit mit dynamischen Indikatoren für unterschiedliche methodische Zugänge: Kumulativer CO_2 Fluss (links), CO_2 in der Atmosphäre (mittig) und der kumulative Strahlungsantrieb (rechts)	163

Abbildung 47: Anteil der Bauweise nach Bundesland für die neuerrichteten Gebäude von 2013 bis 2023 – in Prozent (Quelle: Statistik Austria, Sonderauswertung Gebäude- und Wohnungsregister)	167
Abbildung 48: Anteil der Bauweise nach Fertigstellungsjahr für neuerrichtete Gebäude von 2013 bis 2023 – in Prozent (Quelle: Statistik Austria, Sonderauswertung Gebäude- und Wohnungsregister)	167
Abbildung 49: Vergleich des Treibhausgaspotentials von Bauplatten (Quelle: Fa. Hart Keramik AG, Nature Plus Zertifizierung von LEMIX Lehmbauplatte durch das IBO-Wien, 2021).....	169
Abbildung 50: Holzblockwand eines ca. 600 Jahre alten Hauses im Weinviertel (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)	171
Abbildung 51: Wandaufbau aus Patent Nr. AT 520492 A1 2019-04-15. 1...Lehm Außen; 2...Holzkonstruktion, dazwischen Holzspäne; 3...Lehm Innen; 4...Hanf-Lehmschlämme mit Lehmstein	172
Abbildung 52: Außenwandbauteil - Verdichtung des Lehms mit Holzplatten (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)	173
Abbildung 53: Außenwandbauteil - Verdichtung des Lehms barfuß (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc).....	173
Abbildung 54: Österreichisches Texturdreieck (Quelle: ÖNORM L 1050).....	175
Abbildung 55: seitliche Ansicht eines Innenwandbauteils (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc)	181
Abbildung 56: Volumen der in Österreich im Jahr 2025 eingesetzten Estricharten (Quelle: Estrichmörtel-Marktstatistik für 2025, Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel (VDPM) gemeinsam mit B+L Marktdaten).....	185
Abbildung 57: Bauteilanschluss HLV und Dampfbremse synthetisch (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc).....	188
Abbildung 58: Feuchtetechnische Beurteilung unter Berücksichtigung eines Strömungspfad im Bauteil nach ÖNORM B 8110-2:2020 (Quelle: IBO, 2025)	189
Abbildung 59: Bauphysikalische und ökologische Bewertung einer Geschoßdecke (Quelle: dataholz.eu; Massivholzdecke gdmnxn02-02)	191
Abbildung 60: Standard-Trittschallpegel L'_{nT} der drei untersuchten Aufbauten und Vergleich Feld 1 mit IBO System	193
Abbildung 61: A6-Flyer zur Bewerbung des Grundkurs Lehmbau (Vor- und Rückseite)	200

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht OIB-Richtlinien.....	28
Tabelle 2: Bewertete Schalldämmmaße abhängig von Rohdichte und Wanddicke	31
Tabelle 3: Luftschalldämmung von aus Lehm errichteten Wandquerschnitten	31
Tabelle 4: Übersicht weltweit gültiger Lehmbaunormen.....	34
Tabelle 5: Prüfungen für „Im Werk hergestellte“ und „Vor Ort hergestellte“ Lehmprodukte	36
Tabelle 6: Zusammenstellung der Parameter, welche insbesondere für Böden gemäß ÖNORM EN 16907-2 geeignet sind	38
Tabelle 7: Korngrößengruppen und Mineralzusammensetzung.....	56
Tabelle 8: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort zur Bestimmung der Korngrößenverteilung.....	56
Tabelle 9: Schneideversuch	57
Tabelle 10: Trockenfestigkeit	57
Tabelle 11: Kugelfallprobe/Trockenfestigkeit	58
Tabelle 12: Reibeversuch	58
Tabelle 13: In Situ Korngrößenverteilung.....	58
Tabelle 14: Dilatanz	59
Tabelle 15: Zähigkeit	59
Tabelle 16: Verhalten an der Luft und im Wasser.....	60
Tabelle 17: Relevante Korngrößenfraktionen für den Baulehm	62
Tabelle 18: Form der Korngrößenverteilung.....	63
Tabelle 19: Vorschlag zur Klassifikation von „Korngrößenverteilung“	63
Tabelle 20: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort zur Bestimmung des organischen Anteils	64
Tabelle 21: Riechversuch.....	64
Tabelle 22: Farbbestimmung.....	65
Tabelle 23: Klassifizierung von organischen Bestandteilen in Böden mit einer Korngröße $\leq 2\text{mm}$	66
Tabelle 24: Klassifizierung von Böden mit organischer Beimengung.....	66
Tabelle 25: Vorschlag zur Klassifikation von „Organische Bestandteile“	66
Tabelle 26: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort zur Bestimmung des natürlichen Kalkgehalts	67
Tabelle 27: Kalkgehalt	67
Tabelle 28: Klassifizierung des natürlichen Kalkgehalts	67
Tabelle 29: Vorschlag zur Klassifikation von „Natürlicher Kalkgehalt“	68
Tabelle 30: Vorschlag zur Klassifikation von „Bauschädliche Salze“	69
Tabelle 31: Klassifizierung pH-Wert	69
Tabelle 32: Vorschlag zur Klassifikation von „pH-Wert“	70
Tabelle 33: Vorschlag zur Klassifikation von „Radioaktivität“	70
Tabelle 34: Vorschlag zur Klassifikation von „Trockenschwindmaß“	71
Tabelle 35: Typische Werte für w_L , w_P , IP in % für unterschiedliche Bodenarten.....	72
Tabelle 36: Benennung der Aktivität bindiger Böden	72
Tabelle 37: Zusammenstellung der Fließgrenze und Aktivitätszahl für unterschiedliche Mineralarten	72

Tabelle 38: Plastizität	73
Tabelle 39: Konsistenzzahl <i>IC</i> für die unterschiedlichen Zustandsformen im Boden	75
Tabelle 40: Vorschlag zur Klassifikation von „Plastizität“	75
Tabelle 41: Vorschlag zur Klassifikation von „Wassergehalt Normsteife“	76
Tabelle 42: Einfache Baulehmprüfungen vor Ort.....	76
Tabelle 43: Kugelformprobe.....	77
Tabelle 44: Vorschlag zur Klassifikation von „Bindekraft“	77
Tabelle 45: Vorschlag zur Klassifikation von „Biegezug- und Druckfestigkeit“	79
Tabelle 46: Zusammenfassung der Anforderungen an Baulehm	79
Tabelle 47: Mögliche Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation.....	82
Tabelle 48: Zusammenfassung der Anforderungen an Festmörtel für Lehmputz	85
Tabelle 49: Zusammenfassung der Anforderungen an Lehmmauermörtel.....	86
Tabelle 50: Zusammenfassung der Anforderungen an Lehmsteine	88
Tabelle 51: Mineralbestand der Baulehme BL01, BL05 und BL24	112
Tabelle 52: Typische Kennwerte für die unterschiedlichen Bodenarten	115
Tabelle 53: Ergebnisse Scherversuch und Bindekraftversuch.....	124
Tabelle 54: Klassifikation von Baulehm.....	128
Tabelle 55: Mögliche Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation.....	128
Tabelle 56: Mögliche Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation.....	129
Tabelle 57: Bauprodukte die einer Ökobilanz gemäß EN 15804 unterworfen wurden.....	155
Tabelle 58: Angenommene Transportentfernungen für die untersuchten Bauprodukte	156
Tabelle 59: Zugrunde gelegte Entsorgungsszenarien für die Baustoffe	157
Tabelle 60: Bauphysikalische Kennwerte des Außenwandbauteiles (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc, Kennwerte aus Prüfungen bei Holzforschung Austria, 2022 und MA39 Wien, 2024).....	172
Tabelle 61: Zeitangaben für die Anfertigung der Lehmmischung (Quelle: Mag. Andreas Breuss MSc, Holzbau Simlinger GmbH)	176
Tabelle 62: Vergleich der Trittschallwerte einer Hanf-Lehm- sowie einer Holz-Lehmschüttung (Quelle: HANFFASER Uckermark eG, Schallschüttung LS200*; Trittschallmessung Mock-Up** IBO, 2025)....	183
Tabelle 63: Differenzdruck der Dichtheit in der Fläche und inkl. Fugen bei unterschiedlichem Druck (Quelle: Prüfung Holzforschung Austria, gefördert von AWS Creativ Impact. Prototyp, 2022)	184
Tabelle 64: Vergleich GWP und Verbrauch unterschiedlicher Estricharten (Berechnung: A. Breuss)	186
Tabelle 65: Normensteckbrief zu ÖNORM EN 13914-2	220
Tabelle 66: Normensteckbrief zu Technischen Empfehlung Lehmputz	220
Tabelle 67: Normensteckbrief zu DIN 18940	221
Tabelle 68: Normensteckbrief zu DIN 18942-1	221
Tabelle 69: Normensteckbrief zu DIN 18942-100	221
Tabelle 70: Normensteckbrief zu DIN 18945	222
Tabelle 71: Normensteckbrief zu DIN 18946	222
Tabelle 72: Normensteckbrief zu DIN 18947	222
Tabelle 73: Normensteckbrief zu DIN 18948	223
Tabelle 74: Normensteckbrief zu DIN 18550-2	223

Tabelle 75: Normensteckbrief zu Technisches Merkblatt TM 05.....	223
Tabelle 76: Normensteckbrief zu NZS 4297	224
Tabelle 77: Normensteckbrief zu NZS 4298	224
Tabelle 78: Normensteckbrief zu NZS 4299	224
Tabelle 79: Normensteckbrief zu ASTM E 2392	225
Tabelle 80: Normensteckbrief zu NMAC 14.7.4	225
Tabelle 81: Normensteckbrief zu NTE E.080	225
Tabelle 82: Normensteckbrief zu IS 13827.....	225
Tabelle 83: Normensteckbrief zu NBC 204.....	226
Tabelle 84: Normensteckbrief zu ARS, Compressed Earth Blocks	226
Tabelle 85: Übersicht über den jeweiligen Anwendungsbereich (ARS 670 bis ARS 683)	227
Tabelle 86: Normensteckbrief zu SADC ZW HS 983	228
Tabelle 87: Ergebnisse zu den Handtests für Baulehm zum Vergleich Bindekraft – Direkter Scherversuch	228
Tabelle 88: Ergebnisse zu den Labortest für Baulehm zum Vergleich Bindekraft – Direkter Scherversuch	229
Tabelle 89: Ergebnisse zu den Handtests für Baulehm aus Bodenaushub/Schürfen.....	230
Tabelle 90: Ergebnisse zu den Labortests für Baulehm aus Bodenaushub/Schürfen	231
Tabelle 91: Ergebnisse zu den Handtests für Baulehm industriell aufbereitet, aus Lehmagerstätten und industriell aufbereitete Tone	232
Tabelle 92: Ergebnisse zu den Labortests für Baulehm industriell aufbereitet, aus Lehmagerstätten und industriell aufbereitete Tone	233
Tabelle 93: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmmörteltests industriell aufbereiteter Baulehme	234
Tabelle 94: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmmörteltests aus Baulehm-Abbaustätten im Sinne von MinroG.....	234
Tabelle 95: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmmörteltests aus Bodenaushub/Schürfen.....	235
Tabelle 96: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmmörteltests aus Bodenaushub/Schürfen.....	235
Tabelle 97: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmsteine im NF-Format.....	236

Literaturverzeichnis

- Abfallverzeichnisverordnung 2020. (2020). *Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über ein Abfallverzeichnis*.
- Abfallwirtschaftsgesetz. (i.d.g.F.). *Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (AWG 2002)*.
- Arehart, J., Hart, J., Pomponi, F., & D'Amico, B. (2021). Carbon sequestration and storage in the built environment. *Sustainable Production and Consumption*. Vol 27 <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.028>, S. 1047–1063.
- ARS 67x. (1996). *Compressed Earth Blocks*. Nairobi: ARSO.
- ASTM E 2392. (2010). *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems*. Pennsylvania: ASTM.
- BauPVO. (2024). Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten (Bauprodukteverordnung – CPR).
- Berardi, U. (2017). A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resour. Conserv. Recycl.* Vol 123, <https://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.014>, S. 230–241.
- BMK. (2023). *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023 – Teil 1 (Bericht gemäß § 8 AWG 2002)*. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.
- BMK. (2026). *Aushubverordnung über die Verwertung und das Abfallende bestimmter Aushubmaterialien*. BGBl. II Nr. XXX/2026. Wien.
- Boley, C. (2019). *Handbuch Geotechnik, Grundlagen - Anwendungen - Praxiserfahrungen*. Wiesbaden: Springer Vieweg .
- Breton, C., Blanchet, P., Beauregard, R., & Chang, W.-S. (2020). Assessing the Climate Change Impacts of Biogenic Carbon in Buildings: A critical Review of Two Main Dynamic Approaches. *Sustainability* 10 (6) <https://doi.org/10.3390/su10062020>, S. 1-30.
- Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023. (2023). *BM für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie*. Wien.
- Bundesvergabe-gesetz. (2018). *Bundesgesetz über die Vergabe von Aufträgen (BVerG 2018)*.
- Carbon, Z. (2017). *Zero Carbon Industry Plan. Rethinking Cement*. Australia: Cero Carbon.
- Cherubini, F., Bright, R., & Stromman, A. (2012). Site-specific global warming potentials of biogenic CO₂ for bioenergy: contributions from carbon fluxes and albedo dynamics. *Environmental Research Letters*. *Environmental Research Letters* Vol 7(4), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045902>.
- Cherubini, F., Stromman, A., & Hertwich, E. (2011). Effects of boreal forest management practices on the climate impact of CO₂ emissions from bioenergy. *Ecological Modelling* Vol 223(1), S. 59–66.

- Deponieverordnung. (i.d.g.F.). *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008)*.
- DGNB. (2021). *Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden*. Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen.
- Dierks, K., Schulz, J.-U., Ziegert, C., Kammel, A., Dahlhaus, U., & Schlenker, T. (1998). *Lehmbau - In Theorie und Praxis*. Berlin: TU Berlin, Seminarunterlagen.
- DIN 18129. (2011). *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Kalkgehaltsbestimmung*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 18550-2. (2018). *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen - Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 18940. (2024). *Tragendes Lehmsteinmauerwerk - Bemessung, Konstruktion und Ausführung*. Berlin.
- DIN 18942-1. (2024). *Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 1: Begriffe*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 18945. (2024). *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 18946. (2023). *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 18947. (2024). *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 18952, Blatt 2. (1956 (zurückgezogen 1971)). *Lehmbau – Baulehm – Prüfung von Baulehm*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 4102-1. (1998). *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 4102-4. (2016). *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 4108-4. (2020). *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte*. Wien: Beuth-Verlag.
- DIN 4109-1. (2018). *Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 4109-2. (2018). *Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen*. Berlin: Beuth-Verlag.
- Dolezal, F., Dobra, T., Boogman, P., & Neumann, M. (2024). A novel concept for dynamic evaluation of the carbon sequestration performance of sawnwood considering different forest and climate scenarios. *Austrian Journal of Forest Science Vol 141:4*
<https://doi.org/10.53203/fs.2404.3>, 289-312.
- DVL TM 05. (2011). *Qualitätsüberwachung von Baulehm*. Weimar: Dachverband Lehm e.V.
- EC. (2010). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- general guide for life cycle assessment - detailed guidance. Joint Research Centre-Institute for Environment and Sustainability*. Luxembourg: Publications Office of the European Commission.

- FprEN16485. (2025). *Round and sawn timber - Environmental Product Declarations - Product category rules for wood and wood-based products for use in construction*. Brussels: European Committee for Standardization.
- Goedkoop, M., de Beer, I., Harmens, R., & Saling, P. (2020). *Methodology Report Product Social Impact Assessment*. Amersfoort.
- Guest, G., Cherubini, F., & Stromman, A. (2012). Global Warming Potential of Carbon Dioxide Emissions from Biomass Stored in the Anthroposphere and Used for Bioenergy at End of Life. *Journal of Industrial Ecology Vol 17(1)*: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00507.x>.
- Guest, G., Cherubini, F., & Stromman, A. (2012). The role of forest residues in the accounting for the global warming potential of bioenergy. *GCB Bioenergy Vol 5(4)*, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12014>, S. 459–466.
- Holtmark, B. (2014). Comparison of the global warming effects of wood fuels and fossil fuels taking albedo into account. *GCB Bioenergy Vol 7(5)*, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12200>, S. 984–997.
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IS 13827. (1993). *Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines*. New Dehli: BIS.
- Jones, K., Stegemann, J., Sykes, J., & Winslow, P. (2016). Adoption of unconventional approaches in construction: The case of cross-laminated timber. *Constr. Build. Material Vol 125*, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.088>, S. 690–702.
- Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., Haas, W., Tanikawa, H., & Fishman, T. (2017). Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *Proceedings of the National Academy of Sciences. PNAS Vol 114(8)*, <https://doi.org/10.1073/pnas.161>, S. 1880–1885.
- Lashof, D., & Ahuja, D. (1990). Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. *Nature Vol 344*, S. 529–531.
- Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., Deschenes, L., & Samson, R. (2010). Considering time in LCA: dynamic LCA and its application to global warming impact assessments. *Environmental Science & Technology 44(8)* <https://doi.org/10.1021/es9030003>, S. 3169–74.
- Mineralrohstoffgesetz. (i.d.g.F.). *Bundesgesetz über mineralische Rohstoffe (MinroG)*.
- Minke, G. (2009). *Handbuch Lehmabau: Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur*. Ökobuch.
- Mostert, C., Glanz, D., Weishaar, H., Sameer, H., & Bringezu, S. (2024). *Kumulierter Rohstoffaufwand - Anwendbarkeit von Indikatoren für den Kumulierten Rohstoffaufwand im BNB und QNG Endbericht*. Forschungsprogramm Zukunft Bau 10.08.17.7-21.56.
- NBC 204. (2015). *Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building (Eb)*. Kathmandu: Ministry of Housing and Physical Planning.
- Niemeyer, R. (1987). *Der Lehmabau und seine praktische Anwendung*. Freiburg: Ökobuch Verlag.
- NMAC 14.7.4. (2015). *Housing and construction, Building codes general, New Mexico earthen building materials code*. Santa Fe: CID.

- NTE E.080. (2017). *Diseño y construcción con tierra reforzada*. Lima: SENCICO.
- NZS 4297. (2020). *Engineering design of earth buildings*. Wellington: NZSO.
- NZS 4298. (2020). *Materials and workmanship for earth buildi*. Wellington: NZSO.
- NZS 4299. (2020). *Earth buildings not requiring specific design*. Wellington: NZSO.
- ÖNORM A 2050. (2006). *Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibungen, Angebot, Zuschlag*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 1996-3. (2016). *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten - Nationale Festlegungen und Ergänzungen zur ÖNORM EN 1996-3*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 1997-2. (2017). *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-2 und nationale Ergänzungen*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 3131. (2016). *Gesteinskörnungen für Beton – Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12620*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 3136. (2006). *Leichte Gesteinskörnungen - Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13055-1*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 3140. (2020). *Rezyklierte Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Anwendungen sowie für Beton*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 3141. (2024). *Herstellung von Recycling-Baustoffen aus Aushubmaterialien - Anforderungen*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 3200. (2016). *Mauerziegel – Anforderungen, Prüfungen, Klassifizierung und Kennzeichnung –*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 3230-1. (Normvorschlag). *Bauprodukte aus Lehm, Teil 1: Lehmsteine - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 3230-2. (Normvorschlag). *Bauprodukte aus Lehm, Teil 2: Lehmmauermörtel - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 3230-3. (Normvorschlag). *Bauprodukte aus Lehm, Teil 3: Lehmputzmörtel - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 3230-4. (Normvorschlag). *Bauprodukte aus Lehm, Teil 4: Lehmplatten - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM B 3346. (2019). *Putzmörtel - Regeln für die Verwendung und Verarbeitung*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 3355. (2017). *Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk - Bauwerksdiagnose, Planungsgrundlagen, Ausführungen und Überwachung*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 3358. (2013). *Nichttragende Innenwandsysteme*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 3691. (2019). *Planung und Ausführung von Dachabdichtungen*. Wien: Austrian Standards Institute.

- ÖNORM B 3692. (2014). *Planung und Ausführung von Bauwerksabdichtungen*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 4418. (2019). *Geotechnik - Durchführung von Proctorversuchen im Erdbau unter Einbeziehung der ÖNORM EN 13286-2*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 4810. (2024). *Mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Frostsicherheit von Gemischen für ungebundene Tragschichten im Straßen- und Flugplatzbau - Prüfverfahren*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM B 8115 (alle Teile). (2011). *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 1015-11. (2020). *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 1015-2. (2007). *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 2: Probenahme von Mörteln und Herstellung von Prüfmörteln (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 1052-1. (1999). *Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 1052-2. (2017). *Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 2: Bestimmung der Biegezugfestigkeit*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 12390-16. (2019). *Prüfung von Festbeton - Teil 16: Bestimmung des Schwindens von Beton*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 12620. (2014). *Gesteinskörnungen für Beton*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 12878. (2014). *Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen - Anforderungen und Prüfverfahren*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 13055. (2021). *Leichte Gesteinskörnungen*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 13139. (2014). *Gesteinskörnungen für Mörtel*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 13454-2. (2019). *Calciumsulfat-Binder für Estriche - Teil 2: Prüfverfahren*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 1367. (kein Datum). *Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 13914-2. (2016). *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Innenputze*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 14024. (2018). *Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltkennzeichnung Typ I - Grundsätze und Verfahren*.
- ÖNORM EN 14067. (2018). *Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ÖNORM EN 15978-1. (2021). *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden - Teil 1: Umweltqualität*. Wien: Austrian Standards Institute.

- ÖNORM EN 16309. (2014). *Sustainability of construction works. Assessment of social performance of buildings. Calculation methodology*. Brussels: European Committee for Standardization.
- ÖNORM EN 16627. (2015). *Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods*. Brussels: European Committee for Standardization.
- ÖNORM EN 16907-2. (2019). *Erdarbeiten - Teil 2: Materialklassifizierung*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 1744-1. (2013). *Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Chemische Analyse*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 1990. (2024). *Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 1996-3. (2009). *Eurocode 6 - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 771-1. (2015). *Festlegung für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 772-1. (2015). *Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN 933. (kein Datum). *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN 998-1. (2017). *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 1: Putzmörtel*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN ISO 10390. (2022). *Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung des pH-Werts*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM EN ISO 12572. (2017). *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit - Verfahren mit einem Prüfgefäß*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 14688-1. (2020). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 14688-2. (2019). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 17892-1. (2015). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 17892-10. (2016). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 3: Bestimmung der Korndichte*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 17892-10. (2019). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 10: Direkte Scherversuch*. Wien: Austrian Standards.

- ÖNORM EN ISO 17892-11. (2021). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (ISO 17892-11:2019)*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 17892-12. (2018). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen*. Wien: Austrian Standard Institute.
- ÖNORM EN ISO 17892-4. (2017). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung*. Wien: Austrian Standard Institute.
- ÖNORM EN ISO 17892-5. (2023). *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 5: Oedometerversuch mit stufenweiser Belastung (ISO 17892-5:2017)*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM EN ISO 18589-3. (2024). *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt - Erdboden - Teil 3: Messung von Gammastrahlen emittierenden Radionukliden mittels Gammaskpektrometrie (ISO 18589-3:2023)*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM L 1080. (2021). *Boden- und Abfallbeschaffenheit - Bestimmung des organischen Kohlenstoffs und des Humusgehalts durch trockene Verbrennung unter Berücksichtigung der Carbonate und des elementaren Kohlenstoffs*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM L 1131. (2010). *Gartengestaltung und Landschaftsbau – Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken – Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM S 2074-2. (2023). *Geotechnik im Deponiebau - Teil 2: Erdarbeiten*. Wien: Austrian Standards.
- ÖNORM S 2126. (2016). *Charakterisierung von Aushubmaterial vor Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit*. Wien: Austrian Standards Institute.
- ÖNORM S 5280-2. (2021). *Radon - Teil 2: Bautechnische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden*. Wien: Austrian Standards.
- Röhlen, U., & Ziegert, C. (2020). *Lehmbau-Praxis: Planung und Ausführung*. Berlin: Beuth Verlag.
- SADC ZW HS 983. (2014). *Rammed earth structures – Code of practice*. Harare: SAZ.
- Schröder, H. (2019). *Lehmbau, Mit Lehm ökologisch planen und bauen*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Statistik Austria. (2025). *Wohnen 2024. Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnstatistik*. Wien: Verlag Österreich GmbH.
- Technische Empfehlung, Lehmputze – Teil 1: im Werk hergestellte Lehmputzmörtel*. (2024). Wien: Netzwerk Lehm.
- UBA. (2017). *Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten in Innenräumen – AgBB-Schema*. Desslau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- UN. (2015). *United Nations: Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*.
- UNEP. (2009). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. United Nations Environment Programme*. ISBN: 978-92-807-3021-0: United Nations Environment Programme.

UNSTATS. (2015). *SDG*. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>: United Nations General Assembly.

Volhard, F. (2021). *Bauen mit Leichtlehm*. Basel: Birkhäuser Verlag.

Volhard, F., & Röhlen, U. (2009). *Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile* (3. Ausg.). Braunschweig: Springer Vieweg Verlag.

11 Anhang

Tabelle 65: Normensteckbrief zu ÖNORM EN 13914-2

Nummer	
Titel	<i>Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen; Teil 2: Innenputze</i>
Herausgeber, Jahr	<i>Austrian Standards, 2017</i>
Anwendungsbereich	<i>Diese Europäische Norm behandelt die Planung und wesentliche Grundsätze für Innenputzsysteme sowie für die Ausführung von Innenputzsystemen.</i> <i>Die einzelnen Abschnitte der Normenreihe EN 13914 legen Anforderungen an und Empfehlungen für die Detailausführung, für die Planung und die Auswahl der Materialien, für die Auswahl von Putzmischungen sowie für das Auftragen von Gipsputz, Gipskalkputz, Leichtputz, Putzen auf Kalkgips-, Kalk-, Zement- und Kalkzementbasis, Lehmputze, Silikatputze, organisch gebundene Putze, polymermodifizierte Putze, usw., fest. [...]</i> <i>Aufgrund der zahlreichen und unterschiedlichen Materialien und Arbeitsweisen und unterschiedlicher klimatischer Bedingungen in Europa ist es nicht möglich, zu bestimmten Gesichtspunkten dieser Norm genügend Einzelheiten anzugeben, um den Anwendern in jedem Land umfassende Verwendbarkeit zu bieten. Eine geeignete Anleitung für die Ergänzung grundsätzlicher europäischer Empfehlungen, nicht jedoch für deren Änderung, gibt es in den von den einzelnen Ländern ausgearbeiteten Dokumentationen. [...]</i>
Schlagwörter	<i>Lehmputze, Innenbereich</i>

Tabelle 66: Normensteckbrief zu Technischen Empfehlung Lehmputz

Nummer	
Titel	<i>Technische Empfehlung Lehmputze - Teil 1: im Werk hergestellte Lehmputzmörtel (Lehmwerkmörtel)</i>
Herausgeber, Jahr	<i>Netzwerk Lehm, 2024</i>
Anwendungsbereich	<i>Dieses Dokument enthält ergänzende Festlegungen und Empfehlungen zu ÖNORM EN 13914-2 für den Lehmputz und gilt nur in Verbindung mit dieser.</i> <i>Der Anwendungsbereich dieses Dokumentes entspricht dem von ÖNORM EN 13914-2:2017. Darüber hinaus gilt dieses Dokument auch für die Verwendung von Putzen nach ÖNORM EN 998-1 und ÖNORM EN 15824 auf Wänden und Decken von Baukörpern, die den geltenden Normen, insbesondere ÖNORM EN 1992-1-1, ÖNORM EN 1996-1-1, ÖNORM B 3358 entsprechen und kann sinngemäß auch auf ähnliche Putzgründe, z. B. bei Altbauten, angewendet werden.</i> <i>Dieses Dokument enthält keine Anforderungen für die Planung, Zubereitung und Ausführung von Lehmputzen aus Aushubmaterial.</i> <i>Dieses Dokument ist nur gültig für Putze, deren alleiniges Bindemittel Ton ist. Eine Stabilisierung ist ausschließlich mechanisch durch biogene Faserstoffe zulässig.</i>
Schlagwörter	<i>Lehmputz, Putzsysteme, Trocknung, Oberflächengüte</i>

Tabelle 67: Normensteckbrief zu DIN 18940

Nummer	
Titel	<i>Tragendes Lehmsteinmauerwerk - Bemessung, Konstruktion und Ausführung</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Dieses Dokument legt die Anforderungen, Einsatzbereiche und Leistungsmerkmale fest, die bei der Bemessung, Konstruktion und Ausführung von tragendem Lehmsteinmauerwerk beim Neubau zu berücksichtigen sind.</i> <i>Dieses Dokument ist anwendbar für tragende Wände aus Lehmsteinmauerwerk außerhalb von Hochwasser- und/oder Überschwemmungsgebieten.</i> <i>[...]</i> <i>Das Dokument legt ein Verfahren für die Bemessung für tragendes Lehmsteinmauerwerk für Gebäude mit einer maximalen Höhe von 13,0 m fest.</i> <i>Baustoffe für tragendes Lehmsteinmauerwerk nach diesem Dokument sind Lehmsteine nach DIN 18945 und Lehmmauermörtel nach DIN 18946. Lehmsteinmauerwerk unter Verwendung von Normalmörtel ist nicht Gegenstand dieses Dokuments.</i> <i>Für nichttragendes Lehmsteinmauerwerk sind die Lehmbau Regeln anwendbar</i>
Schlagwörter	<i>Bemessung, Konstruktion und Ausführung von tragendem Lehmsteinmauerwerk</i>

Tabelle 68: Normensteckbrief zu DIN 18942-1

Nummer	
Titel	<i>Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Dieses Dokument legt Begriffe für die Anwendung der Normen für Lehmbaustoffe nach DIN 18945, DIN 18946, DIN 18947 sowie DIN 18948 fest.</i>
Schlagwörter	<i>Begriffe für den Lehmbau</i>

Tabelle 69: Normensteckbrief zu DIN 18942-100

Nummer	
Titel	<i>Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Dieses Dokument legt Anforderungen an die Konformitätsbewertung von Lehmbaustoffen nach DIN 18945, DIN 18946, DIN 18947 und DIN 18948 fest.</i>
Schlagwörter	<i>Konformität, Erstprüfung, laufende Kontrolle</i>

Tabelle 70: Normensteckbrief zu DIN 18945

Nummer	
Titel	<i>Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Diese Norm legt Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmsteine für tragendes und nichttragendes Mauerwerk fest. Im Werk hergestellte Lehmsteine werden vorwiegend bei der Erstellung von Außen- und Innenwänden sowie für Ausfachungen angewendet. Für die Anwendung gelten die Lehmbau-Regeln [1].</i> <i>Diese Norm gilt nicht für stabilisierte Lehmsteine.</i>
Schlagwörter	Lehmstein, Produktnorm

Tabelle 71: Normensteckbrief zu DIN 18946

Nummer	
Titel	<i>Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Diese Norm legt Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmmauermörtel (Lehmwerkmörtel) zur Herstellung von tragendem und nichttragendem Lehmsteinmauerwerk fest. Für die Anwendung von Lehmmauermörtel gelten die Lehmbau Regeln [1].</i> <i>Diese Norm gilt nicht für stabilisierte Lehmmauermörtel.</i> <i>Diese Norm gilt ebenfalls nicht für Lehmbaustellenmörtel.</i>
Schlagwörter	Lehmmauermörtel, Lehmsteinmauerwerk, Produktnorm

Tabelle 72: Normensteckbrief zu DIN 18947

Nummer	
Titel	<i>Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Diese Norm legt Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmputzmörtel (Lehmwerkmörtel) zum Verputzen von Wänden und Decken im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich fest. Lehmputzmörtel können im Außenbereich unter Umständen auch als Unterputz von witterungsbeständigem Oberputz eingesetzt werden.</i> <i>Diese Norm gilt für Lehmputzmörtel mit Auftragsdicken von mindestens 3 mm.</i> <i>Diese Norm gilt nicht für Lehmdünnlagenbeschichtungen mit Auftragsdicken von weniger als 3 mm Dicke.</i> <i>[...]</i> <i>Diese Norm gilt nicht für stabilisierte Lehmputzmörtel.</i> <i>Diese Norm gilt ebenfalls nicht für Lehmbaustellenmörtel.</i>
Schlagwörter	Lehmputzmörtel, Produktnorm.

Tabelle 73: Normensteckbrief zu DIN 18948

Nummer	
Titel	<i>Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Diese Norm legt Anforderungen, Einsatzbereiche, Leistungsmerkmale, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmplatten, die in Bauwerken verwendet werden, fest.</i> <i>Lehmplatten [...] sind sowohl plattenförmige Baustoffe, die ohne Unterkonstruktion beispielsweise für nichttragende Wände vermauert und verklebt werden können, als auch dünne Lehmplatten zum Bekleiden und im Trockenbau. Lehmplatten im Sinne dieser Norm sind [...] dünne Lehmplatten.</i> <i>Diese Norm gilt nicht für mit Lehmputzen oder Lehmdünnlagenbeschichtungen beschichtete Platten aus anderen Baustoffen.</i>
Schlagwörter	Lehmplatten, Innenbereich, Produktnorm

Tabelle 74: Normensteckbrief zu DIN 18550-2

Nummer	
Titel	<i>Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze</i>
Herausgeber, Jahr	Beuth-Verlag, 2023
Anwendungsbereich	<i>Diese Norm enthält ergänzende Festlegungen und Empfehlungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 und gilt nur in Verbindung mit dieser.</i> <i>[...] Oberflächenbehandlungen von Bauteilen, wie z. B. Wischputz, Schlämmputz, Bestich sowie Rappputz sind keine Putze im Sinne dieser Norm.</i>
Schlagwörter	Lehmputz

Tabelle 75: Normensteckbrief zu Technisches Merkblatt TM 05

Nummer	
Titel	<i>Technisches Merkblatt 05 - Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaustoffe – Richtlinie</i>
Herausgeber, Jahr	Dachverband Lehm e.V., 2011
Anwendungsbereich	<i>Diese Richtlinie gilt für die Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaustoffe für den Hochbau. [...]</i> <i>Die Zertifizierungs- und Überwachungsstelle für die Lehmbauprodukte kann bei erheblichen Schwankungen in der Produktqualität der Lehmbauprodukte dem Hersteller die Anwendung dieser Richtlinie anordnen.</i> <i>Für die Eignungsprüfung von Baulehm gelten die Lehmbau Regeln [1]</i>
Schlagwörter	Eignungsprüfung, Qualitätsüberwachung

Tabelle 76: Normensteckbrief zu NZS 4297

Nummer	
Titel	<i>Engineering design of earth buildings</i>
Herausgeber, Jahr	Standards New Zealand, 2024
Anwendungsbereich	<i>The scope of this standard is limited to reinforced earth construction with unfired earth wall building materials defined herein as adobe, pressed brick, cob, poured earth, in-situ adobe, or rammed earth and which contain clay and silt and which largely rely on the clay particles present to achieve satisfactory performance with or without chemical stabilisation, including cement. [...]</i> <i>The dry density of earth materials shall be from 800kg/m³ to 2200kg/m³. Earth construction in accordance with this standard shall not exceed 6.0 m in height from the top of the foundation to the top of the earth wall. Building layout above an earth walled ground floor shall be limited to a timber first floor, timber walls second storey up to 4.0m high, and a light roof. [...]</i>
Schlagwörter	Bemessung auf Tragverhalten, Dauerhaftigkeit, Feuerwiderstand, Verstärkungen, Gründung

Tabelle 77: Normensteckbrief zu NZS 4298

Nummer	
Titel	<i>Materials and construction for earth buildings</i>
Herausgeber, Jahr	Standards New Zealand, 2024
Anwendungsbereich	<i>This standard sets out requirements for the materials and construction requirements for the use of unfired earth in the form of adobe, pressed earth brick, rammed earth, cob, poured earth, and in-situ adobe including both low-density earth and heavy earth. It also includes a section on surface coatings. [...]</i>
Schlagwörter	Planung und Konstruktion, Material- und Konstruktionsangaben, Stampflehm, Lehmstein, Wellerlehm

Tabelle 78: Normensteckbrief zu NZS 4299

Nummer	
Titel	<i>Earth buildings not requiring specific engineering design</i>
Herausgeber, Jahr	Standards New Zealand, 2024
Anwendungsbereich	<i>[...] This standard sets out construction requirements for adobe brick, cob, pressed earth brick, or rammed earth buildings, [...]. Earth building materials density ranges from 800 kg/m³ to less than 1400 kg/m³ for low-density earth, and from 1400 kg/m³ to 2200 kg/m³ for heavy earth.</i>
Schlagwörter	<i>Ausführung von Lehmbauwerken</i>

Tabelle 79: Normensteckbrief zu ASTM E 2392

Nummer	
Titel	<i>Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems</i>
Herausgeber, Jahr	ASTM International, 2023
Anwendungsbereich	<i>This standard provides guidance for earthen building systems, also called earthen construction, and addresses both technical requirements and considerations for sustainable development. Earthen building systems include adobe, rammed earth, cob, cast earth, and other earthen building technologies used as structural and non-structural wall systems.</i>
Schlagwörter	Allgemeiner Standard zum Lehmbau

Tabelle 80: Normensteckbrief zu NMAC 14.7.4

Nummer	
Titel	<i>Earthen building materials code</i>
Herausgeber, Jahr	<i>Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department, 2016</i>
Anwendungsbereich	<i>This rule applies to all earthen building materials contracting work performed in New Mexico on or after November 15, 2016, that is subject to the jurisdiction of CID, unless performed pursuant to a permit for which an application was received by CID before that date.</i>
Schlagwörter	<i>Baulehm, Materialanforderungen, Planung, Ausführung, Details, Stampflehm, Lehmstein, CEB</i>

Tabelle 81: Normensteckbrief zu NTE E.080

Nummer	
Titel	<i>Diseño y construcción con tierra reforzada</i>
Herausgeber, Jahr	<i>Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2020</i>
Anwendungsbereich	<i>La norma es de alcance nacional y su aplicación es obligatoria para la elaboración de materiales de construcción para edificaciones de tierra reforzada (adobe reforzado y tapial reforzado).</i>
Schlagwörter	<i>Erdbebensicheres Bauen, Lehmstein, Stampflehm</i>

Tabelle 82: Normensteckbrief zu IS 13827

Nummer	
Titel	<i>Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines</i>
Herausgeber, Jahr	Bureau of Indian Standards (BIS), 1993
Anwendungsbereich	<i>The guidelines covered in this standard deal with the design and construction aspects for improving earthquake resistance of earthen houses, without the use of stabilizers, such as cement, lime, asphalt, admixtures, etc. [...]</i>
Schlagwörter	<i>Erdbebensicheres Bauen</i>

Tabelle 83: Normensteckbrief zu NBC 204

Nummer	
Titel	<i>Guidelines for earthquake resistant building construction earthen building</i>
Herausgeber, Jahr	<i>Ministry of Urban Development of Nepal, 2015</i>
Anwendungsbereich	<i>The guidelines deal with the design and construction aspects for improving earthquake resistance of earthen houses, without the use of stabilizers, such as cement, lime, asphalt, admixtures, etc. EB buildings required to conform to this Guidelines shall not exceed one storey in height plus an additional attic floor.</i>
Schlagwörter	Erdbebensicheres Bauen

Tabelle 84: Normensteckbrief zu ARS, Compressed Earth Blocks

Nummer	
Titel	<i>Compressed Earth Blocks</i>
Herausgeber, Jahr	African Regional Organisation for Standardisation (ARSO), 1996
Anwendungsbereich	Siehe Tabelle 85
Schlagwörter	Compressed earth blocks (CEBs) (= gepresster Lehmstein)

Tabelle 85: Übersicht über den jeweiligen Anwendungsbereich (ARS 670 bis ARS 683)

ARS	Anwendungsbereich ¹⁶⁸
	<i>„The aim of the present standard is to define ...</i>
670	<i>the principle terms applying to compressed earth block technology (CEB) “</i>
671	<i>compressed earth blocks (CEBs), to classify them according to their typology, their appearance, their conditions of use, and to determine the categories into which they fall as well as their designations. “</i>
672	<i>earth mortars (EMs), to classify them according to their appearance, their conditions of use, and to determine the categories into which they fall as well as their designations. “</i>
673	<i>various forms of compressed earth block masonry (CEBM), to classify them according to their appearance, their conditions of use, and to determine the categories into which they fall as well as their designations. “</i>
674	<i>the requirements applicable to ordinary compressed earth blocks (CEB O). “</i>
675	<i>the requirements applicable to facing compressed earth blocks (CEB F). “</i>
676	<i>the requirements applicable to ordinary earth mortars (EM O). “</i>
677	<i>the requirements applicable to facing earth mortars (EM F). “</i>
678	<i>the requirements applicable to ordinary compressed earth block masonry (CEBM O) intended to be covered. The covering can be a wash, a fine or a thick render or another kind of protection or decoration. It is generally intended to protect against the effects of water or mechanical abrasion but could also have an aesthetic role. “</i>
	<i>„This code of practice describes the state of the art relating to...</i>
679	<i>the requirements applicable to facing compressed earth block masonry (CEBM F) intended to remain visible. “</i>
680	<i>manufacture of compressed earth blocks (CEBs), such as it is known in the light of the current state of the technique. “</i>
681	<i>manufacture of earth mortar (EM), such as it is known in the light of the current state of the technique. “</i>
682	<i>assembly of compressed earth blocks masonry (CEBM), such as it is known in the light of the current state of the technique. “</i>
683	<i>„The aim of the present document is to enumerate the tests required to determine the characteristics specified in all of the standards relating to compressed earth block technology, to determine their nature (quantitative and qualitative), the place where they are carried out (at the quarry, in the workshop, on site or in a laboratory) and their character (optional or recommended) and to give indications relating to sources of information on their modes of operation.“</i>

¹⁶⁸ ARS 670 bis 683:1996, Abschnitt 1.1

Tabelle 86: Normensteckbrief zu SADC ZW HS 983

Nummer	
Titel	<i>Rammed earth structures – Code of practice</i>
Herausgeber, Jahr	<i>Standards Association of Zimbabwe (SAZ), 2014</i>
Anwendungsbereich	<i>This code of practice gives guidance on the design, construction and test methods for rammed earth structures</i>
Schlagwörter	<i>Stampflehm</i>

Tabelle 87: Ergebnisse zu den Handtests für Baulehm zum Vergleich Bindekraft – Direkter Scherversuch

	BL07	BL09	BL10	BL10	BL11	BL12
Schneidetest	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Si
Trockenfestigkeit	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
Griffigkeit	Cl	Cl	Cl	Cl/Si	Cl	Si
KGV: Gr/Sa/<Si	0/0/100%	100%	100%	100%	0/1/99%	0/80/20%
Dilatanz	Cl	Cl	Cl	Si	Cl	Si
Zähigkeit	Cl	Cl	Cl/Si	Cl/Si	Cl	Si
Verhalten im Wasser	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Si
Verhalten an der Luft	Cl	-	-	-	-	Si
kalkhaltig (aufbrausen)	kein	leicht	schwach	deutlich	schwach	deutlich
Geruchstest	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.
Farbtest	grau/schwarz	grau	grau	grau	grau	hellbraun
Kugelformtest	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Si
Plastizität (plastisch, Cl/Si)	hoch	mittel	mittel	gering	hoch	nicht

Tabelle 88: Ergebnisse zu den Labortest für Baulehm zum Vergleich Bindekraft – Direkter Scherversuch

	BL07	BL09	BL10	BL10	BL11	BL12
Kies Gr	0,0%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
Sand Sa	9,4%	12,2%	5,0%	15,4%	5,1%	71,8%
Schluff Si	58,0%	87,5%	69,3%	69,8%	43,5%	27,3%
Ton Cl	32,6%	0,0%	25,6%	14,8%	51,4%	0,8%
Gemischform	feink.	feink.	feink.	feink.	feink.	gemk.
Beschreibung	cl Si	sa Si	cl Si	cl'saSi	Si Cl	si Sa
C_u	-	3,0	-	-	-	7,2
C_c	-	1,0	-	-	-	1,9
Form der KGV	-	eng	-	-	-	mäßig/weit
Gehalt an organischen Substanzen	-	-	-	-	-	-
Nitrate	-	-	-	-	-	-
Sulfate	-	-	-	-	-	-
Chloride	-	-	-	-	-	-
Gesamtsalzgehalt	-	-	-	-	-	-
Kontrolle Bindekraft [%]	26%	7%	25%	17%	37%	100%
Bindekraft [g/cm²]	360,4	84,7	302,6	189,3	381,8	60,0
Wassergehalt Normsteife w_{norm} [%]	31,6	20,6	25,9	19,5	26,1	16,8
Baulehmklassifikation	Ton	mager	sehr fett	fast fett	Ton	sehr mager
Rohdichte [kg/m³]	-	-	-	-	-	-
Lineares Trockenschwindmaß	-	-	-	-	-	-
Baulehmklassifikation	-	-	-	-	-	-
Biegezugfestigkeit [N/mm²]	-	-	-	-	-	-
Druckfestigkeit [N/mm²]	-	-	-	-	-	-
Faktor Druckfestigkeit/Biegezugfestigkeit	-	-	-	-	-	-
Fließgrenze w_L	-	-	62,5%	48,0%	67,5%	-
Ausrollgrenze w_p	-	-	24,0%	21,5%	24,5%	-
Plastizitätszahl I_p	-	-	38,5%	26,5%	43,0%	-
Bodenbezeichnung	-	-	CIH	CIM	CIH	-

Tabelle 89: Ergebnisse zu den Handtests für Baulehm aus Bodenaushub/Schürfen

	BL05	BL06	BL25	BL13	BL14	BL15	BL16	BL17	BL18	BL19	BL24
Schneidet.	Cl/Si	cl'sa'Si	-	Si	Si	cl'sa'Si	cl'sa'Si	Cl	Si	-	Cl
Trockenf.	Cl	Si	Si	Cl	Cl	-	Cl	Cl	Cl	Cl	-
Griffigkeit	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl/Si	Cl	Si	Cl	Cl
Gr/Sa/<Si	10/60/30	0/70/30	0/0/100	0/80/20	5/60/35	0/20/80	15/35/50	60/10/30	15/55/30	0/5/95	0/1/99
Dilatanz	Cl	Si	Si	Si	Si	cl'sa'Si	Cl	Cl	Si	Cl	Cl
Zähigkeit	Cl/Si	Si	Si	Cl/Si	Si	Cl/Si	Cl	Cl	Cl/Si	Cl	Cl
im Wasser	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl	Cl	Si	Cl	Cl
an der Luft	Cl	Si	Si	Si	-	Si	Cl/Si	Cl	Si	Cl	Cl
kalkhaltig	deutlich	deutlich	deutl/stark	deutlich	deutl/stark	schwach	kein	kein	kein	schwach	-
Geruchst.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.
Farbtest	bräunlich	gräulich	hell- bräunlich	hell- grau- bräunlich	Dunkelbr.	braun	rot	(hell)braun	bräunlich	bräunlich	graubraun
Kugelformt.	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl/Si	Cl	Si	Cl	Cl
Plastizität											
(plastisch)	mittel	nicht	nicht (Si)	gering	gering	mittel	mittel	mittel/hoch (Cl)	mittel	hoch (Cl)	hoch (Cl)

Tabelle 90: Ergebnisse zu den Labortests für Baulehm aus Bodenaushub/Schürfen

	BL05	BL06	BL25	BL13	BL14	BL15	BL16	BL17	BL18	BL19	BL24
Gr	6,4%	0,3%	0,0%	0,0%	1,9%	25,6%	24,5%	78,1%	2,8%	0,4%	0,3%
Sa	15,9%	55,6%	53,6%	25,2%	35,2%	19,6%	19,8%	17,6%	17,8%	5,9%	5,4%
Si	69,8%	42,8%	43,3%	65,8%	62,3%	48,3%	47,3%	2,8%	74,9%	60,9%	70,5%
Cl	7,9%	1,3%	3,1%	9,0%	0,6%	6,5%	8,4%	1,5%	4,5%	32,8%	23,8%
Gemischform	feink.	feink.	feink.	feink.	feink.	feink.	feink.	grobk	feink.	feink.	feink.
Beschreibung	cl'saSi	si Sa	Si Sa	cl'saSi	Sa Si	cl'sagrSi	cl'sa gr Si	sa Gr	sa Si	sa'clSi	sa'cl Si
Cu	7,0	7,1	7,9	15,8	5,1	15,8	35,5	18,8	8,1	-	-
Cc	1,3	1,4	1,5	1,2	1,1	1,4	0,7	2,6	1,2	-	-
Form	mäßig/weit	mäßig/weit	mäßig/weit	weit	eng/weit	weit	weit/mäßig	weit	mäßig/weit	-	-
org. Subst.	-	5,18%	3,99%	7,06%	5,28%	4,26%	5,50%	3,19%	3,55%	4,84%	-
Nitrate	0,07%	-	-	0,06%	0,00%	0,06%	0,07%	-	-	-	-
Sulfate	0,09%	-	-	0,03%	0,01%	0,06%	0,10%	-	-	-	-
Chloride	0,02%	-	-	0,01%	0,03%	0,01%	0,02%	-	-	-	-
Gesamtgehalt	0,18%	-	-	0,11%	0,04%	0,13%	0,18%	-	-	-	-
Kontrolle	34%	0%	100%	13%	4%	0%	22%	16%	0%	42%	11%
Bindekraft	333,6	60,0	63,7	154,0	66,5	60,0	88,7	278,8	60,0	414,5	488,1
W_{norm}	25,0	13,1	16,1	11,5	18,1	19,1	27,5	44,4	29,7	30,3	24,1
BL-Klassif.	sehr fett	sehr mager	sehr mager	fast fett	mager	mager	mager	fett	sehr mager	Ton	Ton
Rohdichte	2036,2	1832,0	1745,9	1845	1889,0	1920,8	1771,0	1858	1826,7	1881,4	2059,1
Lin. Trock.	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,7%	2,3%	3,8%	5,1%	2,3%	7,3%	4,5%
BL-Klassif.	fett	sehr mager	sehr mager	mager	mager	fast fett	fett	sehr fett	fett/mager	sehr fett	sehr fett
BZ-Fest.	2,72	0,57	0,38	0,50	1,35	1,87	1,60	2,85	1,62	3,52	2,78
Dr-Fest	7,67	2,02	0,66	2,41	5,68	5,65	5,90	8,09	5,62	8,97	5,20
Faktor DF/BZ	2,82	3,56	1,72	4,82	4,21	3,03	3,69	2,84	3,47	2,55	1,87
w_L	47,2%	-	-	24,6%	30,6%	32,7%	46,3%	64,8%	34,8%	70,2%	58,7%
w_p	24,2%	-	-	20,8%	24,4%	22,7%	27,2%	32,4%	24,8%	27,4%	23,2%
l_p	23,0%	-	-	3,8%	6,2%	9,9%	19,1%	32,4%	10,0%	42,8%	35,5%
Bodenbez.	CIM	-	-	CIL	SiL	CIL	SiM	SiH	SiL	CIV	CIH

Tabelle 91: Ergebnisse zu den Handtests für Baulehm industriell aufbereitet, aus Lehmagerstätten und industriell aufbereitete Tone

	BL01	BL02	BL03	BL08	BL20	BL21	BL22	BL23
Schneidet.	Cl/Si	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	cl'sa'Si	Cl/Si
Trockenf.	Cl	Cl	Cl	Cl	Si	Si	Cl	Cl
Griffigkeit	Si	Cl	Cl/Si	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
Gr/Sa/<Si	-	10/40/50%	0/30/70%	5/60/35%	0/0/100%	0/0/100%	0/30/70%	0/40/60%
Dilatanz	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl/Si	Cl	Cl
Zähigkeit	Cl/Si	Cl	Cl	Cl/Si	Cl/Si	Cl/Si	Cl	Cl
im Wasser	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl
an der Luft	Si	Cl	Cl	Cl	Cl/Si	Cl	Cl	Cl
kalkhaltig	deutlich	kein	schwach	schwach	nicht	kein	kein	schwach
Geruchst.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.
Farbtest	rot-bräunl.	rot-bräunl.	braun	rot-braun	rot-bräunlich	weiß	grün-bräunl	bräunl
Kugelformt.	Si	Cl/Si	Cl/Si	Cl	Cl	Cl	Cl/Si	Cl
Plastizität (plastisch)	gering/mittel	mittel/Cl-Si	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch (Cl)	hoch (Cl)

Tabelle 92: Ergebnisse zu den Labortests für Baulehm industriell aufbereitet, aus Lehmagerstätten und industriell aufbereitete Tone

	BL01	BL02	BL03	BL08	BL20	BL21	BL22	BL23
Gr	0,0%	2,2%	0,5%	0,2%	-	-	-	0,0%
Sa	12,4%	15,9%	27,7%	17,0%	-	-	-	27,4%
Si	81,5%	51,5%	66,8%	72,2%	-	-	-	58,7%
Cl	6,1%	30,4%	5,0%	10,6%	-	-	-	13,9%
Gemischform	feink.	feink.	feink.	feink.	-	-	-	feink.
Beschreibung	cl'saSi	sa cl Si	cl'saSi	cl'saSi	-	-	-	cl'saSi
C_u	6,3	-	8,3	16,2	-	-	-	-
C_c	1,5	-	1,0	1,8	-	-	-	-
Form	mäßig/weit	-	mäßig	weit	-	-	-	-
org. Subst.		6,03%	4,58%	-	-	-	-	3,79%
Nitrate		0,09%	0,07%	-	-	-	-	-
Sulfate		0,06%	0,04%	-	-	-	-	-
Chloride		0,01%	0,01%	-	-	-	-	-
Gesamtgehalt		0,15%	0,13%					
Kontrolle	21%	16%	16%	16%	30%	71%	26%	35%
Bindekraft	102,8	198,7	160,7	194,7	154,2	577,4	338,3	425,0
w_{norm}	16,7	28,5	19,0	27,6	21,5	22,6	50,7	24,6
BL-Klassif.	mager	fast	fast	fast	fast	Ton	sehr fett	Ton
		fett/fett	fett/fett	fett/fett	fett			
Rohdichte	1947,7	1933,2	2044,2	1906,9	1829,7		1956,3	2075,0
Lin. Trock.	1,9%	6,0%	3,3%	6,3%	1,6%	-	12,2%	5,3%
	mager/fast	sehr fett	fett	sehr	mager	-	Ton	sehr
BL-Klassif.	fett			fett				fett
BZ-Fest.	1,83	2,25	2,05	2,30	0,50	-	0,12	2,37
Dr-Fest	6,93	6,78	7,43	7,67	2,63	-	9,38	7,22
Faktor DF/BZ	3,78	3,01	3,62	3,33	5,26		80,36	3,05
w_L	32,5%	58,0%	34,2%	60,8%	36,7%	-	105,6%	53,4%
w_p	20,1%	27,1%	22,5%	26,2%	24,5%	-	59,6%	20,0%
I_p	12,4%	30,9%	11,7%	34,6%	12,1%	-	46,0%	33,3%
Bodenbez.	CIL	CIH	CIL	CIH	CIM	-	SiV	CIH

Tabelle 93: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmörteltests industriell aufbereiteter Baulehme

	BL01	BL01	BL01	BL01	BL23	BL23	BL23
Mischungsverhältnis	1:0	1:0,5	1:1	1:1,5	1:0	1:1	1:3
Korngruppe (d/D)	-	-	0/2	-	-	-	-
Rohdichte [kg/m³]	1947,7	2004,4	1872,5	1938,9	2075,0	2043,8	1825,2
Lineares Trockenschwindmaß	1,92%	0,73%	0,06%	0,02%	5,33%	0,58%	0,00%
Biegezugfestigkeit [N/mm²]	1,83	1,75	0,62	0,92	2,37	1,45	0,58
Druckfestigkeit [N/mm²]	6,93	6,98	2,30	3,21	7,22	4,68	1,38
Faktor Biegezug-/Druckfestigkeit	3,78	3,99	3,73	3,50	3,05	3,23	2,39
Fließgrenze	32,5%	21,4%	15,5%	-	53,4%	-	-
Ausrollgrenze	20,1%	16,5%	16,2%	-	20,1%	-	-
Plastizitätszahl	12,4%	4,9%	-0,8%	-	33,3%	-	-
Bodenbezeichnung	CIL	SiL	SiL	-	CIH	-	-
Kontrolle Abweichung	0,2	0,00%	-	-	0,3	0,3	1,0
Mittelwert Bindekraft [g/cm²]	102,8	64,0	-	-	425,0	358,8	67,0
Wassergehalt Normsteife	16,7%	13,9%	-	-	24,6%	12,9%	8,9%
Klassifikation Baulehm	mager	sehr mager	-	-	Ton	sehr fett	sehr mager

Tabelle 94: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmörteltests aus Baulehm-Abbaustätten im Sinne von MinroG

	BL02	BL02	BL02	BL03	BL03	BL03
Mischungsverhältnis	1:0	1:1	1:2	1:0	1:0,5	1:1
Korngruppe (d/D)	-	0/2	-	-	-	0/2
Rohdichte [kg/m³]	1933,2	2053,8	1942,3	2044,2	2042,8	1933,0
Lineares Trockenschwindmaß	6,00%	1,29%	0,06%	3,27%	0,67%	0,22%
Biegezugfestigkeit [N/mm²]	2,25	1,08	0,92	2,05	1,57	0,75
Druckfestigkeit [N/mm²]	6,78	5,04	3,59	7,43	4,96	2,61
Faktor Biegezug-/Druckfestigkeit	3,01	4,65	3,92	3,62	3,16	3,48
Fließgrenze	58,0%	-	-	34,2%	-	-
Ausrollgrenze	27,1%	-	-	22,5%	-	-
Plastizitätszahl	30,9%	-	-	11,7%	-	-
Bodenbezeichnung	CIH	-	-	CIL	-	-
Kontrolle Abweichung	0,2	0,1	0,0	0,2	0,0	-
Mittelwert Bindekraft [g/cm²]	198,7	135,9	64,0	160,7	65,7	-
Wassergehalt Normsteife	28,5%	14,5%	12,4%	19,0%	13,3%	-
Klassifikation Baulehm	fast fett/fett	fast fett	sehr mager	fast fett/fett	sehr mager	-

Tabelle 95: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmörteltests aus Bodenaushub/Schürfen

	BL05	BL05	BL05	BL05	BL05	BL16	BL16	BL16
Mischungsverhältnis	1:0	1:0,5	1:1,5	1:2		1:0	1:1	1:1,5
Korngruppe (d/D)	-	-	-	0/1	0/4	-	-	-
Rohdichte [kg/m³]	2036,2	2126,7	1824,6	2057,1	2098,0	1771,0	2006,0	1882,0
Lineares Trockenschwindmaß	4,25%	2,71%	0,27%	0,17%	2,29%	3,83%	0,40%	0,00%
Biegezugfestigkeit [N/mm²]	2,72	2,65	0,33	1,50	2,13	1,60	0,83	0,45
Druckfestigkeit [N/mm²]	7,67	6,59	1,13	4,30	6,30	5,90	3,56	1,98
Faktor Biegezug-/Druckfestigkeit	2,82	2,49	3,46	2,87	2,95	3,69	4,27	4,41
Fließgrenze	47,2%	-	-	-	-	46,3%	-	-
Ausrollgrenze	24,2%	-	-	-	-	27,2%	-	-
Plastizitätszahl	23,0%	-	-	-	-	19,1%	-	-
Bodenbezeichnung	CIM	-	-	-	-	SiM	-	-
Kontrolle Abweichung	0,3	0,2	0,5	0,3	-	0,2	1,0	-
Mittelwert Bindekraft [g/cm²]	333,6	337,5	125,0	113,0	-	88,7	66,0	-
Wassergehalt Normsteife	25,0%	16,6%	11,5%	12,3%	-	27,5%	13,5%	-
Klassifikation Baulehm	sehr fett	sehr fett	mager	mager	-	mager	sehr mager	-

Tabelle 96: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmörteltests aus Bodenaushub/Schürfen

	BL18	BL18	BL18	BL15	BL15	BL24	BL24	BL24
Mischungsverhältnis	1:0	1:0,5	1:1	1:0	1:1	1:0	1:6(BL25):3	1:3,5
Korngruppe (d/D)	-	0/4	0,0%	-	-	-	-	-
Rohdichte [kg/m³]	1826,7	1835,2	1880,0	1920,8	1873,4	2059,1	1972,2	2034,7
Lineares Trockenschwindmaß	2,31%	0,06%	0,00%	2,27%	0,06%	4,50%	0,08%	0,42%
Biegezugfestigkeit [N/mm²]	1,62	0,55	0,58	1,87	0,65	2,78	0,78	1,72
Druckfestigkeit [N/mm²]	5,62	2,30	2,51	5,65	2,47	5,20	3,24	4,59
Faktor Biegezug-/Druckfestigkeit	3,47	4,18	4,30	3,03	3,79	1,87	4,14	2,67
Fließgrenze	34,8%	-	-	32,7%	-	58,7%	-	-
Ausrollgrenze	24,8%	-	-	22,7%	-	23,2%	-	-
Plastizitätszahl	10,0%	-	-	10,0%	-	35,5%	-	-
Bodenbezeichnung	SiL	-	-	CIL	-	CIH	-	-
Kontrolle Abweichung	0,0	0,2	0,1	0,0	1,0	0,1	0,0	0,1
Mittelwert Bindekraft [g/cm²]	60,0	176,3	66,2	60,0	63,6	488,1	60,0	97,9
Wassergehalt Normsteife	29,7%	10,5%	9,2%	19,1%	10,8%	24,1%	13,5%	11,5%
Klassifikation Baulehm	sehr mager	fast fett	sehr mager	sehr mager	sehr mager	Ton	sehr mager	mager

Tabelle 97: Ergebnisse zu den Labortests für Lehmsteine im NF-Format

	BL01	BL01	BL02	BL02	BL03	BL05	BL23
Mischungsverhältnis	1:0	1:0,5	1:2	1:1,5	1:0	1:2	1:1
Mittelwert Stoffrohndichte [kg/m³]	1866,5	1919,2	1956,5	1956,7	1916,6	1994,5	1962,9
Rohdichteklasse nach DIN	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Mittelwert Druckfestigkeit [N/mm²]	6,85	6,20	3,53	4,12	6,83	4,17	5,23
Mittelwert Druckfestigkeit f_{St} [N/mm²]	5,5	5,0	2,8	3,3	5,5	3,3	4,2
Druckfestigkeitsklasse	4	4	2	2	4	2	3