CAMILLO SITTE VERSUCHSANSTALT FÜR BAUTECHNIK

Fachbereich für Baustoffe und Bauphysik / Fachbereich für Grundbau und Bodenmechanik

Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt Wien III 1030 Wien

Hofmannsthalgasse 7 / Leberstraße 4c – Tel. 799 26 31/701

e-mail: office@csva.at– http: www.csva.at

ENDBERICHT

Endbericht Nr.: BB 26 023

Wien, am 20.10.2026

Datei: 01_Endbericht_NÖ LehmGuide

betreffend

NÖ LehmGuide

Potentialanalyse von Aushub zur Vor-Ort-Herstellung von Lehmbaustoffen in Niederösterreich am Beispiel Waldviertel

Auftraggeber

Forschungsvorhaben gefördert von der Wohnbauforschung der Niederösterreichischen Landesregierung (Kennzeichen F2-F-2305-2024)

Anzahl der Seiten: 416

Endbericht: 156 / Anhang: 260

Index	Datum	Art der Änderung

INHALT

INHALT 2

KURZFASSUNG 5

1 VORWORT 8

2 EINLEITUNG 9

2.1 Allgemeines 9

2.2 Aufgabenstellungen, Methodik und Durchführung 10

2.3 Begriffe 11

3 ÖRTLICHE VERFÜGBARKEIT VON BAULEHM 13

3.1 Geologische Grundlagendaten und Bodenkunde 13

3.1.1 Geologie des Waldviertels 13

3.1.2 Österreichische Bodenkartierung 15

3.1.3 Allgemeine Bodenkunde 18

3.1.4 Bodenkunde für das Waldviertel 25

3.2 Zusammenstellung der Probenentnahmestellen 27

3.2.1 Allgemeines 27

3.2.2 Baulehme im Detail 29

4 PRÜFMATIX – BEWERTUNG DES BODENAUSHUBES AUF DESSEN ANWENDBARKEIT ALS LEHMBAUSTOFF 40

4.1 Allgemeines 40

4.2 Probeentnahme 42

4.3 Vorerkundung 43

4.3.1 Geologische Karten und *„eBOD“* 44

4.3.2 Einfache Handtests 44

4.4 Eignungsprüfung 47

4.5 Detailprüfung von homogenisiertem Bodenaushub 49

4.6 Ergebnisse 51

4.6.1 Allgemeines 51
4.6.2 Ergebnisse im Detail 52
4.6.3 Interpretation der Ergebnisse 55
5 ENTSCHEIDUNGSMATRIX – ENTSPRECHENDE ANWENDUNGSVERFAHREN VON LEHMBAU 58
5.1 Allgemeines 58
5.2 Lehmbaustoffe 59
5.2.1 Allgemeines 59
5.2.2 Bauprodukt „Baulehm“ 74
5.2.3 Lehmmauersteine, Lehmziegeln 74
5.2.4 Lehmmauermörtel 76
5.2.5 Lehmputzmörtel 76
5.2.6 Stampflehm 77
5.2.7 Lehmschüttung 78
5.2.8 Konformitätsnachweis 78
5.3 Bestehende Auswahlkriterien 80
5.4 Entwicklung einer Entscheidungsmatrix 89
5.5 Ergebnisse aus den Prüfungen 99
5.5.1 Geologische Grundlagendaten 99
5.5.2 Baulehmprüfungen 100
5.5.3 Formgepresste Lehmmauersteine 105
5.5.4 Lehmmörtel 112
6 DATENGRUNDLAGE ZUR WISSENSAUFBEREITUNG 123
6.1 Allgemeines 123
6.2 „*LehmBuch*“ – das Planungshandbuch 123
6.3 „*LehmApp*“ – Grundlage für webbasierten Applikation 124
6.3.1 Allgemeines 124
6.3.2 Strukturplan von „*LehmApp*“ 125
7 LEHMSAMPLE – PRAXISNACHWEIS 129
7.1 Allgemeines, Aufgabenstellung 129
7.2 Prüfung der Lehmmauersteine nach DIN 18945 129
7.2.1 Allgemeines 129

7.2.2 Herstellung der Lehmsteine 132
7.2.3 Erzielte Produkteigenschaften der Lehmsteine 135
7.3 Lehmmauermörtel nach DIN 18946 136
7.3.1 Allgemeines 136
7.3.2 Herstellung des Lehmmauermörtels 137
7.3.3 Erzielte Produkteigenschaften des Lehmmauermörtels 138
7.4 Prüfung des Lehmmauerwerks 139
7.4.1 Allgemeines 139
7.4.2 Herstellung des Lehmmauerwerk-Prüfkörpers 140
7.4.3 Durchführung und Ergebnisse der Lehmmauerwerk-Prüfung 141
7.4.4 Vergleichsrechnungen 142
8 SCHLUSSFOLGERUNGEN, EMPFEHLUNGEN UND AUSBLICK 146
9 VERZEICHNISSE 149
9.1 Tabellenverzeichnis 149
9.2 Abbildungsverzeichnis 151
9.3 Literaturverzeichnis 153

KURZFASSUNG

Ausgangslage und Zielsetzung

Der Bausektor zählt global betrachtet zu einem der Hauptverantwortlichen in Bezug auf Energieverbrauch (etwa 30%) sowie der Freisetzung von Treibhausgasemissionen (ebenso etwa 30%). Betrachtet man ferner das Gesamtabfallaufkommen, so entfallen in Österreich 57% auf Aushubmaterialen und noch einmal 16% auf Bau- und Abbruchabfälle. Eine stoffliche Verwertung des anfallenden Aushubmateriales findet dabei kaum statt. Demzufolge wird der überwiegende Anteil (etwa 55%) deponiert. Ebenso enorm sind die Zahlen für den Rohstoffverbrauch. So werden weltweit rund 50 Gewichtsprozent aller Rohmaterialen von der Bauindustrie beansprucht. Daher gilt es, den unglaublichen Rohstoffbedarf für die Erzeugung von Baumaterialien zu bändigen und die Verwendung von kreislauffähigen Baustoffen zu forcieren.[1] Ein Baustoff, der all diesen Anforderungen gerecht werden kann – Reduktion von Energiebedarf und Treibhausgasemissionen, Schonung von Ressource und Rohstoffen, optimale Kreislauffähigkeit – stellt Lehm dar.

Das vorliegende Forschungsprojekt *„NÖ LehmGuide*“ gefördert durch die Wohnbauforschung der Niederösterreichischen Landesregierung hat das Ziel, die Anwendbarkeit von niederösterreichischem Bodenaushub am Beispiel des Waldviertels zur Herstellung von Lehmbaustoffe zu prüfen, um diese dann für die Errichtung von ein- und mehrgeschossigen Wohnbauten zu verwenden und so einen weiteren wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele für Niederösterreich sicherzustellen.

Vorgangsweise, zentralen Erkenntnisse

Als erster Schritt wurde eine umfassende Datenanalyse des Bodens für das Waldviertel vorgenommen. Aus geologischen und bodentechnischen Grundlagendaten wurden die dominierenden Bodentypengruppen wie Braunerde (62%), Reliktböden (10%) sowie Gleye (9%) mit den dazugehörigen Bodentypen und dessen repräsentativen Bodenarten ermittelt. Auf Basis dieser Analyse wurden aus dem Projektgebiet Referenz-Bodenproben entnommen, die dann in der Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik (CSVA) auf dessen geotechnischen und lehmbautechnischen Eigenschaften umfassend

[1] Vgl. (Hauke, 2012, S. 11), Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP) 2023, (Pacheco-Torgal, S. 512-519)

geprüft wurden. Als Prüfgrundlage dafür diente eine entwickelte Prüfmatrix, die einheitliche Vorgaben zur Eignungs- und Qualitätsprüfung von Baulehm definiert. Um daraus eine optimale Lehmbauanwendung für einen Bodenaushub bestimmen zu können, wurde eine Entscheidungsmatrix erstellt, die auf einer umfassenden Literatur- und Datenrecherche basiert sowie auf den Ergebnissen der am CSVA durchgeführten praktischen Untersuchungen. Diese Matrix ermöglicht es, spezifische Bodeneigenschaften eines Aushubes systematisch zu berücksichtigen und die daraus geeignete Lehmbauanwendung abzuleiten.

Grundsätzlich ist die umwelttechnische Unbedenklichkeit ein wesentliches Kriterium für die Eignung des Bodenaushubs als Baulehm. Dies gilt als erreicht, wenn der Bodenaushub der Qualitätsklasse A1, A2, A2-G oder BA gemäß BAWP 2023 zugeordnet werden kann. Ferner muss der Bodenaushub u.a. frei von organischen Bestandteilen sein. Anschließend wird der Boden auf dessen Korngrößenverteilung und plastischen Eigenschaften untersucht. Diese sind für jeden Boden unterschiedlich. Jedoch konnte dieses Forschungsprojekt einen Weg aufzeigen, wie aus diesen gewonnenen Laborwerten eine Auswahl für eine bestimmte Lehmbauanwendung getroffen werden kann, siehe Abbildung 01. Abschließend liefert das Forschungsprojekt Angaben, wie der Baulehm bei Verwendung als Bauprodukt bzw. Ausgangsstoff für einen spezifischen Lehmbaustoff normativ geprüft werden kann.

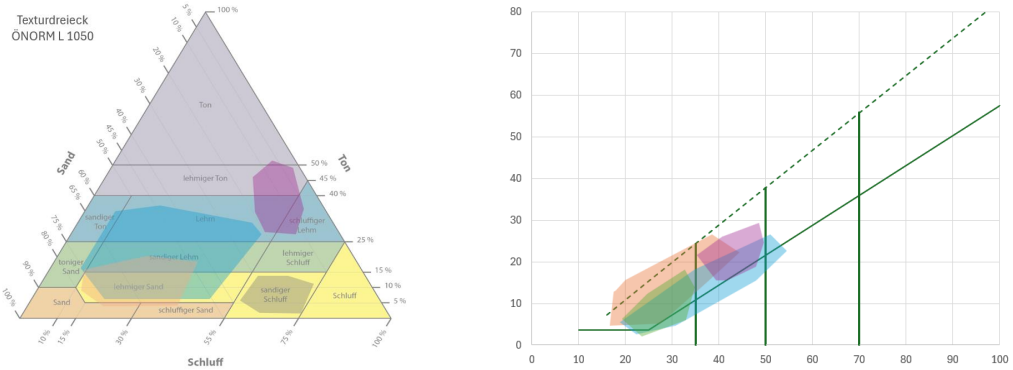


Abbildung 01 – Texturdreieck (links): formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett) und Plastizitätsdiagramm (rechts): Stampflehm (orange), allg. formgeschlagene Lehmstein (hellblau), Stroh- Faserlehm und Schwere Leichtlehm (grün), Leichte Leichtlehmmischung (violett)

Für das Waldviertel bedeutet dies beispielsweise, dass gerade die Braunerde, die zumeist aus lehmigem Sand bis schluffigen Lehm sich zusammensetzt, ideal für Lehmmauersteine ist. Dies ist auch durch historische Lehmbauten in der Region nachweisbar.

Ergebnisse, Fazit, Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes konnten folgende Arbeiten geleistet werden:

- Nachweis, dass die digitale Bodenkarte („*eBOD*“) für den Lehmbau heranziehbar ist.
- Ausarbeitung einer Prüfmatrix zur Prüfung von Bodenaushub für den Lehmbau,
- Stufenweiser Prüfablauf mit integrierter Entscheidungsmatrix, um möglichst früh das optimale Einsatzgebiet für den Bodenaushub als Lehmbaustoff definieren zu können,
- Praxisnachweis über die Prüfung eines Lehmmauerwerks „*LehmSample*“ nach ÖNORM EN 1052-1,
- Schaffung einer Datengrundlage für die Programmierung einer webbasierten Applikation („*LehmApp*“) nach Projektabschluss zur raschen Prüfung der Lehmbautauglichkeit von Bodenaushub,
- Vertiefte Wissensaufbereitung zur Anwendung von Lehmbau durch das „*LehmBuch*“.

Für Niederösterreich bedeutet dies eine Vertiefung des Fachwissens zur Anwendung von Lehm als kreislauffähigem Baustoff. So stärkt das Projekt die Erkenntnisse über regional verfügbaren Baulehm und fördert dessen Vor-Ort-Nutzung, wodurch Treibhausgasemissionen reduziert werden.

Als möglicher nächster Schritt könnte auf Grundlage der im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Erkenntnisse, die vor allem die Untersuchung des Baulehms betrafen, nun der Nachweis der Umsetzbarkeit des Lehmbaus in der Baupraxis erfolgen. Gegenstand solcher anschließender Forschungsfragen wäre etwa die Entwicklung von Feldfabriken zur Herstellung entsprechender für das Waldviertel geeigneter Lehmbaustoffe. Ferner könnte der positive bauphysikalische Umstand, dass Lehm eine hohe spezifische Wärmespeicherkapazität aufweist, zur Entwicklung von energiearmen Flächenheiz- und Flächenkühlsysteme dienen. Erprobt und geprüft auf Praxistauglichkeit sollten die auf diese Weise entwickelten Baustoffe wie Bauteilsysteme über ein Pilotprojekt, um so abschließend einen wissenschaftlich fundierten Nachweis ihrer praktischen Anwendbarkeit zu erbringen.

Ferner wäre es wünschenswert auf Basis der beiden erarbeiteten Grundlagendokumente wie „*LehmApp*“ und „*LehmBuch*“ eine umfangreiche Dissemination der Ergebnisse zu fördern. Dies könnte durch die Entwicklung einer digitalen Anwendung in Form einer „*LehmApp*“ sowie einer breiten Publikation des erstellten praxisorientierten „*LehmBuchs*“ erreicht werden. Als Vorbild kann dabei das in Niederösterreich etablierte Projekt „*Natur im Garten*“ dienen, das durch die systematische Aufbereitung und Vermittlung von Fachwissen eine breite Zielgruppe erreicht. Analog dazu könnte mit einer Publikation etwa unter dem Titel „*Lehmbau im Baualltag*“ das vorhandene Wissen über den Lehmbau gebündelt, praxisorientiert aufbereitet und einer breiten Anwendergruppe zugänglich gemacht werden. In Kombination mit der „*LehmApp*“ könnte dadurch eine Grundlage für eine nachhaltige Aus- und Weiterbildung im Bereich des Lehmbauens geschaffen werden.

1 VORWORT

Im September 2024 erging von der Niederösterreichischen Landesregierung die Zusicherung der Finanzierung für das Forschungsvorhaben „NÖ LehmGuide - Potentialanalyse von Aushub zur Vor-Ort-Herstellung von Lehmbaustoffen in Niederösterreich am Beispiel Waldviertel“

Die Finanzierung des Forschungsvorhabens wurde wie folgt beantragt und genehmigt.

F2305: **NÖ LehmGuide – Potentialanalyse von Aushub zur vorOrt Herstellung von Lehmbaustoffen in Niederösterreich am Beispiel Waldviertel**

Einreicher: **Andreas Rischanek,** Christoph Hackspiel**; Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik**

Kooperation: Ziegelwerk Martin Pichler
WAV – Gemeinn. Bau- und Siedlungsgenossenschaft Waldviertel

Dauer: 24 Monate

Projektabstract

Der Bausektor stellt einen wesentlichen Bereich des Rohstoffeinsatzes in der Volkswirtschaft dar. Weltweit wird ein Großteil aller Rohmaterialen von der Bauindustrie beansprucht. Vom Gesamtabfallaufkommen entfallen in Österreich 59% auf Aushubmaterialen und noch einmal 16% auf Bau- und Abbruchabfälle. Eine stoffliche Verwertung des anfallenden Aushubmateriales findet kaum statt, der überwiegende Anteil (etwa 73%) wird deponiert. Damit gilt es, den großen Rohstoffbedarf für die Erzeugung von Baumaterialien zu bändigen und die Verwendung von kreislauffähigen Baustoffen zu forcieren. Der Baustoff Lehm bietet hier viele Vorteile hinsichtlich Ressourcenschonung und Kreislauffähigkeit.

Das Projekt hat damit das Ziel, die Anwendbarkeit von Lehm in niederösterreichischem Aushubmaterial für die Errichtung ein- und mehrgeschossiger Wohnbauten in NÖ zu untersuchen. Die Möglichkeit einer Verwendung des Aushubmaterials als Baumaterial reduziert lange Transportwege und trägt zur Reduktion der nationalen Treibhausgasemissionen bei. Als Projektgebiet wurde das Waldviertel gewählt, da es historischen Lehmbau aufweist, jedoch bislang kaum beachtet und erforscht wurde.

Zur Erreichung dieser Ziele sind für das Projektgebiet folgende Schritte vorgesehen:

- Ermittlung der Verfügbarkeit von Lehm in Aushubmaterialien durch Analyse von geologischen Grundlagendaten bis hin zur Bodenkarte für das geplante Projektgebiet.
- Untersuchung der Anwendbarkeit von Aushubmaterial als Baulehm durch Beprobung im Projektgebiet.
- Erstellung einer Prüfmatrix aus den Probenergebnissen um eine einheitliche Eignungs- und Qualitätsprüfung von Baulehm sicherzustellen.
  → diese wird zu einer Entscheidungsmatrix für die Eignung des Materials für den Lehmbau im Projektgebiet verdichtet.
- Erstellung einer Datengrundlage für eine webbasierte Applikation einer „LehmApp“ und eines Planungshandbuchs „LehmBuch“.
- Umsetzung - Für einen repräsentativ typischen Baulehm aus dem Projektgebiet wird die Verwendung für Lehmziegel in der Praxis überprüft.

Mit den angestrebten Dokumentationen und Hilfestellungen soll eine Wissenslücke für den Baustoff Lehm geschlossen und eine vertiefende Wissensaufbereitung über Lehmbau und die Anwendbarkeit von kreislauffähigen Baustoffen erreicht werden. Das Forschungsprojekt möchte damit zur besseren Kenntnis über diesen regional verfügbaren, klimaneutralen und natürlichen Baustoff für den ein- und mehrgeschossigen Wohnbau in Niederösterreich beitragen.

2 EINLEITUNG

2.1 Allgemeines

Mit Blick auf die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen wie EU-Taxonomie-Verordnung, die kreislauffähiges Bauen forciert, bis zur nationalen Gesetzgebung mit der künftige Aushubverordnung, die für nicht kontaminierten Bodenaushub ein sofortiges Abfallende vorsieht, ist es unerlässlich, jene Bauweisen, die diesen Anforderungen gerecht wird, entsprechend auch für den sozialen Wohnbau aufzubereiten. Es handelt sich dabei um eine der ältesten Bauweisen der Menschheit dem Lehmbau. Diese ist bei sachgemäßer Ausführung hundertprozentig kreislauffähig und greift im Idealfall auf den Sekundärrohstoff dem Bodenaushub als Ausgangsstoff zu, der in Österreich ausreichend vorhanden ist. Betrachtet man etwa den Stoffstrom von Bodenaushub so zeigt der Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) 2023, dass noch immer mehr als die Hälfte auf Deponien beseitigt wird.[2] Es handelt sich dabei um ein Material, das zumeist sofort für unterschiedliche Lehmbauanwendungen verwendbar wäre.

Das Potenzial dieser sekundären Ressource ist dabei gerade im Wohnungsbau enorm. Würde man etwa nur den Bodenaushub der höchsten Qualitätsklasse A1 heranziehen, so könnte man mit dieser Kubatur in Österreich sämtliche jährlich fertiggestellte Einfamilienhäuser aus Lehm errichten.[3]

Damit liegt es auf der Hand gerade für diesen regionalen Baustoff verstärkte Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen vorzunehmen, um diesen historischen Baustoff, der auch in Niederösterreich lange zu den meistverwendeten Baustoffen zählte, wieder entsprechend zu forcieren. Im Idealfall gelingt das durch die Verwendung des Aushubes vor Ort. So können Baustoffe

[2] Vgl. Bundesabfallwirtschaftsplan 2023 sowie dessen Statusbericht 2025 (Abbildung 76)

[3] Für diese Abschätzung wurde für ein Einfamilienhaus eine quadratische Brutto-Grundrissfläche von 100m² mit einer durchschnittlichen Höhe von 3,5m sowie Wandstärke von 25cm angenommen. Dies ergibt einen Lehmbedarf von 35m³. Bei einer Qualitätsklasse A1, die im Jahr 2025 mit 662000m³ anfiel, könnte man daraus etwa 19.000 Einfamilienhäuser errichten. Und dies wären mehr Gebäude als laut Statistik Austria jährlich zur Baufertigstellung gemeldet werden, (bspw. waren es 2020: 17.499 und 2024 nur 10.635 Wohngebäude mit ein oder zwei Wohnungen. Quelle: https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/wohnen/baufertigstellungen)

an der Baustelle hergestellt werden, die dann nicht nur kreislauffähig sind, sondern unter Zuhilfenahme von Automatisierungstechniken auch kostengünstig produziert werden.

Dieses Forschungsprojekt hat nun das Ziel, eine entsprechende Potentialanalyse für den Lehmbau in Niederösterreich vorzunehmen. Als Projektgebiet wurde dabei bewusst das Waldviertel gewählt, wo bislang diese Bauweise bislang keine Beachtung findet (anders als etwa im Weinviertel), obwohl historische Lehmsteinbau nachweisbar ist. Mit dieser Arbeit soll untersucht werden, ob auch das Waldviertel entsprechende Bodenressourcen aufweist, das ein Bauen mit Lehm auch im heutigen Kontext zulässt.

2.2 Aufgabenstellungen, Methodik und Durchführung

Zur Erreichung dieser Ziele wurde für das Projektgebiet im Waldviertel folgende Arbeitspakete (AP) definiert:

- AP0: Projektmanagement
- AP1: Erstellung eines Datensatzes über die örtliche Verfügbarkeit von Baulehm im geplanten Projektgebiet
- AP2: Erarbeitung einer Prüfmatrix zur Bewertung des Aushubes auf dessen Anwendbarkeit als Lehmbaustoff
- AP3: Schaffung einer Entscheidungsmatrix, die für unterschiedliche Baulehme schließlich entsprechende Anwendungsverfahren von Lehmbau vorgibt
- AP4: Schaffung einer Datengrundlage für mögliche nachfolgende Programmierung webbasierter Anwendungsprogramme „*LehmApp*“
- AP5: Erstellung eines generellen Planungshandbuches zum Lehmbau „*LehmBuch*“ auf Basis der typischen Anwendungsmöglichkeiten für das Projektgebiet
- AP6: Überführung der Ergebnisse in die Praxis „*LehmSample*“

Im ersten Schritt erfolgte im Arbeitspaket 1 über Literaturrecherche eine vertiefende Analyse bestehender erdgeschichtliche und geologische Grundlagendaten einschließlich Auswertung der digitalen Bodenkarte für das geplante Projektgebiet. Auf Basis dieser gewonnenen Daten wurde unter Mitwirkung des Projektpartners WAV (gemeinnützige Bau- und Siedlungsgenossenschaft Waldviertel in Raabs an der Thaya) Bodenaushub zur Verwendung als Referenzmaterial entnommen, um diesen anschließend in der Camillo Sitte Versuchsanstalt für Bautechnik auf dessen bodenmechanischen und lehmbautechnischen Eigenschaften zu untersuchen.

Parallel zur Auswertung der Prüfergebnisse aus den entnommenen Bodenproben aus Arbeitspaket 1 wurde in Arbeitspaket 2 eine allgemeine Prüfmatrix zur Untersuchung von Aushubmaterial entwickelt, um so eine einheitliche Eignungs- und Qualitätsprüfung von Baulehm sicherzustellen.

Aufbauend auf Arbeitspaket 2 wurde in Arbeitspaket 3 eine Entscheidungsmatrix erstellt, die auf Basis der ermittelten Kennwerte der Eignungsprüfung die bestmögliche Lehmbauanwendung für den jeweiligen Bodenaushub aufzeigen soll. Dies erfolgte über Literaturrecherche sowie praktischer Baustoffprüfung im Lehmbaulabor der CSVA.

Die Wissensaufbereitung der gewonnenen Erkenntnis erfolgte in den Arbeitspaketen 4 und 5. Das AP4 „*LehmApp*“ schafft die Datengrundlage für eine mögliche Programmierung einer webbasierten Applikation nach Projektabschluss, auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus AP1 bis AP3. In Arbeitspakt 5 wurde ein Planungshandbuch „*LehmBuch*“ mit den gewonnenen Erkenntnissen aus AP1 bis AP3 sowie einer Einführung in den Lehmbau erstellt.

Abschließend wurden die gewonnenen Ergebnisse im Arbeitspaket 6 „*LehmSample*“ praxisnahe erprobt. Dazu wurde aus den entnommenen Referenzproben ein Lehmmauerwerk gemäß den Vorgaben der ÖNORM EN 1052-1 errichtet und hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit geprüft.

2.3 Begriffe

An dieser Stelle werden die wesentliche Begriffsdefinition angeführt, die für den vorliegenden Endbericht besonders bedeutend sind:

Lehm
Verwitterungsprodukt natürlicher Gesteine, welches neben der für die Bindung wirksamen Tonfraktion schluffige und in der Regel auch sandige, kiesige bis steinige Bestandteile enthält [4]

Baulehm
zur Herstellung von Lehmbaustoffen geeigneter Lehm[5]

[4] (DIN 18942-1, 2024) Begriff 3.1.1

[5] (DIN 18942-1, 2024) Begriff 3.1.2

Texturdreieck

liefert über die Prozentanteile der einzelnen Korngrößenklassen (Ton, Schluff und Sand) Angaben zu den unterschiedlichen Bodenarten nach ÖNORM L 1050[6]

Ton

Teilchen des Mineralbodens, die eine Korngröße unter 0,002 mm Äquivalentdurchmesser aufweisen[7]

Schluff

Teilchen des Mineralbodens, die eine Korngröße von 0,002 mm bis unter 0,063 mm Äquivalentdurchmesser aufweisen[8]

Sand

Teilchen des Mineralbodens, die eine Korngröße von 0,063 mm bis 2 mm Äquivalentdurchmesser aufweisen[9]

Plastizitätsdiagramm

liefert über den Wassergehalt im Boden Aussagen zu dessen plastischen Eigenschaften

[6] (ÖNORM L 1050, 2016, S. 33-35)

[7] (ÖNORM L 1050, 2016, S. 19), dabei stellt die Tonfraktion das alleinige Bindemittel für Lehmbaustoffe dar.

[8] (ÖNORM L 1050, 2016, S. 18)

[9] (ÖNORM L 1050, 2016, S. 17)

3 ÖRTLICHE VERFÜGBARKEIT VON BAULEHM

3.1 Geologische Grundlagendaten und Bodenkunde

3.1.1 Geologie des Waldviertels

Die Geologie des Waldviertels wird von der Böhmischen Masse bestimmt, die erdgeschichtlich ihren Ursprung vor 1 bis 2 Milliarden Jahren hat. Dabei lassen sich im Waldviertel im Wesentlichen zwei große geologische Bauphasen festhalten. Das Grundgebirge, gleichzeitig der tiefere und ältere Bereich der Böhmische Masse, wird durch kristalline Gesteine aus dem Proterozoikum (2,5 Milliarden Jahre bis 570 Millionen Jahre vor heute) bzw. dem Paläozoikum (570 bis 248 Millionen Jahre vor heute) bestimmt. Darüber befinden sich Ablagerungen der Sedimentgesteine aus dem Mesozoikum (248 bis 65 Millionen Jahre vor heute) bzw. dem Känozoikum (65 Millionen Jahre bis heute).

Die letzte gebirgsbildende Phase im Waldviertel fand vor 340 bis 300 Millionen Jahren statt und wird als *„variszische Gebirgsbildungsphase“* bezeichnet. In dieser Phase entstanden die beiden bestimmenden geologischen Einheiten des Waldviertels, und zwar das *„Moravikum“* (im Osten) und das *„Moldanubikum“* (im Westen). Diese beiden kristallinen Grundgebirge des Waldviertels unterscheiden sich durch dessen Grad der Umwandlung (Metamorphose) ihres Gesteinsbestandes. Die Abbildung 02 zeigt dabei diese beiden entstandenen Gebirgsformen, *„Moravikum“* und *„Moldanubikum“*, im Lageplan und in einem Profilschnitt (B-B´).

In dieser Phase beginnt auch die Abtragung des wahrscheinlich 5000 bis 7000 Meter hohen Gebirges (ab 300 Millionen Jahren), das dabei nahezu eingeebnet wird. Erst im Zuge der Auffaltung der heutigen Alpen wurde das „alte“ Grundgebirge wieder um einige hundert Meter angehoben. Dabei bedecken nun Sedimentgesteine aus diesem alten Gebirge die kristallinen Gesteine der Böhmischen Masse. Diese Sedimentgesteine werden *„Molasse“* bezeichnet. Heute lassen sich wiederum nur mehr kleine Überreste von diesen Sedimenten feststellen etwa im Raum Zöbing oder Gmünd. Die meisten wurden jedoch wieder im jüngeren Erdaltertum abgetragen.

Sedimente, die heute flächenhaft verbreitet sind, sind etwa Flusssedimente aus dem Oligozän oder Meeressedimente aus dem Miozän. Des Weiteren finden sich aus dem Pliozän und dem Pleistozän Terrassenschotter der Flüsse oder windverfrachtete Lösse mit fossilen Einschlüssen.[10]

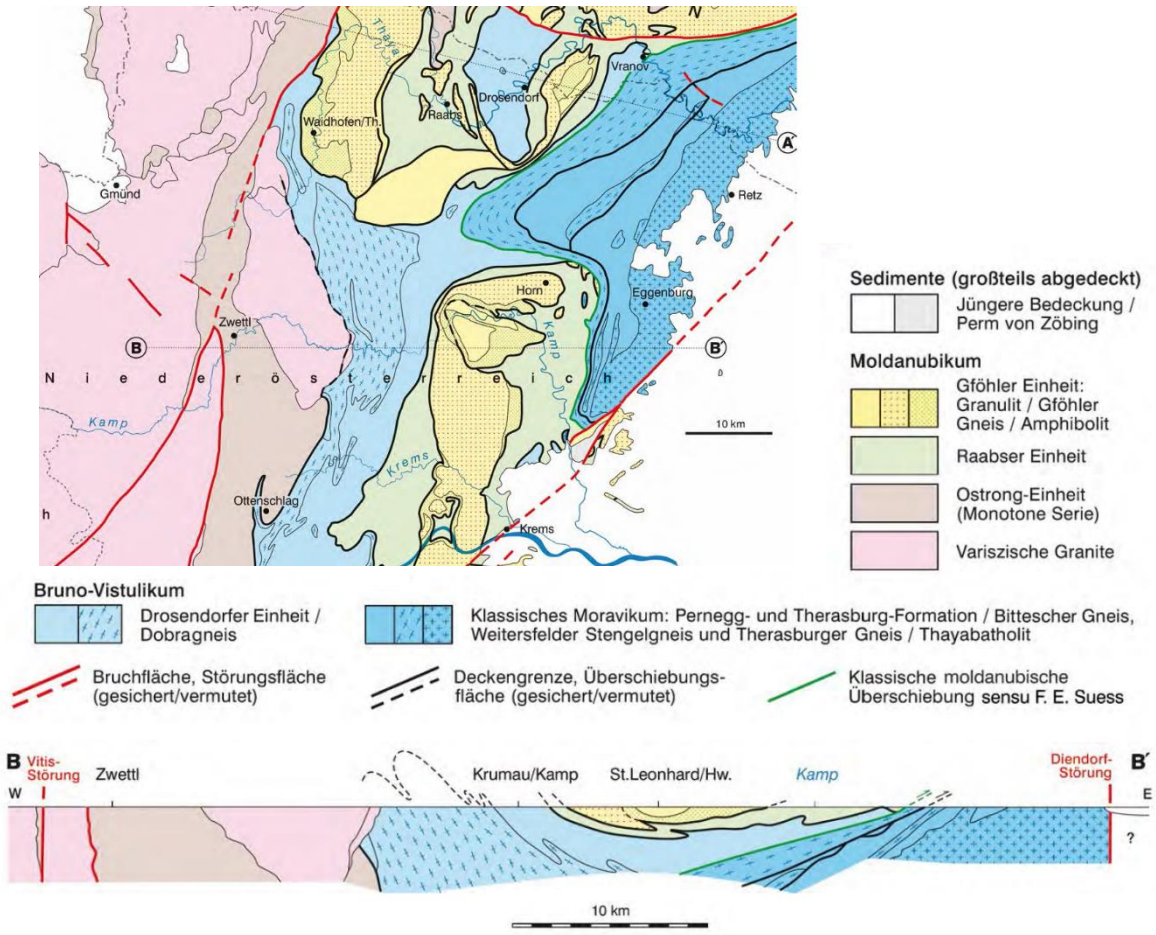


Abbildung 02 – Geologische Profilschnitt (M= 1:340000) und Karte vom Waldviertel

Beispiele aus der Geologie heraus für Ton- und Lehmvorkommen sowie Vorkommen aus feinkörnigen Sedimenten finden sich etwa:

- aus dem Quartär: Löss- und Lösslehm beispielsweise im Raum Nadelbach, Pottenbrunn, Schrattenbruck, Krems, Langenlois, Retz, Ziersdorf, Stranzendorf, die in der Vergangenheit zur Lehmziegelherstellung verwendet wurden,
- aus dem Neogen: Zellerndorf-Formation mit Löss-Auflage im Raum Pulkau, die ebenfalls für Lehmziegel oder Blähton verwendet wurden,

[10] Vgl. (Steininger, 1999, S. 1-3)

- aus dem Paläozoikum, Ober-Kreide, Paläogen/Neogen: Verwitterungslehme verschiedener kristalliner Gesteine wie Granulit oder Gneis im Raum Litschau, Dobersberg, Friedersbach, Ranzles, Thaya, Vitis, Großweißenbach, Göpfritz, St. Leonhard, Rastenfeld, Steinegg, Obermeisling, Stixendorf, Wolfshof ebenfalls für Lehmziegel.[11]

3.1.2 Österreichische Bodenkartierung

Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft führt seit 1958 eine Kartierung der Bodenflächen von Österreich durch. Ziel dieser Kartierung ist es Grundlagen zu schaffen für die Raumplanung und Landesplanung etwa um Aufgaben für die Landwirtschaft (Produktion, Strukturverbesserung, …), aber auch für den Erosionsschutz, Straßenbau, Grundalgenforschung und klimarelevanten Grundfragen besser abstimmen zu können.

Lagen diese Unterlagen ursprünglich nur in analoger Form als Karten inklusive der dazugehörigen Beschreibungen vor, wurde mit Einführung der digitalen Bodenkarte „*eBOD*“ sämtliche Informationen digitalisiert, womit deren Inhalte zur Österreichischen Bodenkarte rascher und frei zugänglich gemacht wurden. Die unterschiedlichen Inhalte dieser Seite könnten auch für die Beurteilung und Erkundung eines Bodens auf dessen Anwendbarkeit als Baulehm eine Rolle spielen. Daher hat dieses Forschungsprojekt das Ziel, für das ausgewählte Projektgebiet dem Waldviertel genau diese Anwendungsmöglichkeit zu überprüfen.

Deshalb werden im Folgenden als erster Schritt das System und die Inhalte dieser digitalen Bodenkartierung allgemein näher vorgestellt.

Die digitale Bodenkarte enthält für Österreich 2,86 Millionen Hektar bodenkundliche Grundlageninformationen, das sind bei einer Fläche von Österreich mit 8,3 Millionen Hektar rund ein Drittel der Gesamtfläche. Dabei wurde das Bundesgebiet in insgesamt 219 Kartierungsbereichen (KB) unterteilt, wobei bis auf drei Kartierungsbereiche alle Kartierungsarbeiten mittlerweile auch vollständig abgeschlossen sind.

[11] Vgl.: (Heinrich & Wimmer-Frey, 2009, S. 12)

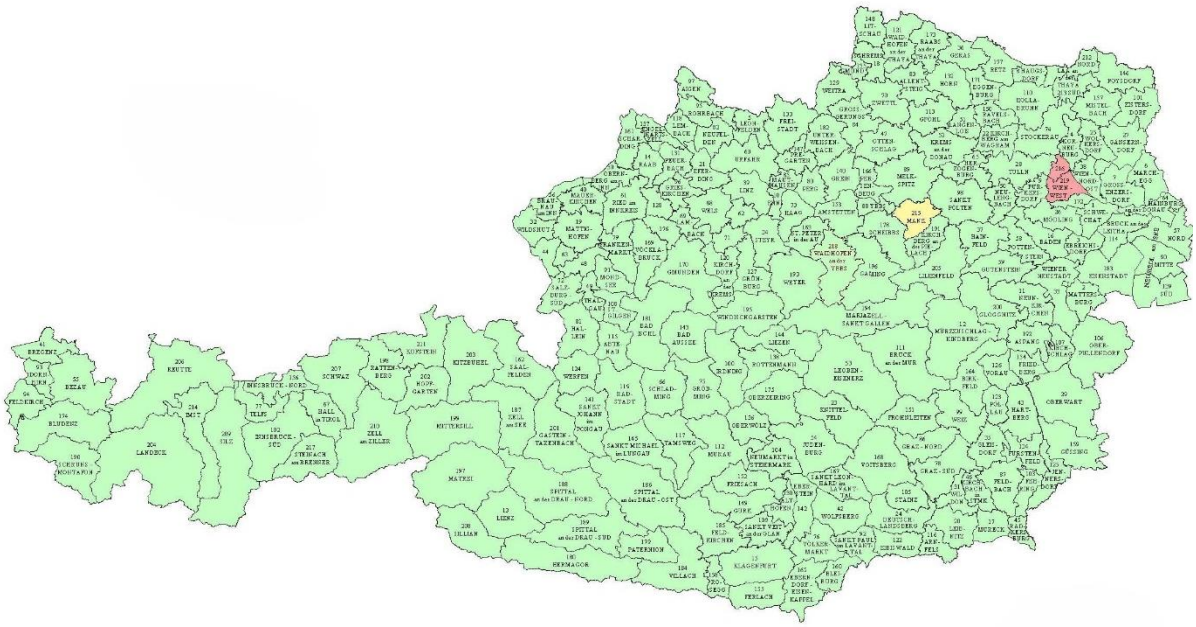


Abbildung 03 – Kartierungsübersicht und Stand der digitalen Bodenkarte

Für das Waldviertel sind dabei folgende Kartierungsbereiche von Relevanz:

- KB18 Schrems
- KB36 Geras
- KB47 Ottenschlag
- KB52 Krems an der Donau
- KB70 Zwettl
- KB83 Allentsteig
- KB84 Groß Gerungs
- KB113 Gföhl
- KB121 Waidhofen an der Thaya
- KB129 Weitra
- KB132 Horn
- KB135 Gmünd
- KB171 Eggenburg
- KB173 Raabs an der Thaya
- KB148 Litschau

Der Kartierungsbereich selbst wird wieder in Bodenformen oder Bodenformkomplexen unterteilt. Eine Bodenform ist dabei eine abgegrenzte Fläche innerhalb der ein gleicher Bodentyp und ein weitgehend gleicher Standortcharakter vorhanden ist. Dabei dürfen gewisse Schwankungen in einer Bodenform auftreten, die wiederum textlich beschrieben sind bzw. im Flächenprofil auch für die einzelnen Bodenhorizonten über eine Schrägneigung der Grenzlinie ablesbar sind (siehe Abbildung 04). Dieses so „gemittelte“ Bodenprofil wird für jede Bodenform bis zu einer Tiefe von 100 cm angegeben.

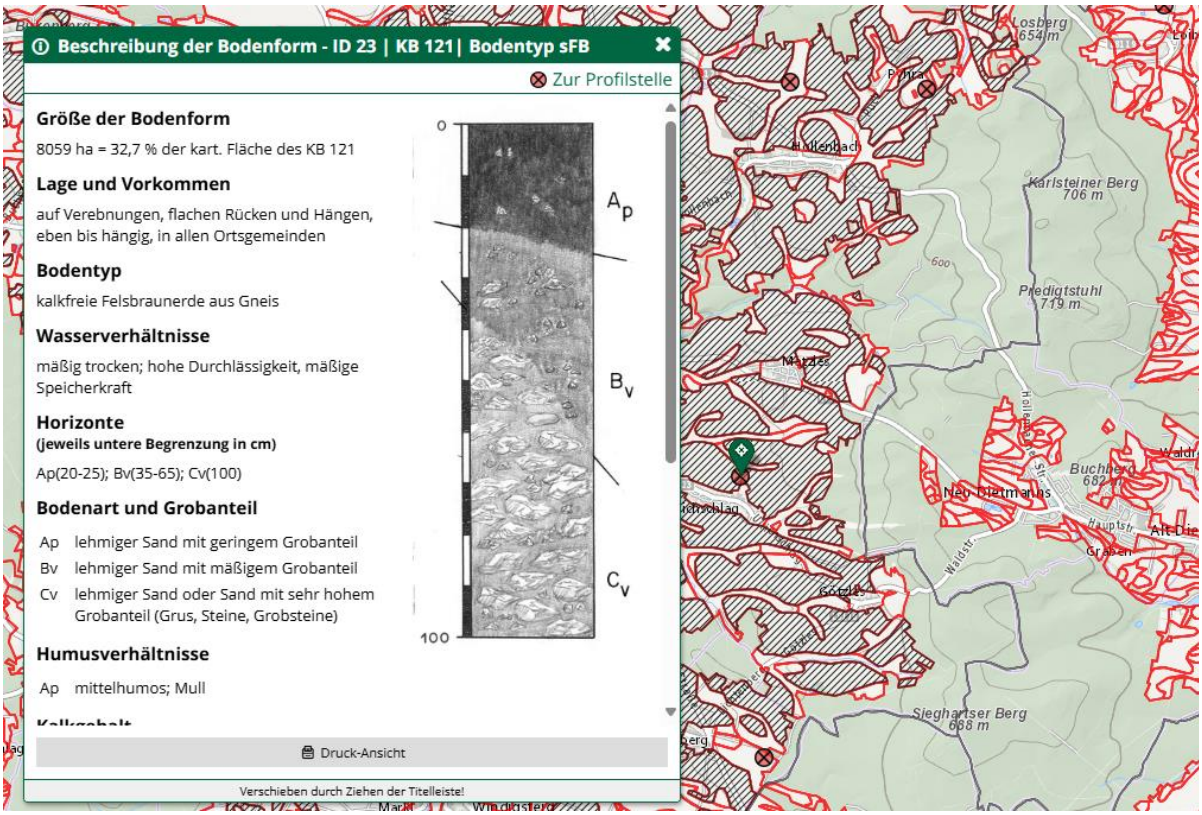


Abbildung 04 – Beispiel für eine Bodenform inklusive Bodenprofil mit schräg verlaufenden Horizontgrenzen

Können für einen kleinflächigen Bereich keine einheitliche Bodenformen ausgemacht werden, so werden diese Flächen ebenfalls zusammengefasst und als Bodenformkomplex bezeichnet. In der Bodenkarte wird diese Bodenform mit dem Buchstaben „K“ gekennzeichnet.

Des Weiteren gibt es zu jeder Bodenform mindestens ein zugehöriges, repräsentatives Referenz-Bodenprofil in der Regel bis zu einer Tiefe von 200cm, das durch Bodenentnahme vor Ort und anschließender genauer Laborprüfung auf dessen Bodeneigenschaften untersucht wurde.

Jede Bodenform ist durch eine fortlaufende ID-Nummer innerhalb eines Kartierungsbereichs (KB) eindeutig identifizierbar. Für die gemeinsame Darstellung aller Kartierungsbereich für Österreich wählte man dabei folgende Form zur Nummerierung:

KB-Nr. x 1000 + Bodenform-Nr. (ID) →

Beispiel: KB 83, ID 16 ergibt die Bezeichnung 83016 und ist eine Bodenform im Kartierungs-bereich 83 (Allentsteig), mit der fortlaufenden ID-Nummer 16.

Damit ist jede Bodenform eindeutig in der digitalen Bodenkarte identifizierbar.

Jede Bodenform wird in eBOD durch eine rote Linie gekennzeichnet und gibt so die Umrandung der Fläche zur Bodenform an.

Zu jeder Bodenform werden folgende nähere Angaben mitgeliefert:

- Größe der Bodenform in [ha]
- Lage und Vorkommen
- Bodentyp
- Wasserverhältnisse
- Horizonte
- Bodenart und Grobanteil
- Humusverhältnisse
- Kalkgehalt
- Bodenreaktion
- Erosionsgefahr
- Bearbeitbarkeit, natürlicher Bodenwert und sonstige Angaben.

Dazu gibt es zu jeder Bodenform ein zugewiesenes Referenz-Bodenprofil für das noch zusätzliche Informationen vorliegen, und zwar folgende:

- Profilbeschreibung: einzelne Horizonte werden bis in eine Tiefe von 200cm exakt beschrieben,
- Ausgangsmaterial,
- Bodentyp,
- Analyseergebnisse für die Bestimmung der Bodenart (Korngrößenverteilung bis 2mm für jeden Bodenhorizont).

3.1.3 Allgemeine Bodenkunde

Für den Lehmbau von Relevanz ist der oberste Bereich der Erdkruste, der allgemein als „*Boden*“ bezeichnet wird. Diese Schicht entsteht in der Regel aus Verwitterung von Festgestein bzw. durch natürliche oder anthropogene Veränderungen in Form von Um- und Neubildungen. Dabei enthält der Boden fein- und grobkörnige Mineralien die mit organischem Material (Humus, Lebewesen)

angereichert sein können. Neben den anorganischen und organischen Bestandteilen besteht der Boden noch in der Regel aus mit Luft oder Wasser gefüllten Hohlräumen.[12]

Jeder Boden ist dabei über unterschiedliche Genese und Dynamik aus einem Ausgangsmaterial entstanden. Unter der Dynamik versteht man Einflüsse hervorgerufen durch das Klima, Vegetation, Organismen, Erosion aus Wasser und Wind. Das Ausgangsmaterial (oder auch Muttergestein genannt) selbst, das durch unterschiedliche Verwitterungsprozesse (chemische, physikalische oder biologische) zersetzt wird, wird wiederum durch dessen geologische Entstehungsgeschichte bestimmt.

Ein senkrechter Schnitt durch einen Boden bezeichnet man als Bodenprofil, das sich aus unterschiedlichen Schichten, den „*Horizonten*“, zusammensetzt. Diese Horizonte sind im Bodenprofil klar unterscheidbare Zonen und sind das Ergebnis von bodenbildenden Prozessen wie beispielsweise Verwitterung, Humusbildung oder Vergleyung.

Nach ÖNORM L 1050 werden allgemein folgende grundlegende Bodenhorizonte unterschieden:

- A-Horizont: humusangereicherter Boden
- B-Horizont: Verwitterungshorizont
- C-Horizont: Ausgangsmaterial, aus dem der Boden entstanden ist (oder auch Muttergestein)
- E-Horizont: Auswaschungshorizont durch beispielsweise Lessivierung (oder auch Tonverlagerung genannt) oder Podsolierung (oder auch Sauerbleichung genannt: darunter versteht man den Umlagerungsprozess metallorganischer Verbindungen im Boden durch sickerndes Wasser) unter dem A-Horizont liegend,
- G-Horizont: durch Grundwasser beeinflusster Horizont, auch Gley-Horizont genannt.[13]

Für den Lehmbau ist dabei im Speziellen der B-Horizont interessant. In der österreichischen Bodenkartierung werden dabei zu der Hauptbezeichnung „B-Horizont“ teilweise über einen Kleinbuchstaben noch zusätzliche Angabe vorgenommen:

- Bv-Horizont: B-Horizont mit Verwitterung, z.T. mit deutlicher Verlehmung
- Bt-Horizont: B-Horizont, der mit Ton aus dem oberen Horizont angereichert ist

[12] (ÖNORM EN ISO 14688-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung, 2020, S. 9, 3.17))

[13] Vgl. (ÖNORM L 1050, 2016, S. 6, 3.18)

- Bh-Horizont: B-Horizont, der mit sichtbarem Humus aus dem oberen Horizont angereichert ist
- Bs-Horizont: B-Horizont, der mit Eisen- und Aluminiumverbindungen aus dem oberen Horizont angereichert ist
- Bg-Horizont: B-Horizont mit leichter Vergleyung.

Weisen Böden ähnliche Eigenschaften auf, so werden diese in „Bodentypen" zusammengefasst. Dabei ist aber wichtig zu beachten, dass auf Grund der Komplexität der unterschiedlichen Bodeneigenschaften, auch innerhalb eines Bodentyps noch starke Streuungen auftreten können. Diese werden dann über ergänzende Angaben zum Bodentyp mitberücksichtigt.

Für die Österreichische Bodenkartierung gibt es dabei eine systematische Gliederung der Böden. Die Grundlage für dieses System wurde bereits 1969 von (Fink, 1969) festgelegt und gilt seither auch im Sinne der Konsistenz als Grundlage für die Bodenkartierung in Österreich und so auch für die digitale Aufbereitung eBOD.[14] An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass ÖNORM L 1050 ebenfalls eine Bodensystematik enthält, die sich jedoch als Grundlage auf die revidierte Fassung der Bodensystematik 2000 aus dem Jahr 2011 von (Nestroy, 2011) bezieht. Da für die weitere Arbeit auf die Daten aus eBOD eingegangen wird, wird an dieser Stelle die Bodensystematik analog zu (Fink, 1969) verwendet und kurz in Tabelle 1 vorgestellt. In dieser Tabelle werden jene Böden aufgelistet, die für das Projektgebiet von Relevanz sind.

Tabelle 1 – Systematik der Böden für das Waldviertel

Bereich	Typengruppen	Bodentyp	Abkürzung
Böden im Grundwasserbereich	MOORE	HOCHMOOR	HM
		ÜBERGANGSMOOR	UM
		ANMOOR	N
	AUBÖDEN	BRAUNER AUBODEN	BA
		GRAUER AUBODEN	GA
	GLEYE	(TYPISCHER) GLEY	TG
		EXTREMER GLEY	EG
		HANGGLEY	HG
Land-böden	ROHBÖDEN	LOCKERSEDIMENT-ROHBODEN	LC
	RENDSINEN	EURENDSINA	ER
		PARARENDSINA	PR

[14] (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, 2023)

		RANKER	RR
	SCHWARZERDEN	TSCHERNOSEM	TS
		FEUCHTSCHWARZERDE	FS
		PARATSCHERNOSEM	PS
	BRAUNERDEN	FELSBRAUNERDE	FB
		LOCKERSEDIMENT-BRAUNERDE	LB
		PARABRAUNERDE	PB
	PODSOLE	SEMIPODSOL	SO
	PSEUDOGLEYE	(TYPISCHER) PSEUDOGLEY	TP
		STAGNOGLEY	SP
	RELIKTBÖDEN	RELIKTPSEUDOGLEY	GT
		BRAUNLEHM	BT

Eine wesentliche Eigenschaft des Bodens ist dessen Bodenart oder Textur. Diese setzt sich aus den feinkörnigen Bodenbestandteilen wie „Ton“ und „Schluff“ sowie grobkörnigen Bestandteilen „Sand“ zusammen. Aus diesen drei Korngrößenklassen werden nach ÖNORM L 1050 Bodenarten oder Texturen definiert, die wiederum grafisch in einem Texturdreieck aufbereitet sind, siehe Abbildung 05.

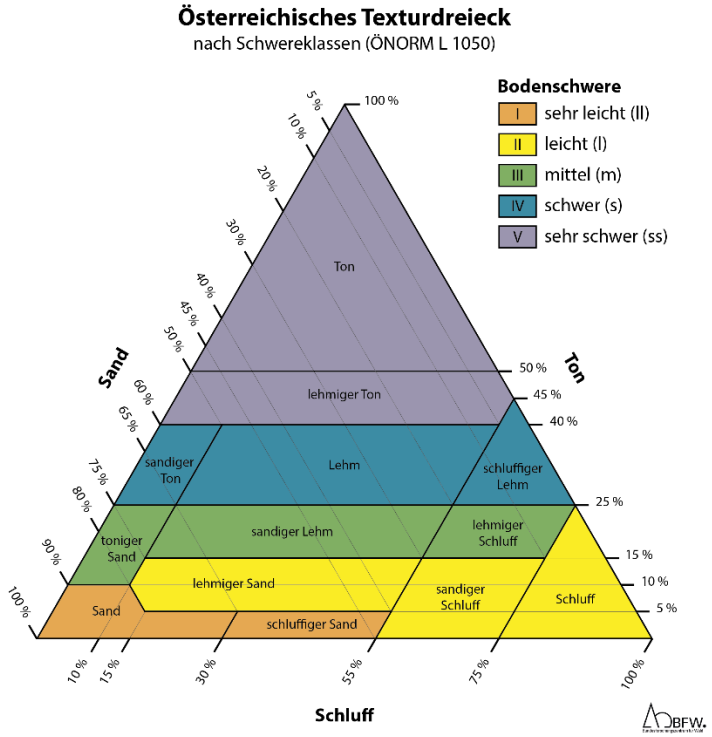


Abbildung 05 – Österreichisches Texturdreieck auf Basis der ÖNORM L 1050

Die Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der unterschiedlichen Bodenarten nach ÖNORM L 1050 inklusive Angaben zum Bereich des Massegehaltes für die jeweilige Kornfraktion in Prozent. Zu

beachten ist dabei, dass in der ÖNORM Schluff mit „U“ abgekürzt wird und in eBOD mit „Z“. In der angeführten Tabelle wird die Schreibweise gemäß eBOD verwendet.

Tabelle 2 – Bodenarteneinteilung nach Österreichischer Bodenkartierung

Symbol	**Bodenart**	**Sand [%] 2,000 - 0,060mm**	**Schluff [%] 0,060 – 0,002mm**	**Ton [%] unter 0,002mm**
S	Sand	65 – 100	0 – 30	0 – 10
zS	Schluffiger Sand	40 – 70	30 – 55	0 – 5
lS	lehmiger Sand	30 – 80	10 – 55	5 – 15
sZ	sandiger Schluff	10 – 45	55 – 75	0 – 15
Z	Schluff	0 – 25	75- 100	0 – 25
tS	Toniger Sand	65 – 90	0 – 10	0 – 25
sL	Sandiger Lehm	20 – 75	10 – 55	10 – 25
lZ	Lehmiger Schluff	0 – 30	55 – 75	15 – 25
sT	Sandiger Ton	50 – 75	0 – 10	25 – 40
L	Lehm	5 – 65	10 – 55	25 – 40
zL	Schluffiger Lehm	0 – 20	55 – 75	25 – 45
lT	Lehmiger Ton	0 – 60	0 – 55	40 – 50

Kornfraktionen mit einem Durchmesser größer 2mm, also ab „*Kies*“, werden in eBOD oder ÖNORM L 1050 als Grobanteile mitberücksichtigt. Diese Grobanteile sind mehr oder weniger angewitterte Gesteine, bei denen das Ausgangsmaterial eine wesentliche Rolle spielt, sowie deren Kornform wie „*gerundet*“ oder „*kantig*“.

Die Tabelle 3 zeigt die Einteilung gemäß eBOD.

Tabelle 3 – Einteilung der Grobanteile nach Österreichischer Bodenkartierung

Bezeichnung	**Korndurchmesser**
Grus (eckig-kantig) und Kies (abgerundet)	2 – 20 mm Ø
Steine (eckig-kantig) und Schotter (abgerundet)	20 – 100 mm Ø
Grobsteine (eckig-kantig) und Grobschotter (gerundet)	100 – - 300 mm Ø
Blöcke (eckig-kantig) und Geröll (gerundet)	über 300 mm Ø

Dazu wird noch der jeweilige Masseanteil an Grobboden zum Gesamtvolumen des Bodens angegeben. Diese Einteilungen finden sich sowohl in eBOD als auch in der ÖNORM L 1050. Die Tabelle 4 zeigt die Einteilung der Menge des Grobkorns gemäß eBOD.

Tabelle 4 – Einteilung der Menge des Grobanteils nach Österreichischer Bodenkartierung

Bezeichnung	**Grobkornanteil**
geringer Grobanteil	0 – 10 Vol.%
mäßiger Grobanteil	10 – 20 Vol.%
hoher Grobanteil	20 – 40 Vol.%
sehr hoher Grobanteil	40 – 70 Vol.%
vorherrschender Grobanteil	mehr als 70 Vol.%

Wobei zu beachten ist, dass in eBOD die Angabe zur Größe und Massenanteil von grobkörnigem Material durch eine verbale Beschreibung erfolgt, beispielsweise in dieser Form: *„mäßiger Grobanteil (Grus)*". Diese Angabe bedeutet dann: 10 – 20 Vol.% von eckig-kantigem Material mit einer Korngröße von 2 – 20 mm.

Alle organischen Bestandteile, die sich im Boden befinden können, werden als Humus bezeichnet. Der Humusgehalt wird dabei qualitativ über Geruchstest/Sichttest oder quantitativ über die Glühmethode bestimmt. Tabelle 5 enthält eine Skala zur Einteilung des Humusgehaltes nach eBOD.

Tabelle 5 – Einteilung des Humusgehaltes nach Österreichischer Bodenkartierung

Bezeichnung	**Humusanteil**
schwach humos	unter 1,5 % Humus
mittelhumos	1,5 – 4,0 % Humus
stark humos	über 4,0 % Humus

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Beschreibung des Bodens ist der natürliche Kalkgehalt, der auch im Lehmbau von Bedeutung ist. Dieser hängt dabei stark vom Muttergestein ab und kann durch Auswaschung (= Entkalkung) im Boden abnehmen bis völlig verloren gehen. Dabei ist zu beachten, dass ein kalkfreier Boden auch ein Indiz für eine Bodenversauerung ist. Tabelle 6 zeigt dabei die Einteilung des Kalkgehalts nach eBOD.

Tabelle 6 – Einteilung des Kalkgehaltes nach Österreichischer Bodenkartierung

Bezeichnung	**Gehalt an Karbonat**
kalkfrei	kein Karbonat
kalkarm	unter 0,5 % Karbonat
schwach kalkhaltig	0,5 – 1,5 % Karbonat
mäßig kalkhaltig	1,5 – 5,0 % Karbonat
stark kalkhaltig	über 5,0 % Karbonat

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass es neben ÖNORM L 1050 für die Beschreibung und Klassifizierung von Boden aus der Geotechnik ebenfalls eine Norm vorliegt, mit der diese erfolgen kann. Es handelt

sich dabei um die ÖNORM EN ISO 14688-2. Sind zur Beschreibung der unterschiedlichen Kornfraktion beide Normen noch annähernd gleich, so finden sich für die Einteilung des Humusgehaltes oder Kalkgehalt doch unterschiedlich Kennzahlen.

Tabelle 7 zeigt nun die Einteilung des Humusgehaltes nach ÖNORM EN ISO 14688-2.

Tabelle 7 – Einteilung des Humusgehaltes nach ÖNORM EN ISO 14688-2

Bezeichnung	**Organischer Anteil in [%]**
schwach organisch	2 bis 6
mäßig organisch	6 bis 20
stark organisch	> 20
Torf/Gyttja/Dy/Humus	—

Die Einteilung des Kalkgehaltes nach ÖNORM EN ISO 14688-2 zeigt die Tabelle 8.

Tabelle 8 – Einteilung des Kalkgehaltes nach ÖNORM EN ISO 14688-2

Bezeichnung	**Kalkgehalt in [%]**
nicht kalkhaltig	< 1
leicht kalkhaltig	1 bis 5
kalkhaltig	5 bis 25
sehr kalkhaltig	25 bis 50
sehr stark kalkhaltig oder Kalk	> 50

Des Weiteren kann der Boden über seine Bodenreaktion noch näher beschrieben werden. Diese gibt an, wie viele freie Wasserstoff-Ionen (H-Ionen) sich in einer Bodenlösung befinden. Diesen Umstand kann man elektrometrisch messen und wird dann als pH-Wert angegeben. Ist die H-Ionen-Konzentration hoch, dann ist der pH-Wert niedrig und der Boden wird als „*sauer*“ bezeichnet. Eine Einteilung zur Bodenreaktion nach eBOD zeigt die Tabelle 9.

Tabelle 9 – Einteilung der Bodenreaktion nach Österreichischer Bodenkartierung

pH-Wert	**Bodenreaktion**
unter 4,6	stark sauer
4,6 - 5,5	sauer
5,6 - 6,5	schwach sauer
6,6 - 7,2	neutral
7,3 - 8,0	alkalisch
über 8,0	stark alkalisch

3.1.4 Bodenkunde für das Waldviertel

Um nun eine Bodenanalyse für das Waldviertel aussagekräftig durchführen zu können, wurde zunächst für das komplette Projektgebiet eine Datenaufstellung für die unterschiedlichen vorhandenen Bodentypen durchgeführt.

Das Waldviertel, wie bereits weiter oben aufgelistet, besteht aus 15 Kartierungsbereichen. Diese weisen wiederum jede für sich eine unterschiedliche Anzahl von Bodenformen (IDs) auf. In Summe sind das knapp über 500 Bodenformen.

Als erster Schritt wurden nun diese ausgelesen und für jede Fläche der dazugehörige Bodentyp angeschrieben. Die genaue Aufstellung dazu befindet sich im Anhang B. Aus dieser ersten Datenanalyse ergab sich, dass im Waldviertel folgende Typengruppen vorherrschend sind (mit einer Gesamtsumme von 99,14% der kartierten Fläche):

- Braunerde mit 61,80%
- Reliktböden mit 10,24%
- Gleye mit 9,33%
- Komplexe mit 5,15%
- Untypische Böden mit 2,98%
- Schwarzerde mit 3,21%
- Gleye mit 2,34%
- Auböden mit 2,38%
- Rendsinen mit 1,71%

In der weiteren Betrachtung wurden nun die Hauptbodentypen für das Waldviertel näher analysiert. Dazu wurde für die jeweilige Typengruppe die Anteile der jeweiligen Bodentypen ermittelt.

Zum Beispiel besteht die Typengruppe „*Braunerde*“ aus den Bodentypen: Felsbraunerde, Lockersediment-Braunerde und Parabraunerde. Für diese wurde nun wieder der entsprechende Flächenanteil zusammengestellt.

Aus dieser Analyse wurde nun für die wichtigsten Bodentypen eine nähere Analyse auf dessen Bodeneigenschaften vorgenommen. Um diese durchführen zu können, wurde für jeden relevanten Bodentyp wieder vor allem sehr großen Kartierungsflächen betrachtet und von diesen die dazugehörigen Parameter ausgelesen. Dabei werden die für den Lehmbau relevanten Bodenschichten betrachtet, also Schichten nach dem vom Humus geprägten A-Horizont.

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse näher vorgestellt, und zwar für folgenden Typengruppen: Braunerde, Reliktböden und Gleye.

Braunerde B	
Felsbraunerde FB	48,82%
Lockersediment-Braunerde LB	10,41%
Parabraunerde PB	2,57%
	61,80%

Den größten Anteil weist bei der Braunerde mit knapp 50% der Gesamtfläche die Felsbraunerde auf, mit folgenden Bodeneigenschaften:

- Typische Ausgangsmaterialien: Granit, Gneis, Silikate, Schiefer
- Typische Bodenart: lehmiger Sand mit folgenden gemittelten Werten Ton 11,5%, Schluff 32% und Sand 56%,
- Abhängig von der Entnahmetiefe liegt der Humusgehalt zwischen 3,4 und 0,3%, ab einer Tiefe von 35cm ist dieser immer schwach humos also unter 1,5%,
- der pH-Wert liegt im Durchschnitt bei 5 und damit weist dieser Boden im Mittel eine „saure“ Bodenreaktion auf. Der Boden ist auch in der Regel kalkfrei.

Neben der Felsbraunerde weist mit immerhin noch 10% der Bodentyp Lockersediment-Braunerde den zweitgrößten Anteil aller betrachteten Flächen auf. Dieser hat wiederum folgende wesentliche Bodeneigenschaften:

- Typische Ausgangsmaterialien: Löss oder Lösslehm
- Typische Bodenart (<2mm): schluffiger Lehm mit folgenden gemittelten Werten Ton 30%, Schluff 60% und Sand 10%,
- Humusgehalt ist immer schwach humos also unter 1,5%,
- der pH-Wert liegt im Durchschnitt bei 5 und damit weist dieser Boden im Mittel eine „saure“ Bodenreaktion auf. Der Boden ist auch in der Regel kalkfrei.

Reliktböden T	
Braunlehm BT	1,10%
Reliktpseudogley GT	9,14%
	10,24%

Der Reliktpseudogley (GT) eine ebenfalls große Gruppe mit knapp über 9% der Gesamtfläche weist gerade für den Lehmbau sehr interessante Bodeneigenschaften auf. Wobei noch anzumerken ist, dass

hier kein B-Horizont vorhanden ist und die Betrachtung über den E-Horizont (= Auswaschungshorizont, unter dem A-Horizont liegend) bzw. Svrel-Horizont (Staukörper eines Pseudogleys mit Verwitterung und reliktem Horizont) erfolgt:

- Typische Ausgangsmaterialien: Gneis (altes silikatisches Verwitterungsmaterial), Kristallin
- Typische Bodenart (<2mm): Lehm mit folgenden gemittelten Werten Ton 30%, Schluff 47% und Sand 23%,
- Humusgehalt ist immer schwach humos also unter 1,5%,
- der pH-Wert liegt im Durchschnitt unter 4,6 und damit weist dieser Boden im Mittel eine „stark saure“ Bodenreaktion auf.

Gleye G	
Gley G	2,29%
(Typischer) Gley TG	3,44%
Extremer Gley EG	1,76%
Hanggley HG	1,84%
	9,33%

Mit 3,44% bezogen auf die Gesamtfläche weist der typische Gley TG schon einen relativ kleinen Anteil auf. Auch hier stammen die Angaben zu den Profileigenschaften nicht aus einem B-Horizont, sondern aus dem G-Horizont, der dadurch geprägt ist, dass dieser Horizont stark vom Grundwasser beeinflusst wird. Die entsprechenden Bodeneigenschaften sind:

- Typische Ausgangsmaterialien: Silikate
- Typische Bodenart (<2mm): sandiger Lehm bis Sand mit folgenden gemittelten Werten Ton 9%, Schluff 20% und Sand 71%
- Humusgehalt ist immer schwach humos also unter 1,5%
- der pH-Wert liegt im Durchschnitt klar unter 4,6 und damit weist dieser Boden im Mittel eine „stark saure“ Bodenreaktion auf.

3.2 Zusammenstellung der Probenentnahmestellen

3.2.1 Allgemeines

Auf Basis der geologischen und vor allem bodenkundlichen Untersuchungen aus der Analyse der Bodenkarte für das Waldviertel aus Kapitel 3.1.4 war es bei der Probenahme das Ziel, entsprechende für das Waldviertel typische Bodentypen zu finden, um diese dann auf Basis der in der Camillo Sitte

Versuchsanstalt für Bautechnik durchgeführten geotechnischen Untersuchungen im Vergleich zu den vorhandenen Kennwerten der digitalen Bodenkarte zu setzen.

Die nachstehende Tabelle 10 zeigt eine Zusammenstellung der Entnahmestellen aus denen Lehmproben für die geotechnische Laboruntersuchungen entnommen wurden.

Tabelle 10 – Zusammenstellung der Entnahmestellen

BL	PLZ	Ort	Bodentyp
BL02	3595	Brunn/Wild	~sFB
BL03	3860	Heidenreichstein	sFB
BL04	3822	Karlstein a. d. Thaya	wsHG
BL05	2154	Kleinbaumgarten	wkTG
BL06	2130	Mistelbach	kLU, TS
BL08	3741	Pulkau	TS
BL09	3943	Schrems	sTG
BL10	3830	Waidhofen/Thaya	sFB
BL11	3851	Pleßberg	GT
BL12	3872	Langegg	sEG

Dabei kann man sehen, dass damit folgende Typengruppen abgedeckt werden konnten:

- Braunerde mit BL02, BL03, BL10,
- Reliktböden mit BL11,
- Gleye mit BL04, BL05, BL09, BL12,
- Schwarzerden mit BL06, BL08.

In weiterer Folge werden nun für die einzelnen Baulehmproben eine Zusammenstellung zu den geologischen und bodenkundlichen Eigenschaften vorgenommen. Eine detaillierte Ausarbeitung zu den bodenkundlichen Daten befindet sich im Anhang C.

Für die geologische Analyse dient die geologische Karte von Niederösterreich 1:200.000 herausgegeben von der geologischen Bundesanstalt.

Die bodenkundlichen Daten basieren auf den Daten der digitalen Bodenkarte eBOD. Dabei wurden die für den Standort geltende Bodenform und das dazugehörige Bodenprofil in der Analyse betrachtet.

In den folgenden Tabellen werden nur diese Daten angeführt, die gerade eine Aussagekraft zur Interpretation für die Anwendbarkeit des Bodenaushub als Baulehm aufweisen könnten. Vor allem

diese Daten werden dann in weiterer Folge mit den Ergebnissen aus den geotechnischen Erst- und Detailuntersuchung, die in der CSVA durchgeführt wurden, verglichen. Die Ermittlung und Beschreibung dieser Daten befinden sich dann im Kapitel 4.

Des Weiteren wird für jede Bodenentnahmestelle ein Kartenausschnitt eingefügt, in dem die Entnahmestelle als rotbraun markierter Kreis eingezeichnet ist. Als Kartengrundlage wurde dabei „basemap“ verwendet.[15]

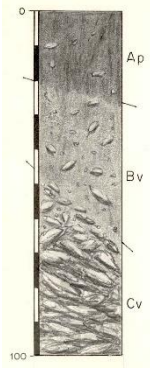
3.2.2 Baulehme im Detail

Baulehm BL02 „Brunn a. d. Wild“

Die Entnahmestelle für den Baulehm BL02 „Brunn a. d. Wild“ liegt nördlich vom Ortszentrum Jasnitz an einer unbebauten Fläche in einer Richtung Westen fallenden Hanglage. Zu beachten ist, dass die Entnahmestelle 2 mit der LNr. 25 012 jene ist, die in der Karte gleich östlich vom Gebäude mit der Nummer 6 liegt. Wobei zu beachten ist, dass in der Natur mittlerweile das Gebäude abgerissen wurde und die Probe aus einem Anschnittbereich entnommen wurde mit dem Verdacht einer leichten Kontaminierung resultierend aus den Abrisstätigkeiten. Ferner ist anzumerken, dass die beiden Entnahmestellen nicht in einer Bodenform liegen. Daher wurde zur Auswertung die am nähest liegende Bodenform herangezogen, die sich etwa 50m von der Probestelle entfernt befindet. Die Tabelle 11 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

[15] Quelle: https://basemap.at/ [Zugriff am 10.8.2026]

Tabelle 11 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL02

Entnahmestelle:	**Brunn a. d. Wild**			
Baulehm:	BL02		*LNR:*	25 011 (1) und 25 012 (2)
Entnahmetiefe 1:	35-38cm		*Ausgangsmaterial:*	aufgemürbter Gneis
Entnahmetiefe 2:	Anschnitt		*Bodentyp:*	kalkfreie Felsbraunerde, sFB
Sand (45cm):	64%		*Bodenart:*	Sand, lehmiger Sand (Bv)
Schluff (45cm):	31%		*Grobanteil:*	mäßig, viel Grus, wenig Steine 2-8 cm Ø
Ton (45cm):	5%		*Humusverhältnisse:*	1,1%
Kalkgehalt:	kalkfrei			





19: Quartär, Allg. Ausscheidungen, Löss, Lösslehm 19

724: Kristallin der Böhmischen Masse, Moldanubikum, Drosendorf-Einheit, Marmor, Silikatmarmor[16] 724

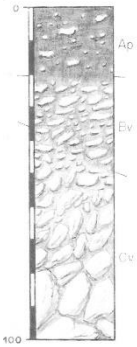
[16] (Schnabel, 2002)

Baulehm BL03 „Heidenreichstein“

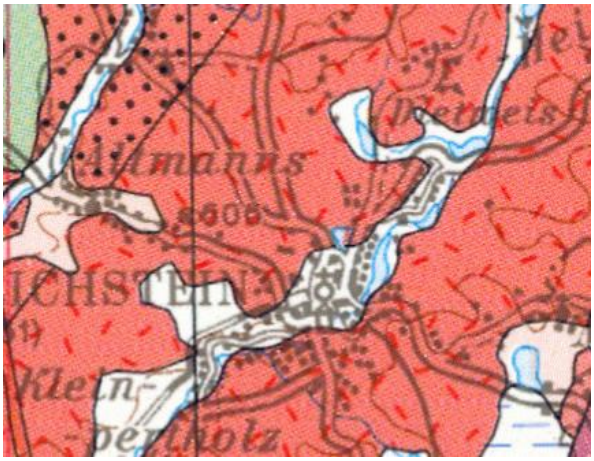
Die Entnahmestelle für den Baulehm BL03 „Heidenreichstein“ liegt nördlich vom Ortsteil Edel Mühle bei Heidenreichstein an einer unbebauten ebenen Fläche. Die Tabelle 13 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 12 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL03

Entnahmestelle:	**Heidenreichstein**		
Baulehm:	BL03	*LNR:*	25 003
Entnahmetiefe:	20-40cm	*Ausgangsmaterial:*	Granitverwitterung (Eisgarner Granit)
Sand (35cm):	58%	*Bodentyp:*	kalkfreie Felsbraunerde, sFB
Schluff (35cm):	27%	*Bodenart:*	lehmiger Sand oder sandiger Lehm (Bv)
Ton (35cm):	15%	*Grobanteil:*	sehr hoher Grobanteil (Grus, Steine) 8 cm Ø
Kalkgehalt:	kalkfrei	*Humusverhältnisse:*	2%







737: Kristallin der Böhmischen Masse, Südböhmischer Pluton, Eisgarner Granit, porphyrisch[17]

[17] (Schnabel, 2002)

Baulehm BL04 „Karlstein a. d. Thaya“

Die Entnahmestelle für den Baulehm BL04 „Karlstein a. d. Thaya“ liegt nördlich der Raabser Straße unmittelbar nach der östlichen Ortseinfahrt in Karlstein an einer unbebauten ebenen Fläche. Die etwas westlichere Entnahmestelle (25 002) enthielt Reste von zertrümmerten Tonscherben, eventuell von Kanalrohren, die möglicherweise von durchgeführten Drainagemaßnahmen stammen. Die Tabelle 18 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 13 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL04

Entnahmestelle:	**Karlstein a. d. Thaya**		
Baulehm:	BL04	*LNR:*	25 001 und 25 002
Entnahmetiefe:	37/53cm	*Ausgangsmaterial:*	umgelagertes, feines und grobes, kristallines Lockermaterial, kolluvial beeinflusst
Sand (35cm):	52%	*Bodentyp:*	entwässerter, kalkfreier Hanggley, wsHG
Schluff (35cm):	27%	*Bodenart:*	sandiger Lehm (Gor)
Ton (35cm):	21%	*Grobanteil:*	mäßiger Grobanteil (Grus)
Kalkgehalt:	kalkfrei	*Humusverhältnisse:*	0,8%







713: Kristallin der Böhmischen Masse, Moldanubikum, Gföhl-Einheit, Granulit

720: Kristallin der Böhmischen Masse, Moldanubikum, Gföhl-Einheit, Augitgneis[18]

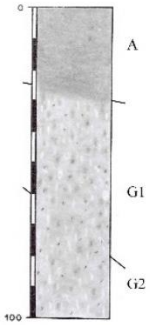
[18] (Schnabel, 2002)

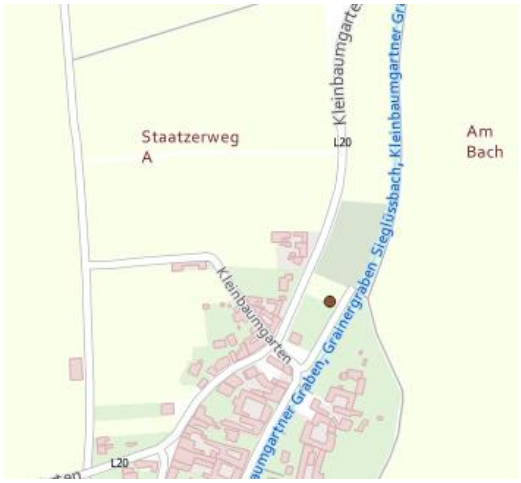
Baulehm BL05 „Kleinbaumgarten“

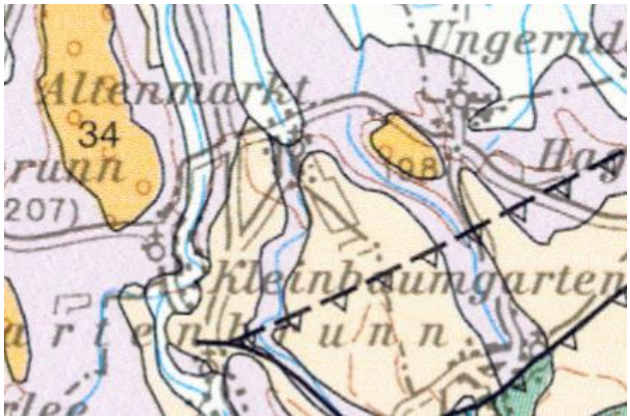
Die Entnahmestelle für den Baulehm BL05 „Kleinbaumgarten“ liegt nördlich von Kleinbaumgarten einige hundert Meter nach der Ortseinfahrt zwischen der Landesstraße L20 und dem Sieglüssbach auf einer unbebauten ebenen Fläche. Die Entnahmestelle liegt zwar nicht in einer Bodenform, doch unmittelbar in 40m Entfernung zu einer Bodenform, die dafür herangezogen wurde. Die Tabelle 14 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 14 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL05

Entnahmestelle:	**Kleinbaumgarten**		
Baulehm:	BL05	*LNR:*	25 009
Entnahmetiefe:	40-61cm	*Ausgangsmaterial:*	feines Kolluvial- und Schwemmmaterial
Sand:	8%	*Bodentyp:*	entwässerter, kalkhaltiger Typischer Gley, wkTG
Schluff:	63%	*Bodenart:*	schluffiger Lehm (Bv)
Ton:	29%	*Grobanteil:*	-
Kalkgehalt:	stark kalkhaltig	*Humusverhältnisse:*	0,9%







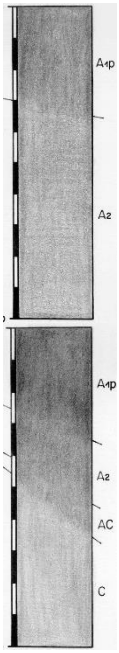
2: Quartär, Allgemeine Ausscheidungen, Talfüllung – Jüngster Talboden (Kies, Auelehm)[19] 2

[19] (Schnabel, 2002)

Baulehm BL06 „Mistelbach“

Die Entnahmestelle für den Baulehm BL06 „Mistelbach“ liegt südlich der Liechtensteinstraße L 35 und westlich vom Parkplatz bei der Herzog-Albrecht Straße an einer unbebauten, ebenen Fläche. Die zur Bahn näher gelegene Entnahmestelle ist dabei LNr. 25 008. Die Tabelle 15 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 15 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL06

Entnahmestelle:	**Mistelbach**			
Baulehm:	BL06		*LNR:*	25 007 (1) und 25 008 (2)
Entnahmetiefe 1:	35-40cm		*Ausgangsm. 1:*	kalkhaltige Feinsedimente (äolisch)
Entnahmetiefe 2:	40-50cm		*Ausgangsm. 2*	abgeschwemmtes Krumenmaterial
Sand (1: 35cm, 2: 50cm):	33%(1), 13%(2)		*Bodentyp 1:*	Tschernosem, sFB
			Bodentyp 2:	kalkhaltiges Kolluvium, kLU
Schluff (1: 35cm, 2: 50cm):	49%(1), 67%(2		*Bodenart 1:*	lehmiger Sand (A2/C)
			Bodenart 2:	lehmiger Schluff (A2)
Ton (1: 35cm, 2: 50cm):	18%(1), 20%(2		*Grobanteil:*	-
Kalkgehalt:	Stark kalkhaltig (1,2)		*Humusv.:*	1,4%





2: Quartär, Allgemeine Ausscheidungen, Talfüllung – Jüngster Talboden (Kies, Auelehm) 2

19: Quartär, Allgemeine Ausscheidungen, Löss, Lösslehm 19 [20]

[20] (Schnabel, 2002)

Baulehm BL08 „Pulkau“

Die Entnahmestelle für den Baulehm BL08 „Pulkau“ stammt aus anfallendem Bodenaushubmaterial im Zuge der Errichtung einer Reihenhausanlage und liegt zwischen Anton-Reich Straße und Niklas-Breu Straße in Pulkau. Daher ist für diesen Baulehm die genaue Entnahmetiefe unbekannt.

Die Tabelle 16 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 16 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL08

Entnahmestelle:	**Pulkau**		
Baulehm:	BL08	*LNR:*	25 010
Entnahmetiefe:	Aushub	*Ausgangsmaterial:*	feine, kalkhaltige Tertiär-Sedimente
Sand (70cm):	7%	*Bodentyp:*	Tschernosem, TS
Schluff (70cm):	40%	*Bodenart:*	lehmiger Ton oder Ton (C)
Ton (70cm):	53%	*Grobanteil:*	-
Kalkgehalt:	Stark kalkhaltig	*Humusverhältnisse:*	0,6%





128: Molasse, Eggenburgium Ottnangium 128 [21]

[21] (Schnabel, 2002)

Baulehm BL09 „Schrems“

Die Entnahmestelle für den Baulehm BL09 „Schrems“ liegt östlich vom Ortsteil Zwiemannsbusch im Waldviertler Wohnpark an einer unbebauten ebenen Fläche. Die Tabelle 17 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 17 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL09

Entnahmestelle:	**Schrems**		
Baulehm:	BL09	*LNR:*	25 004
Entnahmetiefe:	35-50cm	*Ausgangsmaterial:*	silikatisches Material
Sand (45cm):	62%	*Bodentyp:*	Gley, sTG
Schluff (45cm):	28%	*Bodenart:*	sandiger Lehm (G1)
Ton (45cm):	10%	*Grobanteil:*	geringer Grobanteil (Grus)
Kalkgehalt:	kalkfrei	*Humusverhältnisse:*	0,6%





5: Quartär, Allgemeine Ausscheidungen, Vernässung, Moor 5

14: Quartär, Allgemeine Ausscheidungen, Lehm, Verwitterungslehm 14 [22]

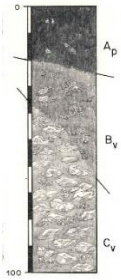
[22] (Schnabel, 2002)

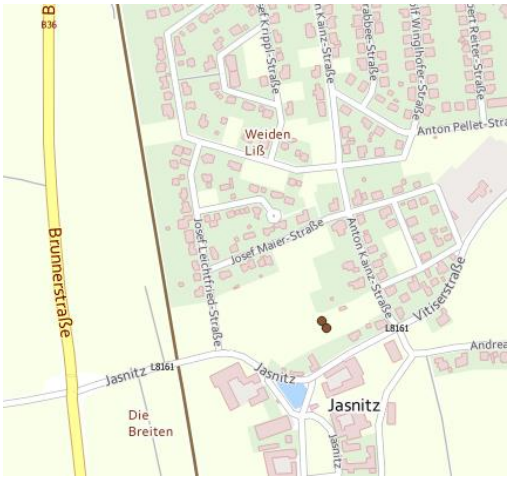
Baulehm BL10 „Waidhofen a. d. Thaya“

Die Entnahmestelle für den Baulehm BL10 „Waidhofen a. d. Thaya“ liegt nördlich vom Ortsteil Jasnitz an einer unbebauten Fläche in einer leicht Richtung Westen fallenden Hanglage. Die Tabelle 18 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 18 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL10

Entnahmestelle:	**Waidhofen a. d. Thaya**		
Baulehm:	BL10	*LNR:*	25 005 und 25 006
Entnahmetiefe 1:	45cm	*Ausgangsmaterial:*	Gneis
Entnahmetiefe 2:	30cm		
Sand:	54%	*Bodentyp:*	kalkfreie Felsbraunerde (sFB)
Schluff:	35%	*Bodenart:*	lehmiger Sand (Bv)
Ton:	11%	*Grobanteil:*	mäßig, viel Grus, wenig Steine 5cm Ø
Kalkgehalt:	kalkfrei	*Humusverhältnisse:*	<0,6%







721: Kristallin der Böhmischen Masse, Moldanubikum, Gföhl-Einheit, Buschandlwand[23]

[23] (Schnabel, 2002)

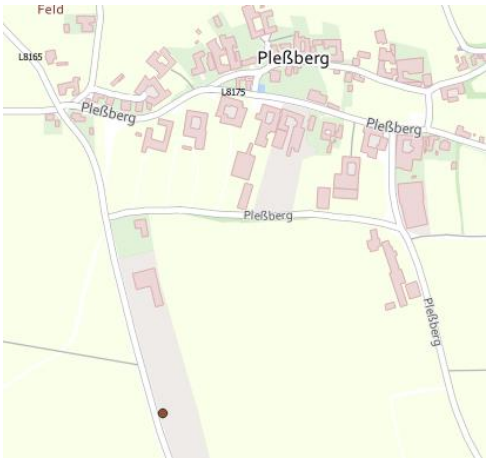
Baulehm BL11 „Pleßberg“

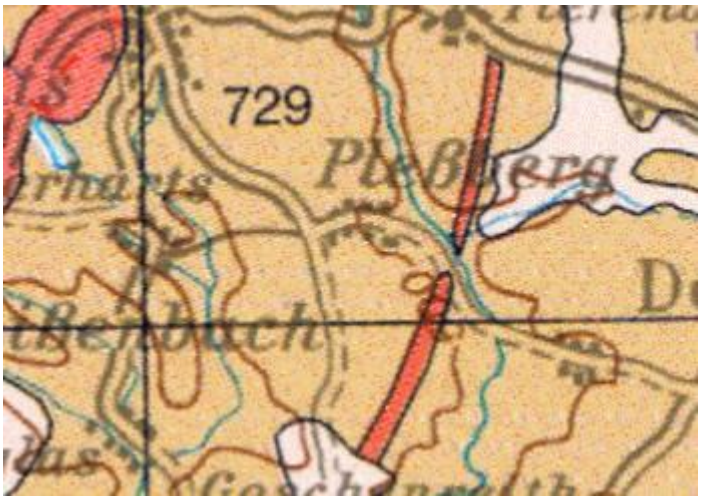
Die Entnahmestelle für den Baulehm BL11 „Pleßberg“ liegt südlich von Pleßberg an der L8165.

Die Tabelle 19 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 19 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL11

Entnahmestelle:	**Pleßberg**		
Baulehm:	BL11	*LNR:*	25 013
Entnahmetiefe:	200cm	*Ausgangsmaterial:*	alte Kristallinverwitterung
Sand (65cm):	10%	*Bodentyp:*	Reliktpseudogley, GT
Schluff (65cm):	59%	*Bodenart:*	schluffiger Lehm (Svrel)
Ton (65cm):	31%	*Grobanteil:*	-
Kalkgehalt:	kalkfrei	*Humusverhältnisse:*	<0,5%





729: Kristallin der Böhmischen Masse, Moldanubikum, Ostrong-Einheit, Gneis [729] [24]

[24] (Schnabel, 2002)

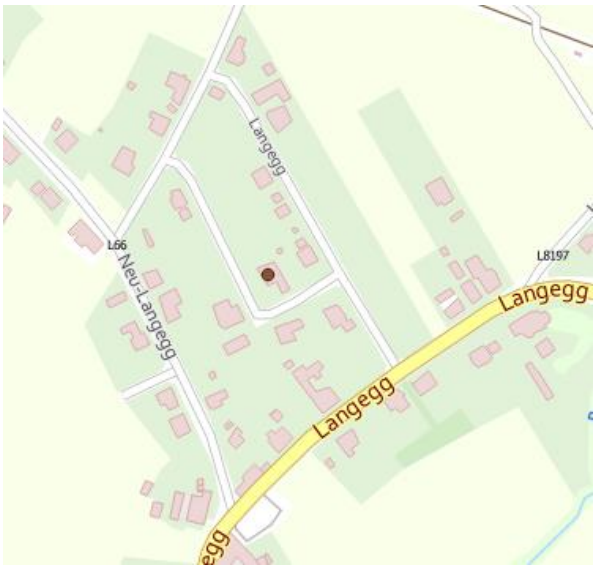
Baulehm BL12 „Langegg“

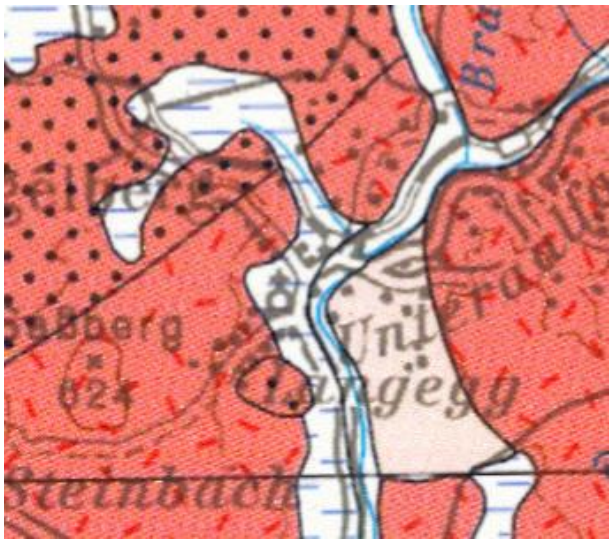
Die Entnahmestelle für den Baulehm BL12 „Langegg“ liegt nördlich von Langegg in einem neuen Ortsteil in einem ebenen Gelände.

Die Tabelle 20 enthält eine Zusammenstellung über die für den Lehmbau maßgebenden Bodeneigenschaften.

Tabelle 20 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL12

Entnahmestelle:	**Langegg**		
Baulehm:	BL12	*LNR:*	25 014
Entnahmetiefe:	100-200cm	*Ausgangsmaterial:*	silikatisches Material
Sand:	96%	*Bodentyp:*	Extremer Gley, sEG
Schluff:	2%	*Bodenart:*	Sand (G2)
Ton:	2%	*Grobanteil:*	geringer Grobanteil (Grus)
Kalkgehalt:	kalkfrei	*Humusverhältnisse:*	-%





5: Quartär, Allgemeine Ausscheidungen, Vernässung, Moor [25]

[25] (Schnabel, 2002)

4 PRÜFMATIX – BEWERTUNG DES BODENAUSHUBES AUF DESSEN ANWENDBARKEIT ALS LEHMBAUSTOFF

4.1 Allgemeines

Spricht man von Bodenaushub so handelt es sich dabei um einen Sekundärrohstoff, der aus unterschiedlichen Bauaktivitäten anfallen kann. Er stammt zumeist aus Hoch- und Tiefbauprojekten, gerade bei großen Infrastrukturprojekten fallen sehr große Kubaturen von Bodenaushub an, kann aber auch im Zuge von Abbau mineralischer Primärrohstoffen wie Kies und Schotter anfallen. Dabei wäre etwa die oft bis zu mehreren Metern starke Deckschicht, die vor dem Kiesabbau entfernt werden muss, ein Thema bzw. im Zuge der Kieswaschung die Gewinnung von feinkörnigen Gesteinsmaterial, wenn diese durch den Waschvorgang dem abgebauten Material entzogen wird.

In beiden Fällen ist nach noch geltender Rechtsprechung dieses anfallende Material als Abfall zu behandeln. Die nachfolgende Abbildung 06 zeigt dabei in Zahlen wie viel Abfall aus Bodenaushub etwa im Jahr 2023 in Österreich angefallen ist.

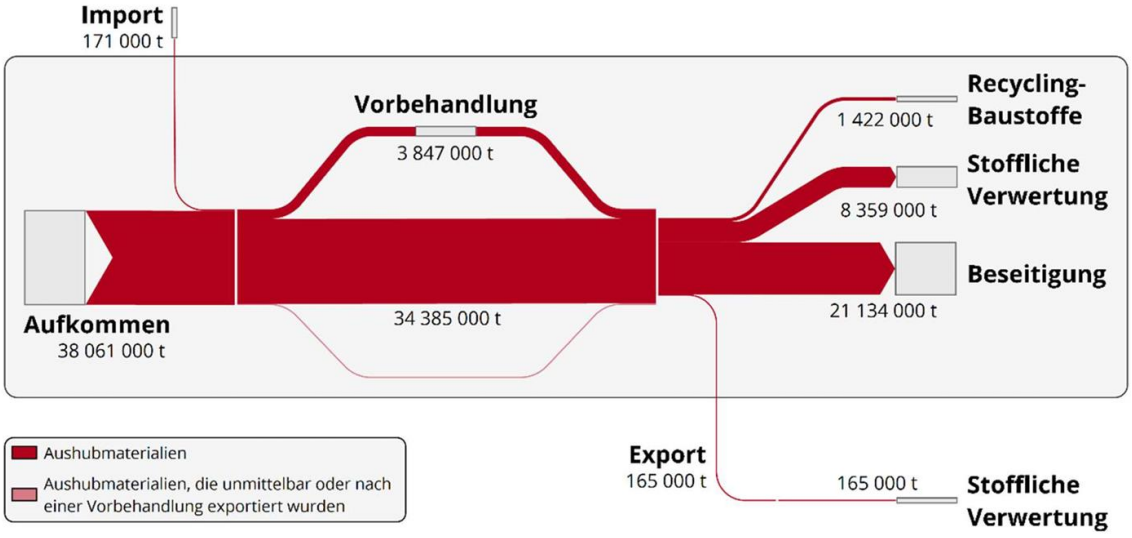


Abbildung 06 – Stoffstrombild für das Aushubmaterial im Jahr 2023 für Österreich, angegeben in Tonnen (Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich, Statusbericht 2025)

Dabei kann man gut erkennen, dass von den aufkommenden 38 Millionen Tonnen Abfall, rund 1,5 Millionen Tonnen für einen Recycling-Baustoff wiederverwendet werden, 8 Millionen Tonnen einer stofflichen Verwertung (Bodenrekultivierung, Erdbaumaßnahmen) zugeführt wird und der Rest

deponiert wird. Es gilt daher alle Anstrengungen zu unternehmen, um im Sinne eines kreislauffähigen Handelns diese beachtlichen Kubaturen an Bodenaushub einer weiteren Verwendung zuzuführen.

Dies würde nicht nur zu einer Verringerung des Deponievolumens führen, sondern auch den Verbrauch von Primärrohstoffen reduzieren. Nach dem derzeit geltenden Abfallrecht ist dieses noch mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Das soll sich aber ändern. Denn künftig soll die neue Aushubverordnung eine Erleichterung schaffen, indem für Bodenaushubmaterial, das nicht kontaminiert ist, das sofortige Abfallende gemeldet werden kann, um dieses im Sinne dieser Verordnung als „*Sonstiger Baustoff*“ gemäß §12 der Aushubverordnung zu verwenden. Unter diesem Titel fallen dann auch Lehmbaustoffe, wobei in der Verordnung als Beispiele konkret der Lehmputz und der Lehmziegel als Anwendungsmöglichkeiten genannt werden.[26]

Daher gilt es für den zumeist zufällig und heterogen anfallenden Sekundärrohstoff entsprechende Vorgaben für die Prüfung und die Aufbereitung zu schaffen, um so den Bodenaushub für die Anwendung als Baulehm sicherstellen zu können. Daher werden im folgenden Kapitel Vorgaben definiert, wie dies über mehrere Schritte realisiert werden könnte.

Hierfür wäre folgender stufenweiser Prüfplan für den Bodenaushub bis hin zur möglichen Verwendung als Baulehm denkbar:

Stufe 0 – Probeentnahme vor Ort des Bodenaushubes

Stufe 1 – Vorerkundung über „*eBOD*“ zu den möglichen zu erwartenden Bodeneigenschaften des Bodenaushubs an der Probeentnahmestelle und Durchführung erster einfacher Handtests zur Ersteinschätzung des Materials.

Stufe 2 – Eignungsprüfung des Bodenaushubes über Umweltprüfung (verpflichtet bei mehr als 2000 Tonnen Bodenaushub nach BAWP 2023[27]) sowie den wesentlichen lehmbauspezifischen Bodeneigenschaften im Labor.

Stufe 3 – Entscheidungsmatrix: aus den gewonnenen Erkenntnissen der Eignungsprüfung wird festgelegt, ob der Bodenaushub als Bauprodukt „Baulehm“ aufbereitet wird (über

[26] Vgl. (AushubVO, Entwurf, 2026)

[27] Vgl. (Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023 Teil 1, 2023)

Zwischendeponierung für eine spätere Verwendung gekennzeichnet und bereitgestellt) oder als Ausgangstoff für die sofortige Herstellung eines Lehmbaustoffes eingesetzt wird.

Stufe 4 – Detail-/Produktprüfung:

als Lehmbaustoff: falls erforderlich wegen fehlendem Material bzw. Verbesserung der Bodeneigenschaften wird durch Zugabe unterschiedlicher Bodenaushübe ein Homogenisieren vorgenommen. Diese homogenisierte Mischung gilt dann als Ausgangsstoff für die entsprechende Lehmbaustoffprüfung, beispielsweise für ein Lehmsteinmauerwerk wären das die Prüfungen nach ÖNORM B 3230-1 bzw. DIN 18945 für die Lehmmauersteine sowie ÖNORM B 3230-2 bzw. DIN 18946 für den Lehmmauermörtel (siehe Kapitel 5)

als Bauprodukt „Baulehm“: gemäß Prüfmatrix (siehe Tabelle 22) wird vom Hersteller des Baulehms festgelegt, ob weitere vertiefende Prüfungen vor einer Zwischendeponierung zweckmäßig sind. Denkbar wären in diesem Zusammenhang etwa über Prismen die Produkteigenschaften zur Rohdichte, Lineares Trockenschwindmaß sowie Biegezug- und Druckfestigkeit zu bestimmen.

Für jede der genannten Stufen wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes eigene Formblätter entwickelt.

4.2 Probeentnahme

Für die Durchführung einer Probeentnahme sind zumindest folgende Punkte aufzunehmen:

- Standortbeschreibung der Entnahmestelle des Bodenaushubmaterials,
- augenscheinliche Umweltprüfung (kontaminiert/nicht kontaminiert) bei einer Bodenaushubmenge kleiner 2000 Tonnen,
- Kennzeichnung der Bodenprobe (z.B. BL01, …),
- Koordinaten der Entnahmestellen (X- , Y-Koordinaten),
- Tiefe der entnommenen Bodenprobe,
- Datum der Probenentnahme.

Für diesen Vorgang wurde ein eigenes Formblatt (FB 01) entwickelt, das sich im Anhang F befindet.

Eine Zusammenstellung der einzelnen Probeentnahmestellen von diesem Forschungsprojekt befindet sich im Anhang A.

Für die Entnahme des Bodenmaterials können folgende Verfahren angewendet werden:

- Schurf, wenn möglich, ist diese Entnahmeform vorzuziehen,
- Pürckhauer Erdbohrstock: geeignet für eine Tiefe bis einen Meter, wobei in der Regel mit dieser Methode nicht mehr als 250 g entnehmbar sind,
- Edelmannbohrer: abhängig von der Bodenart ist eine Entnahmetiefe von bis zu fünf Metern möglich.

Die zu benötigte Bodenmenge ist vom geplanten bzw. festgelegten Prüfumfang abhängig. Soll der Bodenaushub als Bauprodukt „*Baulehm*“ zunächst verwendet werden ist diese deutlich geringer, als wenn eine umfangreiche Lehmbaustoffprüfung durchzuführen ist. Daher ist dies dem jeweiligen Anwendungsfall entsprechend anzupassen bzw. aus den Prüfnormen die geforderte Mengenangabe zu entnehmen.

4.3 Vorerkundung

Wie bereits zuvor erwähnt, fällt der Bodenaushub zufällig an und ist dadurch auch zumeist heterogen beschaffen im Vergleich etwa zu Grubenlehm. Daher ist es so wichtig, rasch eine erste grob Abschätzung über die Qualität feststellen zu können.

Allgemein erfolgt die Vorerkundung über

- Geologische Karten und digitalen Bodenkarte „*eBOD*“
- Geotechnischen Handtests gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1 auf der Baustelle oder Labor
- Handtests zur Bodenart über (Rowell, 2013)

Für die Vorerkundung, „*eBOD*“ und Handtests, wurden ebenfalls eigene Formblätter entwickelt, die sich im Anhang F befinden.

4.3.1 Geologische Karten und „*eBOD*“

Geologische Karten (Schnabel, 2002) vermitteln ein für Österreich flächendeckendes Bild der obersten geologischen Schicht, die wiederum erste Hinweise auf das Ausgangsmaterial und die daraus resultierende Bodenbeschaffenheit liefern.[28]

Diese noch etwas grobe Einschätzung des möglichen anstehenden Bodens wird durch eine vertiefende Prüfung der Eigenschaften aus dem Datenmaterial der digitalen Bodenkarte „*eBOD*“ entscheidend erweitert. Diese liefert zu den unterschiedlichen Bodenformen wertvolle Informationen auch für den Baulehm wie Bodenart (Zusammensetzung des feinkörnigen Materials), Grobanteile (Mengenanteil und Beschaffenheit des grobkörnigen Materials), Humusverhältnisse, Kalkgehalt, pH-Wert, Ausgangsmaterial und Bodentyp. Jede Bodenform enthält auch ein für diesen Bereich typisches Referenz-Bodenprofil, das bis zu einer Tiefe von zwei Metern genauere Angaben zu den Bodenhorizonten liefert.

4.3.2 Einfache Handtests

Wesentliche Eigenschafen, um die Anwendbarkeit eines Bodenaushubes zur Verwendung als Baulehm prüfen zu können, sind folgende:

- Zusammensetzung des Bodens auf feinkörnige und grobkörnige Bestandteile, Gehalt von natürlichem Kalk und Humus,
- Verhalten bei Wassereinwirkung,
- Festigkeiten.

Zur Untersuchung dieser Eigenschaften sind für den Boden einfache Prüfmethoden vorhanden, die vor Ort auf der Baustelle rasch durchgeführt werden können. Diese bislang nur aus der Literatur oder von

[28] Geologische Karten wurden mittlerweile, ähnlich wie bei den Bodenkarten, umfangreich digitalisiert und sind über die GIS-Applikation https://maps.geosphere.at/ online verfügbar. Diese bietet ein weitreichendes Informationsangebot von Geologie, Rohstoffgeologie (mit Baurohstoffe wie Lehm- und Tonvorkommen) bis Naturgefahren. Unter der Kategorie Geologie finden sich aktuelle und historische geologische Karten mit Maßstäben von 1:10.000 bis 1:1.000.000 für Österreich. Darüber hinaus stehen noch Angaben zu Bohrkernen, Profilschnitte sowie 3D-Modelle zur Verfügung.

erfahren Lehmbauern bekannten Methoden sind mittlerweile auch normativ geregelt, und zwar über ÖNORM EN ISO 14688-1.

Die nachfolgende Tabelle 21 enthält eine Zusammenstellung aller möglichen Prüfverfahren nach dieser ÖNORM.

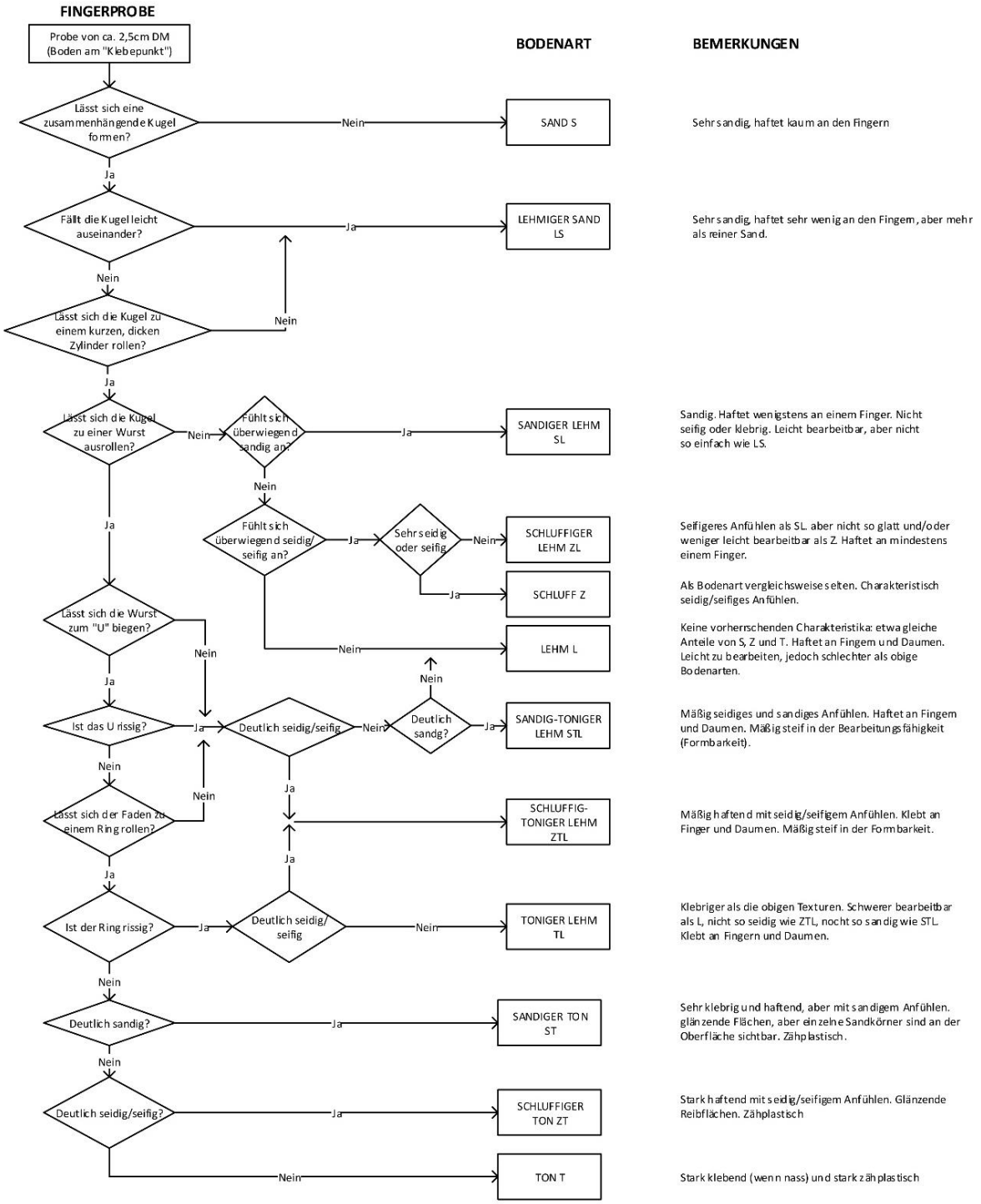
Tabelle 21 – Handtests nach ÖNORM EN ISO 14688-1

Prüfparameter	Verfahren	ÖNORM EN ISO 14688-1	Bodenprobe
Zusammensetzung			
Korngrößenverteilung	Beurteilung der KGV in situ	NC.2, A.2	gesamte Bodenprobe
	Schneideversuch	NC.6 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm
	Trockenfestigkeit	A.3.5 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm
	Griffigkeit, Reibeversuch	A.3.6 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm
	Dilatanz	A.3.2 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm
	Zähigkeit	A.3.3 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm
	Verhalten im Wasser	A.3.7 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm
	Verhalten an der Luft	A.3.7 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm
Organische Bestandteile	Geruchtest	NC.7	gesamte Bodenprobe
	Organischer Anteil/Farbtest	6.1.8.	gesamte Bodenprobe
Natürlicher Kalkgehalt	Kalkgehalt	6.1.9.	gesamte Bodenprobe
Verhalten bei Wassereinwirkung			
Plastische Eigenschaften	Plastizität	A.3.4[a]	≤0,63mm oder ≤2mm
Festigkeit			
Bindekraft	Kohäsion	A.3.8 [a]	≤0,63mm oder ≤2mm

[a] Aufbereitung der Bodenprobe: nach ÖNORM EN ISO 14688-1 sind zunächst alle Körner größer als Mittelsand (= 0,63mm, alternativ auch mit 2mm möglich) zu entfernen. Anschließend wird der Boden zu einer Kugel mit einem Durchmesser von 25mm geknetet, bis er die Konsistenz einer Spachtelmasse aufweist. Dies erfolgt unter gegebenenfalls Zugabe von Wasser.

Die genauen Vorgaben, wie diese Handtests durchzuführen sind, befinden sich im Formblatt 02 (FB02) im Anhang F.

Eine Alternative zu den Handtests gemäß ÖNORM EN ISO 14688 stellt der Prüfablauf nach (Rowell, 2013) dar. Mit diesem Prüfablauf kann die vorhandene Bodenart des Bodens bestimmt werden. Der Vorteil für diesen Prüfablauf ist, dass das Ergebnis eine unmittelbare Eingangsgröße für das Texturdreieck in der Entscheidungsmatrix darstellt, siehe Abbildung 20 und Abbildung 19.



<u>Klebepunkt</u>: Feuchtigkeitsgehalt, bei dem ein trockener Boden, der genässt wurde, gerade eben an den Fingern zu kleben beginnt.
<u>Formbarkeit</u>: Die Leichtigkeit, mit der die Bodenprobe zwischen den Fingern geformt werden kann. Da die Konsistenz deutlich mit dem Feuchtigkeitsgehalt variiert, müssen die Proben ordnungsgemäß und einheitlich angefeuchtet werden.
<u>Zylinder</u>: ca. 5 cm lang und 1,5cm im Durchmesser; <u>Wurst</u>: ca. 13 cm lang und 0,6 cm im Durchmesser
<u>Ring</u>: ca. 2,5 cm im Durchmesser, wurde aus etwa 8 cm der obigen Wurst gebildet.

Abbildung 07 — Handtests zur Bestimmung der Bodenart

4.4 Eignungsprüfung

Als nächsten Schritt in der Überprüfung des Bodenaushubes auf dessen Anwendbarkeit als Baulehm gilt es nach erfolgreicher Vorerkundung diesen durch entsprechende geotechnische Prüfmethoden im Labor näher zu untersuchen.

Fällt der Bodenaushub aus einem größeren Bauprojekt an, so kann es sein, dass für dieses bereits zur Bewertung des Baugrundes ein bodentechnisches Gutachten erstellt wurde. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen würden für eine Eignungsprüfung in der Regel völlig ausreichen. Falls dies nicht der Fall ist, werden hier nun kurz die wichtigsten Prüfeigenschaften vorgestellt, nach denen ein Bodenaushub zu prüfen ist.

Es gelten wieder die drei Grundeigenschaften wie zuvor in 4.3.2 ausgeführt, jetzt ergänzt mit der jeweiligen geotechnischen Prüfnorm, mit der diese Kennwerte im Labor bestimmt werden können. Dazu kommt noch die nach Abfallrecht notwendige Umweltprüfung, wobei die Kleinmengenregelung zu beachten ist, bei der ein Bodenaushub mit weniger als 2000 Tonnen durch augenscheinliche Prüfung auf Kontaminierung geprüft wird. Ansonsten ist eine chemische Analyse für den Bodenaushub durchzuführen.

- Umweltprüfung (kontaminiert / nicht kontaminiert) bei mehr als 2000 Tonnen in Form einer chemischen Analyse nach (Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023 Teil 1, 2023),
- Zusammensetzung
    - Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4
    - Organische Bestandteile nach ÖNORM EN 17685-1
    - Natürlicher Kalkgehalt nach ÖNORM EN ISO 14688-1
    - Gehalt an bauschädlichen Salzen (optional bei Verdacht)
- Verhalten bei Wassereinwirkung
    - Plastizität nach ÖNORM EN ISO 17892-12
- Festigkeiten
    - Bindekraft über Lehmbau-Regeln (optional).

Für eine Ersteinschätzung über die Eignung des vorhandenen Bodenaushubes ist zunächst die Bestimmung der Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4 durchzuführen. Dabei ist zu beachten, dass diese zwar eine Bestimmung der fein- und grobkörnigen Fraktionen liefert, jedoch noch keine nähere Detailanalyse zur Tonfraktion bezüglich bindender und nicht bindender Eigenschaften im Lehm angibt. Auch zeigt diese noch keine Aussage zu den Tonmineralarten, ob diese zwei- oder

dreischichtig sind, das wiederum einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften für den Lehmbaustoff darstellt in Bezug auf dessen Quell- und Schwindverhalten.

Des Weiteren ist in diesem Prüfstadium zu klären, ob der Boden als nicht kontaminiert im Sinne des Bundesabfall-Wirtschaftsplan einzuordnen ist. Dazu sind auch die Gehalte an natürlichen Kalk, organische Bestandteile und bauschädlichen Salze wie Chlorid, Sulfat und Nitrat festzustellen. Der Gehalt an bauschädlichen Salzen kann eventuell direkt aus der Umweltprüfung nach BAWP 2023 entnommen werden. Denn stammt der Boden aus einem Aushub von mehr als 2000 Tonnen, so ist der Boden u.a. auch auf Chlorid, Nitrat und Sulfat zu untersuchen. Diese Werte können dann für die Baulehmprüfung übernommen werden. Gleiches gilt im Übrigen auch für den pH-Wert, der ebenfalls unter diesen geforderten Prüfparameter fällt.

Die zuvor angesprochenen bindenden und nicht-bindenden Eigenschaften der Tonfraktion einer Baulehmmischung kann über zwei Prüfverfahren näher beschreiben werden. Zum einen über die standardisierte geotechnische Laborprüfung zu den Zustandsformen eines Bodens gemäß ÖNORM EN ISO 17892-12 über die Fließ- und Ausrollgrenzen oder über den in den Lehmbau-Regeln näher beschriebenen Bindekraftversuch. Dieser letztgenannte Versuch ermittelt an einer erdfeuchten Bodenprobe die Bindekraft eines Baulehmes. Dabei handelt es sich aber nicht um eine genormte Prüfmethode, sondern nur über eine in der Literatur beschriebenen Prüfung nämlichen den Lehmbau-Regeln.[29] Diese beziehen sich zwar auf Inhalten alter DIN-Lehmbaunormen, jedoch wurden diese in den 1970iger Jahren ersatzlos gestrichen.

Neue Forschungsarbeiten in diesem Bereich zeigten aber, dass der nicht genormte Bindekraftversuch ersetzt werden kann durch den Versuch nach ÖNORM EN ISO 17892-12. Aus diesem Versuch erhält man nicht nur die zuvor genannten Zustandsgrenzen (Fließ- und Ausrollgrenze) für den Boden, sondern kann mit diesen Werten auch die Plastizitätszahl berechnet werden, die wiederum in einer Korrelation zur Bindekraft steht. Deshalb wird auch in diesem Zusammenhang als Prüfmethodik für die Baulehmprüfung der Bindekraftversuch als optional angegeben.

[29] (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 12-15)

4.5 Detailprüfung von homogenisiertem Bodenaushub

Nach erfolgreicher Erstbeurteilung auf Eignung sollte nun überprüft werden, ob für die gewünschte Lehmbauanwendung ausreichend Bodenaushub zur Verfügung steht.

Ist dies der Fall, dann kann sofort mit der detaillierten Baulehmprüfung begonnen werden (siehe weiter unten).

Ist dies nicht der Fall, ist auf Basis der in Kapitel 4.4 gewonnenen Erkenntnisse zu den grundlegenden Bodeneigenschaften aus mehreren Bodenaushüben eine optimale Baulehmmischung herzustellen. Hierfür ist zunächst über unterschiedliche Verfahrensschritte ein möglichst homogenisierter Bodenaushub aufzubereiten. Danach kann mit dieser Mischung mit der detaillierten Baulehmprüfung begonnen werden.

Diese abschließende Detailprüfung des Baulehms sollte folgende Prüfungen umfassen:

- Zusammensetzung
    - Korngrößenverteilung nach EN ISO 17892-4
    - Organische Bestandteile nach ÖNORM EN 17685-1
    - Natürlicher Kalkgehalt nach ÖNORM EN ISO 14688-1 (qualitativ) oder DIN 18129 (quantitativ)
    - Gehalt an bauschädlichen Salzen nach ÖNORM B 3355, ÖNORM EN 1744-1 (oder über BAWP)
    - pH-Wert nach ÖNORM EN ISO 10390 (oder über BAWP)
    - Radioaktivität nach ÖNORM EN ISO 18589-3 (bei Verdacht)
- Verhalten bei Wassereinwirkung
    - Lineares Trockenschwindmaß nach ÖNORMEN EN 1015-11
    - Plastizität nach ÖNORM EN ISO 17892-12
- Festigkeiten
    - Bindekraft (optional) nach Lehmbau-Regeln
    - Druckfestigkeit nach ÖNORM EN 1015-11
    - Biegezugfestigkeit nach ÖNORM EN 1015-11

Auf Basis der ermittelten Werten kann nun eine Klassifizierung des aus dem Bodenaushub gewonnenen Bauproduktes „Baulehm“ erfolgen. Diese Kennzeichnung erleichtert in weiterer Folge die

gezielte Auswahl und optimale Verwendung des Materials als Ausgangsstoff für die Herstellung eines Lehmbaustoffes.

Die Tabelle 22 zeigt abschließend, welche möglichen Produkteigenschaften für den ein Bauprodukt „Baulehm“ angegeben werden könnten.[30]

Tabelle 22 – Zusammenfassung der Prüfparameter und -verfahren, Klassen und Anforderungen für die Kennzeichnung eines Bauproduktes „Baulehm“

Zusammensetzung			
Prüfparameter	**Referenzprüfverfahren**	**Typ**	**Klasse, Anforderung**
Korngrößenverteilung	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	Ton/Schluff
	ÖNORM EN ISO 17892-4 ÖNORM L 1050	(L)	Gr, Sa, Si, Cl in % fein, grob-, gemischtkörnig Form der KGV über Cu, Cc Bodenart: deklarierter Wert
Tonanalyse Mineralbestand	ÖNORM EN 933-9 ÖNORM B 4810		MB-Wert, MBF-Wert in g/kg Tonminerale in %
Organische Bestandteile	ÖNORM EN ISO 14688-1 Geruchstest, Farbtest	(F)	Organisch: deklarierte Wert Farbe: deklarierte Wert
	ÖNORM B 4424	(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			
Prüfparameter	**Referenzprüfverfahren**	**Typ**	**Klasse, Anforderung**
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

[30] Ergebnis aus dem FFG-Forschungsprojekt „Erdbewegung“, Quelle: https://projekte.ffg.at/projekt/2632443e-f36b-1410-85f3-00d3c07d99bb [Zugriff am 10.8.2026], (Muñoz-Czerny, et al., 2026, S. 79-80)

	ÖNORM EN ISO 17892-12	(L)	I_P, w_L, w_A Bodenart Plastische Eigenschaft
Wassergehalt Normsteife	ÖNORM EN ISO 17892-1	(L)	w_{norm}
Festigkeit			
Prüfparameter	**Referenzprüfverfahren**	**Typ**	**Klasse, Anforderung**
Bindekraft (optional)	ÖNORM EN ISO 14688-1	(F)	deklarierte Wert
	Lehmbau-Regeln	(L)	Bindekraft in g/cm²
Druckfestigkeit	ÖNORM EN 1015-11	(L)	Druckfestigkeit in N/mm²
Biegezugfestigkeit (optional)	ÖNORM EN 1015-11	(L)	Biegezugfestigkeit in N/mm²

4.6 Ergebnisse

4.6.1 Allgemeines

Im Folgenden wurden die im Zuge des Forschungsprojektes NÖ LehmGuide entnommenen Bodenproben (siehe Abschnitt 3.2) auf die soeben vorgestellten Prüfungen näher untersucht, und zwar nach den definierten Vorgaben zur:

- Vorerkundung,
- Eignungsprüfung,
- Detailprüfung unter der Annahme, dass der Aushub als Bauprodukt „Baulehm“ verwendet wird.

Künftig sollte zwischen der Eignungsprüfung und der erweiterten Detailprüfung ein Zwischenschritt sein, nämlich jener, bei der festgelegt wird, ob der Bodenaushub als Baulehm zur Zwischenlagerung verwendet wird oder sogleich zu einem Lehmbaustoff verarbeitet wird. Dafür wird im Abschnitt 5 eine eigene Entscheidungsmatrix entwickelt, mit der dann auf Basis der Ergebnisse aus Vorerkundung und Eignungsprüfung entsprechende Festlegungen getroffen werden können. Ziel ist dabei einen optimierten Verfahrensauflauf für die Verwendung von Bodenaushub als Lehmbaustoff zu definieren unter Berücksichtigung der vorhandenen Ressourcen (also so wenig wie möglich zusätzliche mineralische oder/und organische Zuschlagstoffe zu verwenden), Energieaufwände (in der Produktion) und Emissionsbelastung (das heißt Bevorzugung von regionalen Baustoffen zur Verringerung der Transportwege) in der Baustoffherstellung.

4.6.2 Ergebnisse im Detail

Die nachfolgende Abbildung 08 enthält eine Zusammenstellung der Ergebnisse aus den Prüfungen zur Vorerkundung für sämtliche Bodenproben nach Tabelle 10 (Liste der Bodenproben).

	Karlstein	Karlstein	Helden.	Schrems	Waidhofen	Waidhofen	Mistelbach	Mistelbach	Kleinbau.	Pulkau	Brunn	Brunn	Pießberg	Langegg
	BL04	BL04	BL03	BL09	BL10	BL10	BL06	BL06	BL05	BL08	BL02	BL02	BL11	BL12
	25 001	25 002	25 003	25 004	25 005	25 006	25 007	25 008	25 009	25 010	25 011	25 012	25 013	25 014
Handtests gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1														
Zusammensetzung (KGV)														
Schneideversuch	Si	Si	Si	cl´Si	cl´Si	cl´Si	Si	Si	Cl/Si	Si	Si	Si	Cl/Si	cl´Si
Trockenfestigkeit	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	-	Si
Griffigkeit	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl/Si	Cl/Si	Si	Si	Si	Cl/Si	-
KGV (Gr/Sa/<Si)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15/45/40%	-/50/50%
Dilatanz	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	-	Cl/Si	Cl	Si	Si	Si
Zähigkeit	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl/Si	Cl/Si	Cl	Cl/Si	Cl	Si	Cl/Si	Cl/Si
Verhalten im Wasser	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si
Verhalten an der Luft	Cl/Si	Si	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl/Si	Cl/Si	Si	Si	Si	Cl/Si
Zusammensetzung (natürlicher Kalkgehalt)														
kalkhaltig (Aufbrausen)	kein	kein	kein	kein	kein	kein	deutlich	stark	deutlich	leicht	schwach	deutlich	kein	kein
Zusammensetzung (organischer Anteil)														
Geruchstest	tr.anor.T.	tr.anor.T.	tr.anor.T.	org.B.	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.	org.B.
Farbtest	braun	dunkelbraun	braun	dunkelgrau	dunkelbrau	dunkelbraun	dunkelbraun	dunkelbra	braun	(hell)brau	dunkelgra	hellbraun	(hell)braun	hellbraun
Festigkeit (Bindekraft)														
Kugelformprobe	Cl/Si	Si	Cl/Si	Si	Si	Si	Si	Si	Cl/Si	Cl/Si	Si	Si	Cl/Si	Cl/Si
Verhalten bei Wassereinwirkung (plastische Eigenschaften)														
Plastizität (plastisch/Cl,Si)	mittel	mittel	nicht	nicht	gering	gering	mittel	mittel	hoch	mittel	mittel	nicht	mittel	mittel
Geologische Karte und "eBOD"														
Geologische Karte														
Ausgangsmaterial	Granulit/Gneis	Granulit/Gnei	Granit	mässung/Leh	Gneis	Gneis	Löss/Talf.	Talfüllung	Talfüllung	Molasse	/Silikatma	s/Silikatman	Gneis	Moor
Digitale Bodenkarte "eBOD"														
Bodentyp	wsHG	wsHG	sFB	sTG	sFB	sFB	sFB	kLU	wkTG	TS	sFB	sFB	GT	sEG
Bodenart	sand.Lehm	sand.Lehm	lehm.Sand	sand.Lehm	lehm.Sand	lehm.Sand	lehm.Sand	ehm.Sanc	chluff.Leh	lehm.Ton	and,lehm.	Sand,lehm.S	schluff.Lehm	Sand
Grobanteil	mäßig, Grus	mäßig, Grus	hoch, Grus, S	gering, Grus	m.,viel, Grus	m.,viel, Grus	-	-	-	-	äß, viel Gr	näß, viel Gru	-	gering, Grus
Humusverhältnisse	0,8%	0,8%	2,0%	0,6%	0,6%	0,6%	1,4%	1,4%	0,9%	0,6%	1,1%	1,1%	0,5%	-
Sand	52%	52%	58%	62%	54%	54%	33%	13%	8%	7%	64%	64%	10%	96%
Schluff	27%	27%	27%	28%	35%	35%	49%	67%	63%	40%	31%	31%	59%	2%
Ton	21%	21%	15%	10%	11%	11%	18%	20%	29%	53%	5%	5%	31%	2%
Kalkgehalt	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	stark	stark	stark	stark	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei

Abbildung 08 – Zusammenstellung der Prüfergebnisse aus der Vorerkundung

Die nachfolgende Abbildung 09 enthält eine Zusammenstellung der Ergebnisse aus den Eignungsprüfungen sämtlicher Bodenproben nach Tabelle 10 (Liste der Bodenproben).

	Karlstein	Karlstein	Heiden.	Schrems	Waidhofen	Waidhofen	Mistelbach	Mistelbach	Kleinbau.	Pulkau	Brunn	Brunn	Pießberg	Langegg
	BL04	BL04	BL03	BL09	BL10	BL10	BL06	BL06	BL05	BL08	BL02	BL02	BL11	BL12
	25 001	25 002	25 003	25 004	25 005	25 006	25 007	25 008	25 009	25 010	25 011	25 012	25 013	25 014
Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN ISO 17892-4														
Co	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gr	13,7%	39,2%	11,8%	0,7%	61,3%	56,4%	0,2%	25,3%	0,4%	0,0%	40,3%	36,2%	6,9%	13,3%
Sa	66,7%	50,8%	50,3%	89,4%	32,1%	36,8%	38,8%	57,2%	40,8%	25,3%	40,4%	47,9%	34,7%	66,4%
Si	14,5%	8,6%	33,1%	6,7%	5,8%	6,0%	50,5%	15,5%	51,5%	66,9%	18,0%	15,0%	35,5%	8,5%
Cl	5,1%	1,4%	4,8%	3,2%	0,8%	0,8%	10,5%	2,0%	7,3%	7,8%	1,3%	0,9%	22,9%	11,8%
Gemischform	gemk.	gemk.	feink.	gemk.	gemk.	gemk.	feink.	gemk.	feink.	feink.	gemk.	gemk.	feink.	gemk.
C_u	55,6	29,3	79,5	5,9	35,6	31,4	31,6	28,7	27,5	19,8	159,0	67,1	-	-
C_c	14,7	1,0	0,3	2,1	1,2	0,6	1,6	3,6	0,9	1,8	1,8	1,3	-	-
Natürlicher Kalkgehalt gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1														
kalkhaltig (Aufbrausen)	kein	kein	kein	kein	kein	kein	deutlich	stark	deutlich	leicht	schwach	deutlich	kein	kein
Oranische Bestandteil gemäß ÖNORM B 4424														
Gehalt an org. Subst.	4,06%	3,30%	3,18%	2,09%	2,87%	3,25%	4,74%	3,09%	2,50%	3,14%	6,86%	4,10%	4,95%	4,22%
Bindekraft gemäß Lehmbau-Regeln														
Probe 1	93,0	60,0	63,6	60,0	60,0	60,0	72,1	70,2	86,2	330,8	183,9	63,6	184,0	262,4
Probe 2	91,3	0,0	63,6	60,0	0,0	60,0	71,7	71,4	97,4	337,0	201,4	0,0	181,8	257,1
Probe 3	102,2	0,0	63,6	60,0	0,0	60,0	70,0	69,1	113,5	421,8	186,9	0,0	198,5	276,4
Kontrolle Abweichung	10,7%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	2,9%	3,2%	24,0%	21,6%	8,7%	100,0%	8,4%	7,0%
Mittelwert Bindekraft	95,5	60,0	63,6	60,0	60,0	60,0	71,3	70,3	148,6	363,2	190,8	63,6	188,1	265,3
Wassergehalt	16,6	16,5	20,7	12,6	18,6	16,4	20,2	15,4	21,4	20,6	24,9	17,4	22,6	15,6
Klassifikation Baulehm	mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	fast fett	Ton	fast fett	sehr mager	fast fett	fett
Plastizität gemäß ÖNORM EN ISO 17892-12														
Fließgrenze	34,4%	29,6%	26,5%	-	-	29,5%	33,0%	27,2%	26,5%	42,7%	46,1%	38,4%	58,4%	37,2%
Ausrollgrenze	16,4%	20,2%	14,5%	-	-	20,8%	17,4%	16,7%	16,1%	17,4%	19,9%	27,6%	24,0%	15,6%
Plastizitätszahl	18,0%	9,4%	12,0%	-	-	8,8%	15,6%	10,5%	10,4%	25,3%	26,2%	10,8%	34,4%	21,6%
Bodenbezeichnung	ClL	ClL	ClL	-	-	ClL	ClL	ClL	ClL	ClM	ClM	SiM	ClH	ClM

Abbildung 09 – Zusammenstellung der Prüfergebnisse aus der Eignungsprüfung für den Bodenaushub

Die nachfolgende Abbildung 10 enthält eine Zusammenstellung der Ergebnisse aus den Detailprüfungen sämtlicher Bodenproben nach Tabelle 10 (Liste der Bodenproben).

	Karlstein	Karlstein	Heiden.	Schrems	Waidhofen	Waidhofen	Mistelbach	Mistelbach	Kleinbau.	Pulkau	Brunn	Brunn	Pießberg	Langegg
	BL04	BL04	BL03	BL09	BL10	BL10	BL06	BL06	BL05	BL08	BL02	BL02	BL11	BL12
	25 001	25 002	25 003	25 004	25 005	25 006	25 007	25 008	25 009	25 010	25 011	25 012	25 013	25 014
Korngrößenverteilung														
Laborversuche gemäß ÖNORM EN ISO 17892-4														
Co	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gr	13,7%	39,2%	11,8%	0,7%	61,3%	56,4%	0,2%	25,3%	0,4%	0,0%	40,3%	36,2%	6,9%	13,3%
Sa	66,7%	50,8%	50,3%	89,4%	32,1%	36,8%	38,8%	57,2%	40,8%	25,3%	40,4%	47,9%	34,7%	66,4%
Si	14,5%	8,6%	33,1%	6,7%	5,8%	6,0%	50,5%	15,5%	51,5%	66,9%	18,0%	15,0%	35,5%	8,5%
Cl	5,1%	1,4%	4,8%	3,2%	0,8%	0,8%	10,5%	2,0%	7,3%	7,8%	1,3%	0,9%	22,9%	11,8%
Gemischform	gemk.	gemk.	feink.	gemk.	gemk.	gemk.	feink.	gemk.	feink.	feink.	gemk.	gemk.	feink.	gemk.
Beschreibung	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
C_u	55,6	29,3	79,5	5,9	35,6	31,4	31,6	28,7	27,5	19,8	159,0	67,1	-	-
C_c	14,7	1,0	0,3	2,1	1,2	0,6	1,6	3,6	0,9	1,8	1,8	1,3	-	-
Form der KGV	0,0%	weit	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Natürlicher Kalkgehalt														
Handversuche gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1														
kalkhaltig (Aufbrausen)	kein	kein	kein	kein	kein	kein	deutlich	stark	deutlich	leicht	schwach	deutlich	kein	kein
Oranische Bestandteil														
Laborversuche gemäß ÖNORM EN 17685-1														
Gehalt an org. Subst.	4,06%	3,30%	3,18%	2,09%	2,87%	3,25%	4,74%	3,09%	2,50%	3,14%	6,86%	4,10%	4,95%	4,22%
Bindekraft														
Laborversuche gemäß Lehmbau Regeln														
Probe 1	93,0	60,0	63,6	60,0	60,0	60,0	72,1	70,2	86,2	330,8	183,9	63,6	184,0	262,4
Probe 2	91,3	0,0	63,6	60,0	0,0	60,0	71,7	71,4	97,4	337,0	201,4	0,0	181,8	257,1
Probe 3	102,2	0,0	63,6	60,0	0,0	60,0	70,0	69,1	113,5	421,8	186,9	0,0	198,5	276,4
Kontrolle Abweichung	0,1	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	1,0	0,1	0,1
Mittelwert Bindekraft	95,5	60,0	63,6	60,0	60,0	60,0	71,3	70,3	148,6	363,2	190,8	63,6	188,1	265,3
Wassergehalt	16,6	16,5	20,7	12,6	18,6	16,4	20,2	15,4	21,4	20,6	24,9	17,4	22,6	15,6
Klassifikation Baulehm	mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mager	sehr mage	fast fett	Ton	fast fett	sehr mager	fast fett	fett
Rohdichte														
Prisma 1	1923,0	2026,0	1891,6	1896,8	1989,3	1985,8	1945,0	-	1948,2	2005,0	2025,5	1944,4	1961,2	2014,0
Prisma 2	1915,4	2008,4	1847,6	1896,8	2022,4	1986,9	1935,7	-	1930,6	2004,9	2015,2	1976,5	1962,3	2001,7
Prisma 3	1987,4	2028,8	1890,1	1905,1	2021,9	2018,5	1966,5	-	1910,7	1995,1	2029,9	2002,8	1920,1	2004,4
Mittelwert Rohdichte	1941,9	2021,1	1876,5	1899,6	2011,2	1997,0	1949,1	-	1929,8	2001,7	2023,5	1974,6	1947,9	2006,7
Lineares Trocknungsschwindmaß														
Prisma 1	1,4%	2,5%	1,1%	0,0%	1,4%	0,6%	3,0%	-	3,3%	3,1%	5,4%	1,7%	3,3%	2,3%
Prisma 2	1,6%	2,1%	1,5%	0,0%	1,6%	0,6%	2,7%	-	3,3%	3,1%	5,2%	1,9%	3,3%	2,3%
Prisma 3	1,8%	2,0%	0,8%	0,1%	1,7%	0,8%	2,9%	-	2,5%	3,1%	5,6%	1,8%	3,3%	2,3%
Mittelwert Lin. Trock.	1,6%	2,2%	1,1%	0,0%	1,6%	0,7%	2,9%	-	3,0%	3,1%	5,4%	1,8%	3,3%	2,3%
Klassifikation Baulehm	mager	mager	sehr mager	sehr mager	mager	sehr mager	fett	-	fast fett	fett	sehr fett	mager	fett	fast fett
Biegezug- und Druckfestigkeit														
Biegezugfestigkeit														
Prisma 1	1,40	1,60	1,25	0,30	0,95	0,65	1,85	-	-	2,90	1,45	1,60	1,90	0,85
Prisma 2	1,30	2,80	1,25	0,50	1,05	0,75	1,85	-	1,35	0,00	0,85	1,55	1,65	1,20
Prisma 3	1,50	2,20	1,25	0,45	1,15	0,80	2,75	-	1,45	0,85	1,70	1,65	1,75	1,40
Mittelwert Biegezugfestigkeit	1,40	2,20	1,25	0,42	1,05	0,73	2,15	-	1,40	1,88	1,33	1,60	1,77	1,15
Druckfestigkeit														
Prüfkörper 1	3,90	6,50	3,70	1,55	3,25	2,75	5,55	-	13,45	7,60	8,60	4,65	5,35	3,20
Prüfkörper 2	3,40	7,05	3,05	1,45	3,00	2,85	5,75	-	8,20	6,95	9,20	3,90	5,35	3,10
Prüfkörper 3	3,45	7,15	3,15	2,55	3,15	2,75	5,25	-	7,90	7,70	7,00	4,45	5,20	3,10
Prüfkörper 4	3,95	6,55	2,85	1,45	3,40	2,60	5,65	-	7,45	7,40	7,95	4,30	5,35	3,60
Prüfkörper 5	3,95	6,55	3,45	1,45	3,00	3,00	6,00	-	7,50	0,00	8,35	4,70	4,90	3,30
Prüfkörper 6	3,65	7,10	3,95	1,45	2,95	3,35	6,75	-	7,50	7,50	8,95	4,60	4,25	3,65
Mittelwert Druckfestigkeit	3,72	6,82	3,36	1,65	3,13	2,88	5,83	-	8,67	7,43	8,34	4,43	5,07	3,33
Faktor DF/BZ	2,65	3,10	2,69	3,96	2,98	3,93	2,71	-	6,19	3,96	6,26	2,77	2,87	2,89
Plastizität														
Laborversuche gemäß ÖNORM EN ISO 17892-12														
Fließgrenze	34,4%	29,6%	26,5%	-	-	29,5%	33,0%	27,2%	26,5%	42,7%	46,1%	38,4%	58,4%	37,2%
Ausrollgrenze	16,4%	20,2%	14,5%	-	-	20,8%	17,4%	16,7%	16,1%	17,4%	19,9%	27,6%	24,0%	15,6%
Plastizitätszahl	18,0%	9,4%	12,0%	-	-	8,8%	15,6%	10,5%	10,4%	25,3%	26,2%	10,8%	34,4%	21,6%
Bodenbezeichnung	ClL	ClL	ClL	-	-	ClL	ClL	ClL	ClL	ClM	ClM	SiM	ClH	ClM

Abbildung 10 – Zusammenstellung der Prüfergebnisse aus der Detailprüfungen für den Bodenaushub

4.6.3 Interpretation der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Vorerkundung näher analysiert. Und zwar soll geklärt werden, inwieweit die Angaben aus „*eBOD*“ mit den durchgeführten Prüfergebnissen aus den unterschiedlichen geotechnischen Prüfungen miteinander korrelieren.

Aus der digitalen Bodenkarte kann sofort abgelesen werden, welcher Bodentyp am betrachteten Standort vorliegt. Dieser liefert wiederum Angaben zu den charakteristischen Bodenarten für den jeweiligen Bodentyp. Interessant für den Lehmbau sind dabei jene Horizonte unter dem A-Horizont (= Mutterboden).

In der nachfolgenden Tabelle 23 finden sich für die wichtigsten Bodentypen für das Waldviertel, – nämlich Felsbraunerde (FB), Lockersediment-Braunerde (LB) und Reliktpseudogley (GT), die in Summe mehr als Zweidrittel des gesamten Projektgebietes abdecken – die dafür bestimmenden Bodenarten sowie deren dazugehörige Zusammensetzung aus Sand, Schluff und Ton. Beispielsweise wäre das für die Felsbraunerde die Bodenart „*lehmiger Sand*“, die wiederum für Sand einen Gesamtanteil von 30 – 80% aufweist, für Schluff 10 – 55% und Ton 5 – 15%.

Tabelle 23 – Vorherrschende Bodentypen des Waldviertels

Bodentyp	**Flächenanteil im Wald-viertel [%]**	**Bodenart**	**Sand [%] 2,000 – 0,060mm**	**Schluff [%] 0,060 – 0,002mm**	**Ton [%] unter 0,002mm**
FB	48,82	lehmiger Sand	30 – 80	10 – 55	5 – 15
LB		sandiger Schluff	10 – 45	55 – 75	0 – 15
LB	10,41	Lehmiger Schluff	0 – 30	55 – 75	15 – 25
LB		Schluffiger Lehm	0 – 20	55 – 75	25 – 45
GT	9,14	Lehm	5 – 65	10 – 55	25 – 40
In Summe	**68,37**				

Dabei zeigt die Tabelle 23, dass all diese typischen Bodentyp für das Waldviertel einen entsprechenden Feinkornanteil mit einem ausreichenden Tonanteil aufweisen, um diesen für eine weitere Verwendung als Baulehm einsetzen zu können.

Als nächsten Schritt wird nun überprüft, wie weit diese Angaben aus „*eBOD*“ tatsächlich mit den entnommenen Bodenproben zusammenpassen im Vergleich mit den Resultaten aus den geotechnischen Prüfungen.

	Karlstein	Karlstein	Heiden.	Schrems	Waidhofen	Waidhofen	Mistelbach	Mistelbach	Kleinbau.	Pulkau	Brunn	Brunn	Pielberg	Langegg
	BL04	BL04	BL03	BL09	BL10	BL10	BL06	BL06	BL05	BL08	BL02	BL02	BL11	BL12
	25 001	25 002	25 003	25 004	25 005	25 006	25 007	25 008	25 009	25 010	25 011	25 012	25 013	25 014
KGV adaptiert (nur < 2mm)														
Entnahmetiefe (cm)	37-53	37-53	20-40	35-50	45	30	35-40	40-50	40-61	unbek.	35-38		200	100-200
Faktor	1,159	1,645	1,134	1,007	2,584	2,294	1,002	1,339	1,004	1,000	1,675	1,567	1,074	1,153
Sa	77,3%	83,6%	57,0%	90,0%	82,9%	84,4%	38,9%	76,6%	41,0%	25,3%	67,7%	75,1%	37,3%	76,6%
Si	16,8%	14,1%	37,5%	6,7%	15,0%	13,8%	50,6%	20,7%	51,7%	66,9%	30,2%	23,5%	38,1%	9,8%
Cl	5,9%	2,3%	5,4%	3,2%	2,1%	1,8%	10,5%	2,7%	7,3%	7,8%	2,2%	1,4%	24,6%	13,6%
Bodenart nach eBOD	lehm.Sand	Sand	lehm.Sand	Sand	Sand	Sand	lehm.Sand	Sand	lehm.Sand	sand.Schlu	Sand,lehm.S.	Sand	sand.Lehm	toniger Sand
Oranische Bestandteil gemäß ÖNORM B 4424														
Gehalt an org. Subst.	4,06%	3,30%	3,18%	2,09%	2,87%	3,25%	4,74%	3,09%	2,50%	3,14%	6,86%	4,10%	4,95%	4,22%
Natürlicher Kalkgehalt gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1														
kalkhaltig (Aufbrausen)	kein	kein	kein	kein	kein	kein	deutlich	stark	deutlich	leicht	schwach	deutlich	kein	kein
Digitale Bodenkarte "eBOD"														
Bodentyp	wsHG	wsHG	sFB	sTG	sFB	sFB	sFB	kLU	wkTG	TS	sFB	sFB	GT	sEG
Tiefe (cm)	35	35	35	45	35	35	35	50	50	70	45	45	65	65
Bodenart	sand.Lehm	sand.Lehm	lehm.Sand	sand.Lehm	lehm.Sand	lehm.Sand	lehm.Sand	lehm.Sand	schluff.Lehm	lehm.Ton	Sand,lehm.S.	Sand,lehm.S.	schluff.Lehm	Sand
Grobanteil	mäßig, Grus	mäßig, Grus	sehr hoch, Grus, Steine	gering, Grus	m.,viel, Grus	m.,viel, Grus	-	-	-	-	mäß, viel Grus	mäß, viel Grus	-	gering, Grus
Sand	52%	52%	58%	62%	54%	54%	33%	13%	8%	7%	64%	64%	10%	96%
Schluff	27%	27%	27%	28%	35%	35%	49%	67%	63%	40%	31%	31%	59%	2%
Ton	21%	21%	15%	10%	11%	11%	18%	20%	29%	53%	5%	5%	31%	2%
Humusverhältnisse	0,8%	0,8%	2,0%	0,6%	0,6%	0,6%	1,4%	1,4%	0,9%	0,6%	1,1%	1,1%	0,5%	-
Kalkgehalt	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	stark	stark	stark	stark	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei	kalkfrei

Abbildung 11 – Vergleich Daten aus eBOD und Ergebnisse aus geotechnischer Untersuchung

Die Abbildung 11 zeigt genau diese Gegenüberstellung der Ergebnisse zufolge der Vorerkundung auf Basis des Datenmaterials aus der digitalen Bodenkarte und den Prüfergebnissen aus den geotechnischen Untersuchungen der Baulehme für das Projektgebiet.

Für eine bessere Lesbarkeit der Tabelle wurden die Werte über Ampelfarben hervorgehoben: „*rot*“ steht für keine Übereinstimmung, „*grün*“ für eine optimale Übereinstimmung und „*gelb*“ für Zwischenbereiche.

Verglichen wurden dabei die Daten der einzelnen Bodenproben zufolge

- Gehalt an organischen Bestandteilen,
- natürlicher Kalkgehalt,
- Korngrößenverteilung (Sand, Schluff und Ton) und Angabe zur Bodenart.

Für die organischen Bestandteile zeigte sich, dass eine klare Diskrepanz zu den Werten zwischen „*eBOD*“ und den geotechnischen Prüfergebnissen vorliegen. Hier waren die Ergebnisse für die organische Bestandteile nach „*eBOD*“ deutlich geringer als die tatsächlich geprüften Werte, obwohl für beide Datensätze annähernd die gleiche Bodentiefe angegeben wurde.

Anders verhält es sich für den Kalkgehalt. Hier finden sich nur bei zwei Probenstellen ein klarer Unterschied zwischen „*eBOD*“ und den geotechnischen Untersuchungen, und zwar für Pulkau (LNr. 25 010) und Brunn (LNr. 25 012). Wobei gerade LNr. 25 012 eher auf dessen generelle Kontaminierung zurückzuführen ist. Denn diese Probenahme stammt, wie zuvor beschrieben, aus

einem Anschnittbereich in der Nähe eines abgetragenen Gebäudes. Und bei der Entnahmestelle Pulkau wurde das Material aus dem bereits ausgebaggerten Bodenaushub für das Kellergeschoss einer Wohnhausanlage entnommen, womit auch hier die genaue Entnahmetiefe nicht bekannt ist.

Für die Korngrößenverteilung aller Fraktionen kleiner 2mm zeigt sich für alle Bodenaushübe, dass die Angabe zur Tonfraktion klare Abweichungen bestehen. Diese werden in „*eBOD*“ generell als zu hoch angegeben. Ansonsten wurde für den Vergleich zunächst die Korngrößenverteilung aus der geotechnischen Untersuchung zunächst rein auf alle Fraktionen kleiner 2mm adaptiert und danach mit der nach „*eBOD*“ üblichen Benennung für Bodenarten bezeichnet. Bei dieser Überprüfung zeigte sich, dass gerade für die Felsbraunerde sehr wohl ein hoher Grad an Übereinstimmung feststellbar war.

Zusammenfassend lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass „eBOD“ grundsätzlich als nützliches Instrument für eine erste Abschätzung der für den Lehmbau relevanten Bodeneigenschaften geeignet ist.

5 ENTSCHEIDUNGSMATRIX – ENTSPRECHENDE ANWENDUNGSVERFAHREN VON LEHMBAU

5.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird nun eine Entscheidungsmatrix entwickelt. Ziel ist es dabei auf Basis der aus Vorerkundung und vor allem Eignungsprüfung gewonnenen Erkenntnisse den optimalen Lehmbaustoff für einen bestehenden Bodenaushub auswählen zu können.

Dafür werden als ersten Schritt die unterschlichen Lehmbaustoffe vorgestellt und deren wesentlichen Produkteigenschaften angeführt, siehe Abschnitt 5.2.

Danach findet über eine umfangreiche Literaturrecherche der Versuch statt, die unterschiedlichen möglichen Produktkriterien für die unterschiedlichen Lehmbaustoffes zusammen zustellen, siehe Abschnitt 5.3.

Aus diesen gewonnenen Erkenntnissen aus der Literatur wird dann als abschließender Schritt eine Entscheidungsmatrix entwickelt mit dem Ziel, aus den Daten der Vorerkundung und Eignungsprüfung eine entsprechende Festlegung für den optimalen Lehmbaustoff aufstellen zu können, siehe Abschnitt 5.4.

Schlussendlich wird die so entwickelte Entscheidungsmatrix entsprechend überprüft und validiert, siehe Abschnitt 5.5 und zwar

- über die bodenkundliche Grundlagendaten aus Abschnitt 3,
- sowie den Ergebnissen aus Vorerkundung und Eignungsprüfung des Baulehms aus Abschnitt 4.

Zum Abschluss dieses Kapitels werden auf Basis all der gewonnenen Ergebnisse Lehmbaustoffe hergestellt und auf dessen Produkteigenschaften nach den bestehenden DIN-Lehmbaunormen geprüft, um so die Praktikabilität der Entscheidungsmatrix nachweisen zu können, siehe Abschnitte 5.5.3 bzw. 5.5.4.

5.2 Lehmbaustoffe

5.2.1 Allgemeines

Gemäß Begriffsnorm DIN 18942-1 wird der Begriff Lehmbaustoff wie folgt definiert: ein Lehmbaustoff ist „*aus Baulehm und ggf. Zusatzstoffen und Faserbewehrung hergestellter Baustoff*“.[31]

Dabei sind Lehmbaustoffe ungeformte oder geformte Baustoffe aus ungebranntem Lehm. Die Zugabe von Zuschlagstoffen u.a. haben dabei folgende Funktionen:

- Reduktion des Schwindens, der Rissbildung bzw. auch der Wasserempfindlichkeit,
- Verbesserung der Festigkeitseigenschaften (Druck- , Biegezug-, Abrieb- und Haftfestigkeit),
- Erhöhung der Wärmedämmeigenschaften,
- Erleichterung der Verarbeitbarkeit.[32]

Die Festigkeit erhält der Baustoff durch dessen Lufttrocknung. Erfolgt eine direkte Wassereinwirkung auf den Lehmbaustoff, so wird dieser wieder weich und bildsam.[33]

Durch das Mischen und Aufbereiten von Baulehm unter gegebenenfalls Zugabe von mineralischen und/oder pflanzlichen Zuschlagsstoffen können dabei im Wesentlichen folgende Lehmbaustoffe hergestellt werden:

- Lehmmauersteine,
- Lehmmörtel für Putzarbeiten und Mauerwerk,
- Lehmplatten,
- Stampflehm
- Lehmschüttungen,
- Lehmestrich,
- Wellerlehm.

[31] (DIN 18942-1, Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe, 2023, S. 4)

[32] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 17)

[33] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 17)

Die Herstellung von Lehmbaustoffen kann dabei „*Vor-Ort*“ direkt auf der Baustelle oder „*im Werk*“ erfolgen.

5.2.1.1 Aufbereitung von Baulehm

Für die Aufbereitung von Baulehm gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: eine „*natürliche*“ oder „*mechanisierte*“ Aufbereitung.

Bei der „*natürlichen*“ Aufbereitung werden je nach Eigenschaften des vorhandenen Baulehms die Witterungseinflüsse als auch die Zeit zur Aufbereitung herangezogen. Dazu zählen etwa das Auswintern/Aussommern, wo über den zeitlichen Verlauf und den damit verbundenen unterschiedlichen Temperatur- und Feuchteschwankungen der Baulehm mürbe gemacht wird. Eine weitere Möglichkeit wäre das „*Einsumpfen*“ von Baulehm. Dabei wird dieser für eine gewisse Zeit mit ausreichend Wasser versetzt, das ebenfalls zu einer Auflockerung des Baulehms führt. Auf diese Weise können auch unterschiedliche Baulehme zu einer homogenen Mischung aufbereitet werden. Dieses Ruhenlassen des Baulehms wird auch als „*Mauken*“ bezeichnet. Neben der Homogenisierung des Baulehms kann dieser Prozess auch zur Verbesserung der Festigkeiten des Baulehms führen.[34]

Bei der „*mechanisierten*“ Aufbereitung wird der Baulehm unter Zuhilfenahme von unterschiedlichen Geräten entsprechend bearbeitet. Folgende Vorgänge können dabei herangezogen werden:

- Brechen, Zertrümmern von Baulehm: beispielsweise durch Backenbrecher, Kollergang oder Hammerprallmühlen
- Abtrennen bestimmter Kornfraktionen unter Verwendung von Sieben mit unterschiedlichen Maschenweiten: in diesem Zusammenhang ist darauf zu achten, dass zu feuchter Lehm abhängig von dessen Tongehalt zum Verkleben der Siebmaschen führen kann bzw. dass verklumpte Tonmineralien beim Aussieben verloren gehen könnten. Daher ist in diesem Fall eine Nasssiebung vorteilhafter. Im großen Maßstab erfolgt das Aussieben durch Rotations- oder Vibrationssiebe.
- Mahlen und Granulieren: dies ist zur Herstellung von Handelswaren gedacht also ein möglicher Prozessschritt für im Werk hergestellte Baulehme, Lehmmörtel oder Stampflehmmischung, um diese dann in Big-Bags oder Säcken abfüllen zu können. Zum Einsatz kommen dabei Trommel-, Kugel- oder Walzenmühlen.

[34] Vgl. (Rischanek, Sicherheitskonzept für den Lehmsteinbau, 2009), (Schröder, 2019, S. 135)

- Zum Mischen von Baulehm mit Wasser unter gegebenenfalls Verwendung von Zusatzstoffen werden in der Regel Zwangsmischer oder Rührwerke verwendet.[35]

5.2.1.2 Normen und Regelwerke

Weltweit gibt es mittlerweile eine beachtliche Anzahl von normativen Grundlagedokumenten für den Lehmbau, wie die nachfolgenden Tabellen aufzeigen. In dieser werden zunächst alle derzeit vorhandenen deutschsprachigen Normen aufgelistet (Tabelle 24) und im Anschluss daran die wichtigsten weltweit gültigen regionalen Standards (Tabelle 25).

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass auch in Europa das Bewusstsein über die Notwendigkeit von normativen Grundlagen zum Lehmbau stetig zunimmt. So läuft etwa in Österreich seit Ende 2025 die Ausarbeitung von Produktnormen zu Lehmbaustoffen wie Lehmmauersteine, Lehmmauermörtel, Lehmputzmörtel und Lehmplatten. Und parallel dazu wird auch bereits ein entsprechendes Bemessungskonzept für das Lehmstein-Mauerwerk vorbereitet.

Aber nicht nur in Österreich laufen derzeit Bestrebungen zur Ausarbeitung von normativen Grundlagendokumenten, sondern auch in vielen anderen europäischen Länder wird zumeist auf Basis der bestehenden DIN-Normen entsprechende nationale Norm ausgearbeitet so beispielsweise auch in Schweden. Parallel dazu wird in Europa derzeit ebenfalls im aktuell laufenden CPR-Acquis Prozess zur Aufarbeitung aller normativen Grundlagen, die unter der EU-Bauprodukteverordnung fallen, in der Produktgruppe Mauerwerk auch die Formulierung von normativen Anforderungen für den Lehmmauerstein vorgeschlagen. Aktueller Stand ist der, dass voraussichtlich 2027 auch zu diesem Themenbereich ein Normungsauftrag an CEN/TC 125 erteilt werden wird.

Tabelle 24 – Deutschsprachige Lehmbaunormen

Nummer	Titel	Land	Jahr	Herausgeber
ÖNORM EN 13914-2	*Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Innenputze*	Österreich	2017	ASI
ÖNORM B 3230-1[36]	*Bauprodukte aus Lehm, Teil 1: Lehmsteine - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Österreich	2026	ASI

[35] Vgl. (Schröder, 2019, S. 135-142)

[36] in Ausarbeitung seit Frühjahr 2026, Quelle: https://normen-entwurf-portal.austrian-standards.at /action/de/public/committees/committees/1070/projects/national [Zugriff am 11.8.2026]

ÖNORM B 3230-2[36]	*Bauprodukte aus Lehm, Teil 2: Lehmmauermörtel - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Österreich	2026	ASI
ÖNORM B 3230-3[36]	*Bauprodukte aus Lehm, Teil 3: Lehmputzmörtel - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Österreich	2026	ASI
ÖNORM B 3230-4[36]	*Bauprodukte aus Lehm, Teil 4: Lehmplatten - Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Österreich	2026	ASI
TE Lehmputz	*Technische Empfehlung Lehmputze - Teil 1: im Werk hergestellte Lehmputzmörtel (Lehmwerkmörtel)*	Österreich	2024	Netzwerk Lehm
DIN 18940	*Tragendes Lehmsteinmauerwerk - Bemessung, Konstruktion und Ausführung*	Deutschland	2023	DIN
DIN 18942-1	*Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe*	Deutschland	2024	DIN
DIN 18942-100	*Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*	Deutschland	2024	DIN
DIN 18945	*Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Deutschland	2024	DIN
DIN 18946	*Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Deutschland	2024	DIN
DIN 18947	*Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Deutschland	2024	DIN
DIN 18948	*Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*	Deutschland	2024	DIN
DIN 18550-2	*Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen - Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze*	Deutschland	2018	DIN
Lehmbau Regeln	*Lehmbau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile*	Deutschland	2009	DV-Lehm
TM01	*Technisches Merkblatt TM01: Anforderungen an Lehmputz als Bauteil*	Deutschland	2014	DV-Lehm
TM05	*Technisches Merkblatt TM05: Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangssto0ff für industriell hergestellte Lehmbaustoffe - Richtlinie*	Deutschland	2011	DV-Lehm
TM06	*Technisches Merkblatt TM06: Lehmdünnlagenbeschichtungen - Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren, Deklaration*	Deutschland	2015	DV-Lehm
D0111	*Regeln zum Bauen mit Lehm*	Schweiz	1994[37]	SIA
D077	*Bauen mit Lehm*	Schweiz	1991[38]	SIA

[37] zurückgezogen

[38] mit 31.03.2017 zurückgezogen

Tabelle 25 – Weltweit gültige Lehmbaunormen

Nummer	Titel	Land	Jahr	Herausgeber
UNE 41410	*Compressed earth blocs for walls and partitions – Definitions, specifications and test methods*	Spanien	2023	AENOR
XP P13-901	*Earth bricks and earth blocks for walls and partitions - Definitions - Specifications - Test methods - Delivery acceptance conditions*	Frankreich	2022	AFNOR
ASTM E 2392	*Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems*	USA	2024	ASTM
NMAC 14.7.4	*Housing and construction, Building codes general, New Mexico earthen building materials code*	USA	2021	CID
NTE E.080	*Diseño y construcción con tierra reforzada*	Peru	2020	SENCICO
NEC-SE-VIVENDA	*Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*	Ecuador	2015	MIDUVI
IS 13827	*Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines*	Indien	1993	BIS
GB 50011	*Code for Seismic Design of Buildings*	China	2010	SAC
NBC 204	*Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building (EB)*	Nepal	2015	DUDBC
NZS 4297	*Engineering design of earth buildings*	Neuseeland	2024	NZSO
NZS 4298	*Materials and workmanship for earth buildings*	Neuseeland	2024	NZSO
NZS 4299	*Earth buildings not requiring specific design*	Neuseeland	2024	NZSO
ARS 670 – ARS 689	*Compressed Earth Blocks*	Afrika	1996	ARS
SADC ZW HS 983	*Rammed earth structures – Code of practice*	Zimbabwe	2014	SAZ

5.2.1.3 Ausgangsstoffe

Wie zuvor erwähnt, besteht ein Lehmbaustoff aus Baulehm unter gegebenenfalls Zugabe von mineralischen und/oder organischen Zusatzstoffen.

Allgemein ist Lehm ein Verwitterungsprodukt aus magmatischen, metamorphen oder sedimentären Gesteinen, das vor Ort entstanden ist oder durch natürliche Prozesse wie beispielsweise Wind verfrachtet wird. Wird Lehm für die Herstellung von Lehmbaustoffen verwendet, so bezeichnet man diesen nach DIN-Norm als „*Baulehm*“.

Jeder Baulehm wird zunächst auf seine wesentlichen Produkteigenschaften wie

- Zusammensetzung,

- Verhalten bei Wassereinwirkung und
- Festigkeiten untersucht.

Für diese allgemeinen Produkteigenschaften gibt es unterschiedliche Prüfparameter für die mit dazugehöriger Referenzprüfnorm entsprechende Klassen sowie Anforderungen definiert werden können. Eine Zusammenstellung dieser Prüfparameter kann der Tabelle 22 entnommen werden.

Die Gewinnung von Baulehm kann als Primärrohstoff über einen gezielten Lehmabbau aus Lehmgruben oder als Sekundärrohstoff, der aus zufällig anfallendem Bodenaushubmaterial über Bautätigkeiten oder aus Abbrucharbeiten als Recyclinglehm oder als Nebenprodukt aus Kiesabbautätigkeiten stammt, erfolgen. Dabei ist im Sinne einer gelebten Kreislaufwirtschaft sowie einem schonenden Umgang mit der Umwelt/Ressourcen die Verwendung von Baulehm aus Sekundärrohstoffen stets vorzuziehen.

Ganz allgemein besteht Baulehm aus Ton-, Schluff-, Sand- bis Kiesfraktionen. Dabei ist Ton stets das alleinige, natürliche Bindemittel im Lehm. Wenn der Baulehm einen hohen Tonanteil aufweist, wird dieser als „*fetter*“ Lehm bezeichnet, und bei einem geringen Tonanteil als „*magerer*“ Lehm.

Ob nun Lehm „*fett*“ oder „*mager*“ ist, wird heute noch oft über den Bindekraftversuch nach den Lehmbau-Regeln festgestellt.[39] Da dieser Versuch jedoch im Verfahrensablauf zum einen aufwendig ist und zum anderen oft eine hohe Streuung der Versuchsresultat aufweist, wird aktuell an einer Modifikation des Bindekraftversuches bzw. an möglichen alternativen Ersatzverfahren geforscht.[40]

Abhängig von der Aushubtiefe des Bodens kann dieser Humus bzw. pflanzliche Bestandteile enthalten. Bei der Verarbeitung von Lehm als Baulehm ist darauf zu achten, dass dieser humusfrei bzw. frei von Pflanzenresten ist. Dies kann erreicht werden, indem man auf eine entsprechende Aushubtiefe achtet bzw. eine entsprechende Auswinterung des Bodens berücksichtigt. Dies führt ebenfalls zu einem Verrotten der noch verbliebenen pflanzlichen Bestandteile im Lehm. Denn, falls der Anteil zu hoch

[39] (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 12-15)

[40] FFG-Forschungsprojekte „Erdbewegung“, Quelle: https://projekte.ffg.at/projekt/2632443e-f36b-1410-85f3-00d3c07d99bb [Zugriff am 5.8.2026] und FFG-Forschungsprojekt „missinglink“, Quelle: https://projekte.ffg.at/projekt/5aee433e-f36b-1410-862a-00d3c07d99bb [Zugriff am 5.8.2026], (Muñoz-Czerny, et al., 2026, S. 122-127)

wäre, so kann dieser die Trockendruckfestigkeit nachteilig reduzieren, da diese die Wasseraufnahmefähigkeit im Baustoff erhöht und so die Plastizität nachträglich beeinflusst.[41]

Baulehme können aus dessen Entstehungsgeschichte heraus natürlichen Kalkgehalt aufweisen. Ob dieser einen Einfluss auf die Festigkeiten des Baulehmes hat, ist bislang nicht ausreichend erforscht.[42] Ferner steht der Kalkgehalt aber auch in einem direkten Zusammenhang zum pH-Wert eines Bodens. So weist ein kalkfreier Boden ein saures Milieu auf mit einem pH-Wert von unter 5,5. Der pH-Wert ist wiederum ein Faktor, welcher eine mögliche Schimmelpilzbildung beeinflusst. So benötigen in der Regel Schimmelpilze ein saures Milieu mit einem pH-Wert zwischen 4,5 bis 6,5.

Des Weiteren sollte ein Baulehm möglichst frei von Salzen sein. Bei Vorhandensein können diese durch Auskristallisierungsvorgänge zu Schäden an der Bauteiloberflächen führen in Form von Auflockerungen oder Aufbrüchen des Baustoffes. Daher werden in den entsprechenden Lehmbaunormen immer Grenzwerte für einzelne Salze und/oder dem Gesamtsalzgehalt angegeben.

Bei der Verarbeitung von Lehmbaustoffen sollte immer auch die natürliche Strahlenbelastung beachtet werden. Dies gilt nicht nur für den Lehmbau, sondern generell für alle Baustoffe. Über Radonbelastungen in Gebieten mit magmatischen Gesteinen wie Granit und den daraus entstandenen Verwitterungsprodukten weiß man, dass höhere Radonwerte vorliegen können. Dennoch halten (Schröder, 2019) oder (Minke, 2009) in diesem Zusammenhang fest, dass in diesbezüglich durchgeführten Untersuchungen, die Unbedenklichkeit der Radonwerte für Lehmbaustoffe festgestellt werden konnte.[43]

---

[41] Vgl. (Schröder, 2019, S. 125)

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

[43] Vgl. (Schröder, 2019, S. 458f), (Minke, 2009, S. 67). In diesem Zusammenhang sei auch auf das aktuell laufende Forschungsprojekt RE-FORM-Earth verwiesen, das sich u.a. genau dieser Problematik widmet: (Quelle: https://fti-ressourcenwende.at/de/projekte/kreislaufwirtschaft/reform-earth.php, [Zugriff am 5.8.2026].

Lehmbaustoffe werden unter Zugabe etwaiger Zusatzstoffe mit Wasser aufbereitet und anschließend Luft getrocknet (oder bei Prüfnachweisen nach Norm in der Regel bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte bis zur Erreichung der Massekonstanz gelagert). Dadurch kommt es normalerweise zu einem Schwindvorgang des Lehmbaustoffes. Für den Lehmbaustoff selbst führt dies zu möglichen Rissbildungen, was bei Putzoberflächen nicht erwünscht ist. Dies kann aber auch bis hin zu der Zerstörung des Baustoffes führen. Allgemein ist dieser Vorgang abhängig von:

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

Auf diese Weise kann der Schwindprozess über unterschiedliche Maßnahme entsprechend beeinflusst werden.

Neben dem zuvor beschriebenen Einfluss auf den Schwindvorgang ist die Menge der Wasserzugabe auch ein wichtiges Maß für die Aufbereitung/Herstellung des Baustoffes. Dabei kann Lehm bei Wasserzugabe unterschiedliche Konsistenzen erreichen. Diese reichen von *„fest“* bis *„flüssig“*, siehe Abbildung 12:

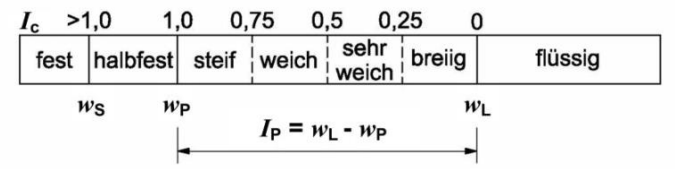


Abbildung 12 – Konsistenzband

Diese unterschiedlichen plastischen Eigenschaften werden über ÖNORM EN ISO 17892-12 bestimmt. Mit Hilfe dieser Norm werden zunächst die Ausrollgrenze w_P und die Fließgrenze w_L im Versuch bestimmt. Mit den ermittelten Werten kann nun die Plastizitätszahl berechnet werden. Diese erhält man aus der *„Differenz des Wassergehalts an der Fließgrenze […] und der Ausrollgrenze […] eines feinkörnigen Bodens*“ mit folgender Formel

$I_P = w_L - w_P$.[44]

[44] (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019), Begriff 3.10

Trägt man nun im Plastizitätsdiagramm, siehe Abbildung 13, auf der Y-Achse die Plastizitätszahl eines Bodens auf und auf der X-Achse dessen Fließgrenze, so lässt sich aus diesem erkennen, welche plastischen Eigenschaften der untersuchte Boden aufweist abhängig von der Lage des Punktes in Bezug auf die A-Linie und dem Wert der Fließgrenze.

Bezogen auf die Fließgrenze unterscheidet man zwischen:

- niedrig plastisch, „L“ (w_L < 35)
- mittel plastisch, „M“ (w_L von 35 bis 50)
- hoch plastisch, „H“ (w_L von 50 bis 70)
- sehr hoch plastisch, „V“ (w_L > 70)

Des Weiteren liefert die Lage des eingetragenen Punktes bezogen auf die normativ definierte A-Linie (siehe Abbildung 13) folgende Hinweise:

- über der A-Linie ist die Art des Bodens als Ton „Cl“,
- unter der A-Linie ist die Art des Bodens als Schluff „Si“ zu bezeichnen.

Mit Hilfe dieser Zusammenhänge lässt sich nun auch ein Bezug zur Bindekraft des Baulehms herstellen.[45] Nach (Schröder, 2019) lässt sich dabei wie in Tabelle 26 dargestellt eine Zuordnung zur geotechnischen Plastizität und der lehmbautechnischen Bindekraft herstellen.

Tabelle 26 – Gegenüberstellung geotechnische Plastizität und lehmbautechnische Bindekraft[46]

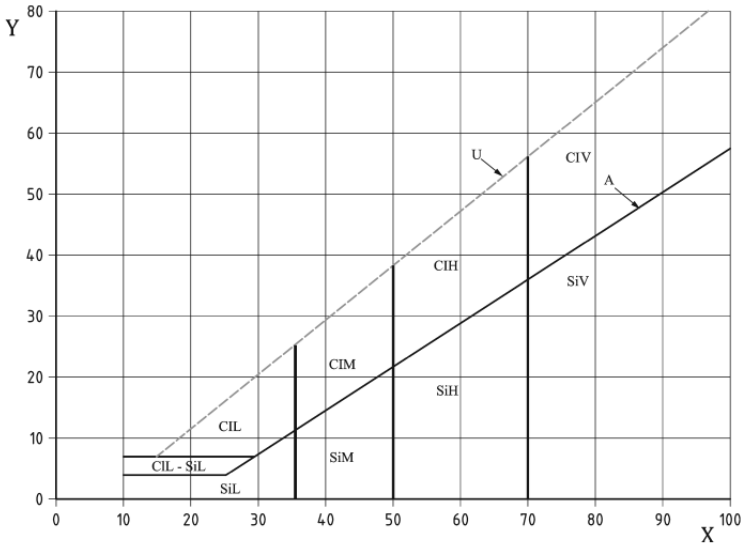
Geotechnische Plastizität	**Lehmbautechnische Bindekraft**
Niedrig plastisch	Mager
Mittel plastisch	Fast fett - fett
Hoch plastische	Sehr fett, Ton

Wie weit auch die Lage des Punktes in Bezug auf die A-Linie zusätzlich eine Aussage für die lehmbautechnische Bindekraft liefert, gibt Schröder an dieser Stelle nicht an.

[45] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 12-15): Die Bindekraft bildet eine wichtige Bezugsgröße für den Lehmbau und wird nach (Niemeyer, 1987) bzw. Lehmbau-Regeln über den Bindekrafttest ermittelt.

[46] (Schröder, 2019, S. 111)

Im Forschungsprojekt FFG-Erdbewegung konnte dazu nachgewiesen werden, dass es sehr wohl eine Korrelation der Plastizitätszahl zur Bindekraft gibt. Diese Abhängigkeit würde dann sowohl die Fließgrenze als auch die Lage zur A-Linie berücksichtigen und eine bessere Differenzierung für eine qualitative Aussage ermöglichen. Nähere Untersuchung zu dieser Fragestellung wären hier noch zweckmäßig.[47]



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	< 35	
Si Schluff	M mittel	35 bis 50	
	H hoch	50 bis 70	
	V sehr hoch	> 70	
	O organisch	zur Klassifizierung für organisches Material (z. B. CIHO) hinzufügen	
U-Linie	$I_P = 0{,}9\ (w_L - 8)$	A-Linie	$I_P = 0{,}73\ (w_L - 20)$

Abbildung 13 – Plastizitätsdiagramm

Ferner kann auch mit diesen Werten, der benötigte Wassergehalt berechnet werden, um so eine gewünschte Verarbeitungsform („*breiig*“ bis „*halbfest*“) des Baulehms einstellen zu können. Dies erfolgt über die Konsistenzzahl I_C aus Abbildung 12, dem Plastizitätsindex I_P und der entsprechenden Fließgrenze w_L des Baulehms.

Damit kann mit nachfolgender Gleichung der notwendige Wassergehalt einer Lehmmischung berechnet werden in Bezug auf die gewünschte Verarbeitungskonsistenz:

[47] FFG-Forschungsprojekt „Erdbewegung“, Quelle: https://projekte.ffg.at/projekt/2632443e-f36b-1410-85f3-00d3c07d99bb [Zugriff am 5.8.2026], (Muñoz-Czerny, et al., 2026, S. 71-76, 122-127)

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

Eine wesentlichen Produkteigenschaft des Lehmbaustoffes ist dessen Druckfestigkeit. Allgemein wird diese von folgenden Einflussgrößen bestimmt:

- optimale Korngrößenverteilung: bei einer „*weit gestuften*“ oder „*intermittierend gestuften*“ Korngrößenverteilung (Bezeichnung nach ÖNORM EN ISO 14688-2) erreichen Baulehme eine höhere Druckfestigkeit.[48] Geschiebelehme weisen in der Regel genau diese Eigenschaften auf.
- Art und Menge der Tonmineralien,
- Verarbeitung bei optimalem Wassergehalt in Bezug auf dessen Verdichtung (analog wie beim Proctor-Versuch) ,
- dem Ruhelassen einer aufbereiteten Lehmmischung, auch „*Mauken*“ genannt,[49]
- möglicherweise durch natürlichen Kalkgehalt.
- Der Gehalt an organischen Bestandteilen bewirkt, durch dessen Eigenschaft mehr Wasser aufnehmen zu können, eine Verminderung der Festigkeiten.[50]

Neben dem Baulehm werden Lehmbaustoffe in der Regel auch mineralische und/oder organische Zusatzstoffe hinzugegeben, dazu zählen:

- mineralische Zusatzstoffe:
    - natürliche Gesteinskörnung nach ÖNORM B 3131;
    - recyclierte Gesteinskörnung nach den ÖNORMEN B 3140 und B 3141;
    - Ziegelsplitt oder Ziegelmehl aus der Ziegelproduktion (geschützt);
    - Blähperlite, Blähton, Blähglas, Schaumglas, Blähschiefer und Naturbims nach ÖNORM B 3136.
- organische, chemisch unbehandelte Zusatzstoffe:
    - Pflanzenteile und -fasern;
    - Tierhaare;
    - zerkleinertes Holz (keine Holzwerkstoffe).
- organische, chemisch behandelte Zusatzstoffe beispielswiese Zellulosefasern.

[48] Vgl. (Schröder, 2019, S. 93)

[49] (Rischanek, Sicherheitskonzept für den Lehmsteinbau, 2009)

[50] Vgl. (Schröder, 2019, S. 125)

- anorganische Pigmente nach ÖNORM EN 12878.

Durch die Zugabe von Zusatzstoffen können die Eigenschaften von Lehmbaustoffen unterschiedlich verändert werden. Prinzipiell bewirkt die Zugabe von mineralischen Zusatzstoffen wie Sand, Ziegelsplit eine Abmagerung des Lehmbaustoffes. Dadurch kann etwa das Schwindverhalten des Baustoffes positiv beeinflusst werden. Ferner kann sich auch die Verarbeitbarkeit durch die Zugabe von Sand verbessern.

Wie bereits zuvor erwähnt, kann die Druckfestigkeit durch eine „*weit gestufte*“ Korngrößenverteilung erhöht werden. Damit verbunden kann durch das richtige Maß an Zugabe möglicher fehlender Kornfraktionen genau diese Eigenschaft eingestellt werden.

Des Weiteren ist zu beachten, dass das Größtkorn auch abhängig ist von der Dicke des Lehmbaustoffes (beispielsweise Lehmputze gegenüber Stampflehm).

Ebenfalls wird durch die Zugabe von Zusatzstoffen die Rohdichte beeinflusst, siehe dazu Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit, siehe Tabelle 27.

So wie bei den mineralischen Zusatzstoffen beeinflussen auch pflanzliche Zusatzstoffe den Lehmbaustoff. Wie zuvor können diese ein Abmagern der Baulehmmischung bewirken und so die Trockenschwindung positiv beeinflussen. Gleiches gilt auch für die Verarbeitbarkeit des Lehmbaustoffes. Dabei können Pflanzenfasern die Geschmeidigkeit des Materials erhöhen bis hin auch das Wasserrückhaltevermögen verbessern. Pflanzenfasern wie Stroh wirken im Lehmbaustoff wie eine Art Bewehrung und erhöhen so auch die Biegezugfestigkeit des Lehmbaustoffes.

Auch auf die Raumakustik hat die Zugabe von Pflanzenfasern eine positive, dämpfende Wirkung und das Schallschluckvermögen wird dadurch entsprechend erhöht. Gleiches gilt für die Wärmedämmung, siehe Tabelle 27.

5.2.1.4 Wärmeleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusionswiderstand

Zur Erreichung einer optimalen Wärmeleitfähigkeit können geblähte Gesteine (bspw. Blähperlite, Blähton, Blähglas) oder pflanzliche Stoffe wie Stroh eingesetzt werden.

Dadurch wird die Rohdichte reduziert, was gleichzeitig zu einer Verringerung des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit führt. Entsprechende Werte für Lehmbaustoffe können der DIN 4108-4 oder ÖNORM B 3230-1 entnommen werden.

Tabelle 27 – Bauphysikalische Werte für Lehmbaustoffe abhängig von der Rohdichte

Rohdichte in [kg/m³] ρ	**Wärmeleitfähigkeit in [W/(m·K)]** $\lambda_{design,mat}$	**Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl[51]** μ	**Spezifische Wärme-kapazität in [J/(kg·K)]** c_p
500	0,14	5/10	1000
600	0,17	5/10	1000
700	0,21	5/10	1000
800	0,25	5/10	1000
900	0,30	5/10	1000
1000	0,35	5/10	1000
1200	0,47	5/10	1000
1400	0,59	5/10	1000
1600	0,73	5/10	1000
1800	0,91	5/10	1000
2000	1,10	5/10	1000
Bei Verwendung von organischen Zuschlägen und einer Rohdichte kleiner 1400kg/m³ kann die spezifische Wärmekapazität einen Wert von bis zu 1500JkgK erreichen.			

5.2.1.5 Eigenschaften von Lehmbaustoffe

Die nachfolgende Tabelle 28 enthält eine Zusammenstellung wesentlicher bauphysikalischer und mechanischer Eigenschaften für Lehmbaustoffe. Um die angegebenen Werte besser einordnen zu können, werden dazu auch für konventionelle Baustoffe die entsprechenden Vergleichsgrößen aufgelistet.

Tabelle 28 – Eigenschaften von Lehm im Vergleich zu anderen Baustoffen

Eigenschaften	**Lehm**	**konventionelle Baustoffe**
Rohdichte in kg/m³	300 – 2200	Beton 2400 Holz 500 – 900
Trockenschwindung in %	0,5 – 6	Beton 0,04 – 0,09
Druckfestigkeit in N/mm²	1 – 10	gebrannter Ziegel 8 – 28 Porenbeton 2,5 – 10 Kalksandstein 12 – 20 Beton 12 – 50

[51] Für die Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl ist das Diffusionsverhalten unterschiedlich, je nachdem, ob es sich um eine Diffusion in das Bauteil hinein (niedrige Wert) oder aus dem Bauteil heraus, das einer Austrocknungsperiode entspricht, (höhere Wert) handelt.

Haftfestigkeit von Putz in N/mm²	0,03 – 0,20	Kalkputz 0,1 – 0,2 Kalkzementputz 0,2 – 0,4 Gipsputz 0,4 – 0,9 Zementputz 1,0 – 2,0
Spezifische Wärmekapazität[52] in J/kgK	1000 – 1500	gebrannter Ziegel 840 Holz 1400 – 2700 Beton 1000 Mineralwolle 800 – 1000
Wärmespeicherzahl[53] J/m³K	1800 – 2100	gebrannter Ziegel 840 Holz 1200- 1600 Beton 2000 Mineralwolle 20 – 80

5.2.1.6 Ökobilanzierung

Spricht man von kreislauffähigen Bauen, dann ist gerade Lehm der optimale Baustoff. Wie kaum ein anderer ist dieser, eine sachgemäße Verarbeitung wird an dieser Stelle vorausgesetzt, zu hundert Prozent kreislauffähig.

Dazu kommt noch, dass dieser in seiner Herstellung energiearm ist, das wiederum zu einem äußerst geringen CO_2-Äquivalent als Maß für Treibhausgasemissionen führt im Vergleich zu anderen Baustoffen. So liegt dieser bei einer mechanischen Verarbeitung von Lehm zu Lehmmauersteinen mit Hilfe von hydraulischen Pressen etwa bei 9,95 kg CO_2-Äquivalent pro m³, wohingegen konventionelle mineralische Baustoffe Werte zwischen 113 bis 305 kg CO_2-Äquivalent pro m³ aufweisen.[54]

[52] Bei Verwendung von organischen Zuschlägen und der damit verbundenen Erreichung einer Rohdichte unter 1400kg/m³ kann die spezifische Wärmekapazität einen Wert von bis zu 1500 J/kgK erreichen.

[53] Die Wärmespeicherzahl berechnet sich durch die Multiplikation der Baustoffdichte mit der spezifischen Wärmekapazität. Dabei gilt, dass bei einer hohen Wärmespeicherzahl das Material viel Wärme aufnehmen kann und die Temperatur nur langsam schwankt. So ein Baustoff speichert also sehr gut Wärme.

[54] Berechnet nach ÖNORM EN 15804 für die Produktphase von Lehmsteinen (Module A1 bis A3) durch das Unternehmen „Earthbound“ (Deutschland), das sich auf die Herstellung von Lehmsteinen und Lehmmauermörtel aus Berliner Aushubmaterial spezialisierte; Quelle https://www.eb.eco/produkte/lehmmauermoertel/ [Zugriff am 6.8.2026]

Um dies auch für den im Werk hergestellten Lehmbaustoff nach den heutigen Bewertungssystemen darstellen zu können, werden derzeit in Österreich entsprechende Umweltproduktdeklarationen (EPD) für Lehmbaustoffe auf Basis der ÖNORM EN ISO 14025 bzw. ÖNORM EN 15084 ausgearbeitet.[55]

Bis zur Fertigstellung dieser könnte man auch auf die in Deutschland durch den Dachverband Lehm (DVL) bereits publizierten Dokumente zurückgreifen.[56] Diese referenzieren auf die bestehenden DIN-Lehmbaunormen, die ihrerseits wieder einen informativen Anhang zur Beschreibung einer Ökobilanzierung von Lehmbaustoffe enthalten.

Nachfolgende Darstellung zeigt vereinfacht das Kreislaufmodell für ein Bauwerk hergestellt aus Lehmbaustoffen mit eingetragenen Modulen A1 bis C4 gemäß ÖNORM EN 15804.

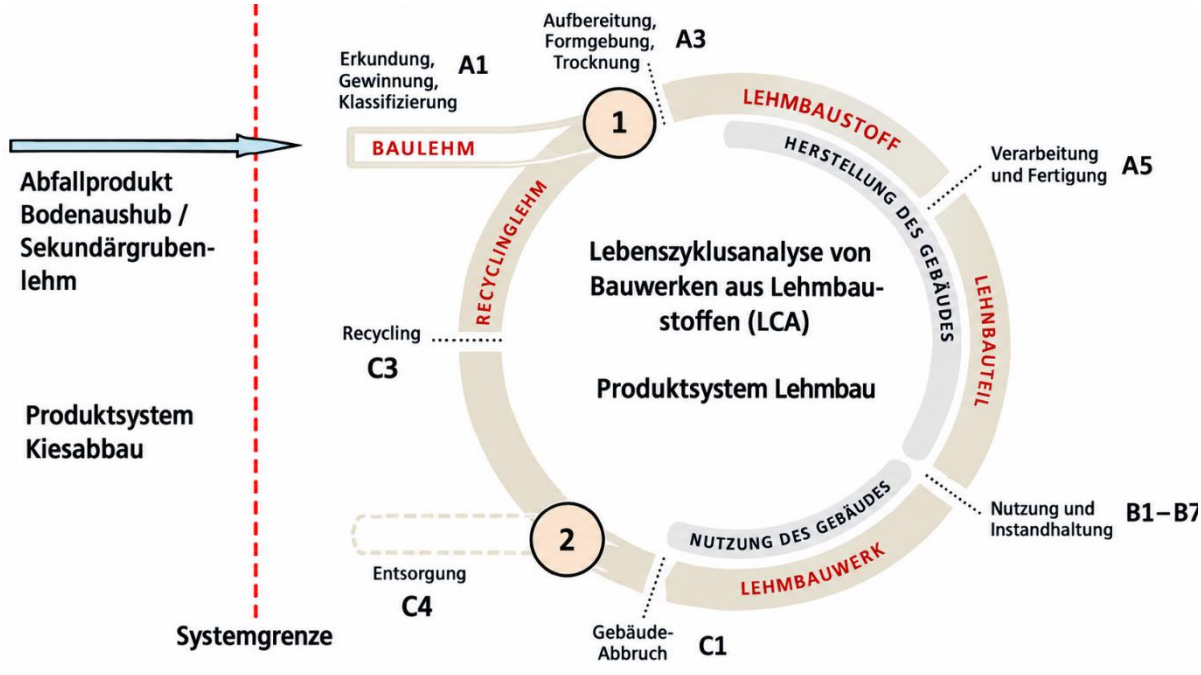


Abbildung 14 – Lebenszyklusanalyse von Bauwerken aus Lehmbaustoffen

[55] ÖNORM EN ISO 14025 regelt die Verfahrensgrundsätze für die Umweltkennzeichnung und ÖNORM EN 15804 beschreibt die Indikatoren für den Ressourceneinsatz und die Umwelteinwirkung auf die einzelnen Stoffflüsse in der Ökobilanzierung. Quelle: https://www.bau-epd.at/fileadmin/user_upload/pkr_produktspezifisch_A2/BAU-EPD-PKR-B-2.27-Lehmbauprodukte-Version1.0-20260507-EN15804_A2-Deutsch-Webseite.pdf [Zugriff am 13.8.2026]

[56] Siehe https://www.dachverband-lehm.de/wissen/lehm-upd-umweltproduktdeklarationen [Zugriff am 16.6.2026]

5.2.2 Bauprodukt „Baulehm“

Zur Beschreibung der wesentlichen Anforderungen an den Baulehm als Produkt befindet sich derzeit über das Forschungsprojekt FFG-Missinglink[57] ein Leitfaden in Ausarbeitung, der über die definierten Produkteigenschaften wie Zusammensetzung, Verhalten bei Wassereinwirkung und Festigkeiten auf Basis entsprechender Referenznormen dann die möglichen Klassen bzw. Anforderungen für das Produkt „*Baulehm*“ definieren soll. Diese Einteilung soll im Wesentliche nach ähnlichen Parametern erfolgen, wie dies die Tabelle 22 aufweist.

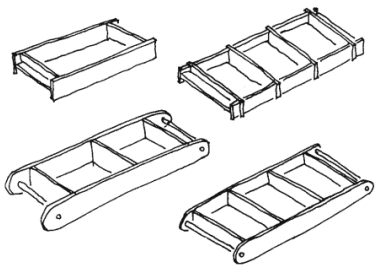
Auf Basis dieses Leitfadens könnte dann eine Kennzeichnung des Baulehms erfolgen, der nicht unmittelbar zur Herstellung eines Lehmbaustoffes zur Anwendung gelangt, jedoch über eine Zwischendeponierung gelagert wird und so durch eine genormte Kennzeichnung leichter für eine weitere Verwendungen abgerufen werden könnte, (ähnlich bspw. den europäischen Produktnormen ÖNORM EN 12620 für Gesteinskörnungen für Beton).

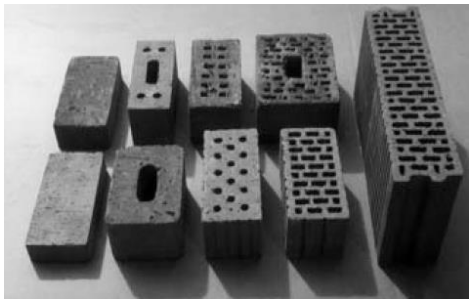
Baulehm könnte dann in unterschiedlicher Form vorliegen: erdfeucht, trocken und gemahlen, mit der entsprechenden Sieblinie gekennzeichnet oder bereits für den unmittelbaren Einsatz als Lehmbaustoff aufbereitet. Dieser könnte dann idealerweise bereits abgepackt in Big-Bags oder Säcken vorrätig sein bzw. zur Abholung von der Zwischendeponie angeboten werden.

5.2.3 Lehmmauersteine, Lehmziegeln

Lehmmauersteine sind quaderförmig geformte Lehmbaustoffe.

Ein typisches Maß für einen Lehmmauerstein ist das Normalformat mit den Abmessungen 240 x 115 x 71mm. Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt Formen zur Herstellung von formgeschlagenen Lehmsteinen sowie unterschiedliche produzierte Lehmsteine mit oder ohne Lochung.





[57] Quelle: https://projekte.ffg.at/projekt/5aee433e-f36b-1410-862a-00d3c07d99bb [Zugriff am 5.8.2026]

Abbildung 15 – Links: Formen für Lehmsteine, Rechts: Unterschiedliche Lehmsteine

Für Lehmmauersteine befindet sich gerade bei Austrian Standards eine entsprechende Produktnorm in Ausarbeitung, die Angaben zu Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung von Lehmmauersteine enthalten soll. Dabei handelt es um die ÖNORM B 3230-1, *Bauprodukte aus Lehm – Teil 1: Lehmmauersteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Bis diese publiziert wird, kann für Lehmsteine auf die bestehende DIN 18945 zurückgegriffen werden.

Lehmmauersteinen können prinzipiell wie folgt hergestellt werden:

- formgeschlagener Lehm-Mauerstein: dieser wird durch händisches oder mechanisiertes „*Patzen*“ (schwungvolles Einwerfen) oder Rütteln in eine Schalung geformt und anschließend ohne Nachverdichtung abgestrichen.
- formgepresster Lehm-Mauerstein: dieser wird durch Pressen oder Stampfen in einer Form hergestellt.
- stranggepresster Lehm-Mauerstein: dieser wird von einem über ein Mundstück gepressten Baulehm-Strang abgeschnitten.

Lehmmauersteine können als Voll- oder Lochsteine hergestellt werden.

Grundsätzlich sind Lehmmauersteine nur im geschützten Mauerwerk zu verwenden. Dieser Schutz kann bei Außenwänden durch eine geeignete Putzschicht oder Verkleidung erfolgen. Ferner können Lehmmauersteine auch die innere Wandschale einer zweischaligen Außenwand sein oder als Innenwand verwendet werden.

Dabei werden für Lehmmauersteine nach DIN 18945 u. a. folgende Anforderungen definiert:

- Form, Lochung und Stege (innere Geometrie): für tragendes Mauerwerk darf der zulässige Lochanteil der Lagerfläche nicht mehr als 15% betragen
- Maße und Formate
- Gehalt an bauschädlichen Salzen: Nitrate ≤ 0,02%-Massenanteil, Sulfate ≤ 0,10%-Massenanteil und Chloride ≤0,08%-Massenanteil, Gesamtgehalt nicht mehr als 0,12%-Massenanteil.
- Steinrohdichte: für tragendes Mauerwerk mindestens 1210 kg/m³
- Druckfestigkeit: für tragendes Mauerwerk mindestens eine Druckfestigkeit im Mittel von 2,5 N/mm² wobei der kleinste Einzelwert nicht unter 2,0 N/mm² liegen darf.
- Verhalten unter Feuchte und Frosteinwirkung: überprüft mittels Tauch-, Kontakt-, Saug- und Frostprüfungen.

Die Bemessung eines Lehmsteinmauerwerkes kann über die DIN 18940 erfolgen oder über das vereinfachte Bemessungsverfahren für das tragende Mauerwerk nach ÖNORM B 1996-3.

5.2.4 Lehmmauermörtel

Lehmmörtel wird allgemein aus feinkörnigen schluffig, sandig, magerer bis fast fetten Lehm hergestellt.

Für Lehmmauermörtel befindet sich ebenso bei Austrian Standards eine entsprechende Produktnorm in Ausarbeitung, die Angaben zu Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung von Lehmmauermörtel enthalten soll. Dabei handelt es um die ÖNORM B 3230-2, *Bauprodukte aus Lehm – Teil 2: Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Bis diese publiziert wird, kann für Lehmmauermörtel auf die bestehende DIN 18946 zurückgegriffen werden.

In DIN 18946 werden Angaben zu den Liefereigenschaften und Eigenschaften für den Frischmörtel festgelegt. Für den Festmörtel gelten des Weiteren in dieser Norm u. a. folgende Anforderungen:

- Rohdichte: für ein tragendes Mauerwerk mindestens 1410 kg/m³
- Lineares Trockenschwindmaß: nicht mehr als 2,5% bei faserbewehrten Lehmmauermörtel von bis zu 4,0%
- Gehalt an bauschädlichen Salzen: Nitrate ≤ 0,02%-Massenanteil, Sulfate ≤ 0,10%-Massenanteil und Chloride ≤0,08%-Massenanteil, Gesamtgehalt nicht mehr als 0,12%-Massenanteil.
- Festigkeit: definiert werden zwei Festigkeitsklassen, und zwar M1 und M2,5, wobei für ein tragendes Mauerwerk nur die Festigkeitsklasse M2,5 verwendet werden darf:
    - M1: Druckfestigkeit von mindestens 1,0 N/mm²
    - M2,5: Druckfestigkeit von mindestens 2,5 N/mm² und eine Haftscherfestigkeit von mindestens 0,04 N/mm².

5.2.5 Lehmputzmörtel

Für Lehmputzmörtel befindet sich bei Austrian Standards eine entsprechende Produktnorm in Ausarbeitung, die Angaben zu Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung von Lehmputzmörtel enthalten sollen. Dabei handelt es um die ÖNORM B 3230-3, *Bauprodukte aus Lehm – Teil 3: Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*. Bis diese publiziert wird, kann für Lehmputzmörtel auf die bestehende DIN 18947 zurückgegriffen werden.

In DIN 18947 werden Angaben zu den Liefereigenschaften und Eigenschaften für den Frischmörtel festgelegt. Für den Festmörtel gelten nach dieser Norm u. a. folgende Anforderungen:

- Rohdichte: ist anzugeben, bei einer Rohdichte unter 1200 kg/m² kann der Lehmputzmörtel auch als Leicht-Lehmputzmörtel deklariert werden.
- Lineares Trockenschwindmaß: nicht mehr als 2,0% bei faserbewehrten Lehmputzmörtel von bis zu 3,0%. Für Lehmdünnlagenputzmörtel gilt 3,0% bzw. bei faserbewehrten Lehmdünnlagenputzmörtel von bis zu 4,0%.
- Gehalt an bauschädlichen Salzen: Nitrate ≤ 0,02%-Massenanteil, Sulfate ≤ 0,10%-Massenanteil und Chloride ≤0,08%-Massenanteil, Gesamtgehalt nicht mehr als 0,12%-Massenanteil.
- Festigkeit: definiert werden zwei Festigkeitsklassen, und zwar S I und S II:
    - S I: Druckfestigkeit ≥1,0 N/mm², Biegezugfestigkeit ≥0,3 N/mm², Haftfestigkeit ≥0,05 N/mm², Abrieb ≤ 1,5 g
    - S II: Druckfestigkeit ≥1,5 N/mm², Biegezugfestigkeit ≥0,7 N/mm², Haftfestigkeit ≥0,10 N/mm², Abrieb ≤ 0,7 g

5.2.6 Stampflehm

Stampflehm wird in der Regel mit einem Baulehm, der eine Rohdichte von 1700 bis 2200 kg/m³ aufweist, errichtet. Dieser wird mit oder ohne Zusatzstoffe zwischen einer Schalung schichtweise eingearbeitet, wobei die jeweilige Schichthöhe normalerweise etwa 10 cm beträgt.

Abbildung 16 zeigt dabei links unterschiedliche Ausführungsformen zur Schalung von Stampflehmwände und rechts eine unverputzte Stampflehmwand.

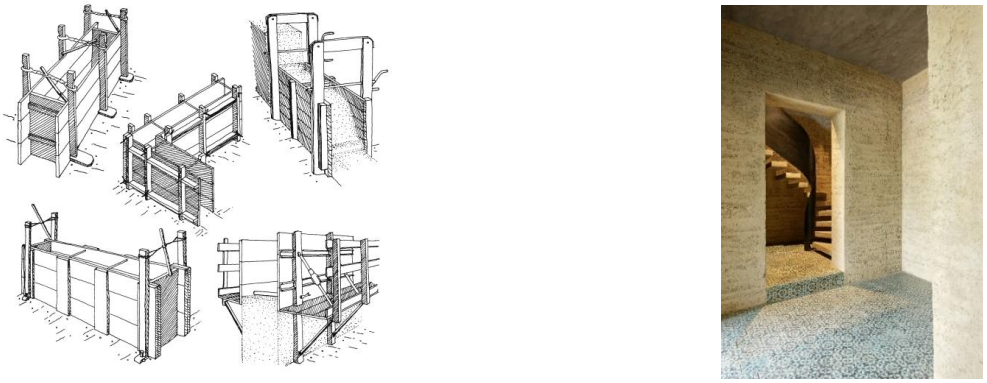


Abbildung 16 – Links Schalungen für Stampflehmwand, Rechts: Innendetail im Wohnhaus Rauch

Die Korngrößenverteilung eines Baulehms für Stampflehm ist bevorzugt weit gestuft, wobei sich besonders gemischtkörniger Lehm mit etwas höheren Grobkornanteil eignet.

Stampflehm ist sowohl für tragende als auch nicht-tragende Bauteile anwendbar.

Die Bemessung von Stampflehmwände kann dabei über die Lehmbau-Regeln[58] oder über die ÖNORM EN 1990:2013, Anhang D (versuchsgestützte Bemessung) erfolgen.

5.2.7 Lehmschüttung

Unter Lehmschüttungen versteht man ein lehmgebundenes schüttfähiges Material mit gegebenenfalls mineralischen und/oder organischen Zusatzstoffen, das zur Verfüllung von Hohlräumen oder Geschoßdecken eingesetzt werden kann.

Dabei gibt es keine Anforderungen an den Baulehm hinsichtlich Korngrößenverteilung und Plastizität, womit eigentlich jeder Baulehm geeignet ist.

Angaben zur Planung und Ausführung finden sich wieder in den Lehmbau-Regeln.[59]

5.2.8 Konformitätsnachweis

Nach den DIN-Normen gibt es für den Konformitätsnachweis von Lehmbauprodukten eine eigene Norm nämlich DIN 18942-100. In dieser werden für die Erstprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle im laufenden Betrieb Anforderungen an den jeweiligen Lehmbaustoffes definiert.

Die künftigen ÖNORM B 3230 wird ebenfalls Konformitätsanforderungen für die Produktzulassung (= Erstzulassung) und die laufende werkseigene Produktionskontrolle (WPK) enthalten. Diese werden analog zur Systematik der europäischen Bauproduktenormen direkt in der jeweiligen Produktnorm als eigenen Abschnitt einschließlich entsprechender Anhänge zur Erstprüfung und zu den Prüfintervallen für die WPK festgelegt. Auch das angestrebte Sicherheitsniveau ausgedrückt durch die unterschiedlichen Prüfsystemen soll der Systematik der europäischen Bauproduktenormen folgen. Grundsätzlich definiert die Bauprodukteverordnung EU-VO Nr. 305/2011 unterschiedliche Systeme zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit von Bauprodukten. Dabei gilt generell, dass

[58] Vgl. (Volhard & Röhlen, 2009, S. 47-54)

[59] (Volhard & Röhlen, 2009, S. 33-35)

Mauersteine und Mauermörtel in das System 2+ und Putze in das System 4 fallen. Daher ist es logisch auch für Lehmbaustoffe das gleiche Sicherheitsniveau festzulegen.

Dabei bedeutet nach EU-VO Nr. 305/2011, dass folgende Anforderungen für das jeweilige System gelten:

<u>System 2+</u>

- Aufgaben für den Hersteller:
    - Feststellung des Produkttyps anhand einer Typprüfung (einschließlich Probenahme), einer Typberechnung, von Werttabellen oder Unterlagen zur Produktbeschreibung;
    - werkseigene Produktionskontrolle.
    - Prüfung von im Werk entnommenen Proben nach festgelegtem Prüfplan.
- Mit einer notifizierte Zertifizierungsstelle für die werkseigene Produktionskontrolle
    - Erstinspektion des Werks und der werkseigenen Produktionskontrolle;
    - laufende Überwachung, Bewertung und Evaluierung der werkseigenen Produktionskontrolle.

<u>System 4</u>

- Aufgaben für den Hersteller:
    - Feststellung des Produkttyps anhand einer Typprüfung, einer Typberechnung, von Wertetabellen oder Unterlagen zur Produktbeschreibung;
    - werkseigene Produktionskontrolle.

Hier findet sich auch ein wesentlicher Unterschied zur bestehenden DIN 18942-100. Denn diese folgt dabei für alle Lehmbauprodukte dem System 4. Ferner enthält DIN 18942-100 auch für die jeweiligen Lehmbaustoffe festgelegte Prüfintervallen:

für Lehmmauersteine:

- je 250m³ Lehmsteine werden Steinrohdichte, Druckfestigkeit, Form, Lochung und Maße geprüft
- die restlichen Prüfeigenschaften wie Verhalten bei Wassereinwirkung bei Lehmsteinen mit AK Ib und II je 1000m³ Lehmsteinen.

für Lehmmauermörtel:

- je 400 t Lehmmauermörtel für die erforderlichen Eigenschaften

für Lehmputzmörtel:

- je 400 t Lehmmauermörtel bei weniger als 1600 t Jahresproduktion
- 4-mal im Jahr bei einer Jahresproduktion von mehr als 1600 t.

Abschließend wäre für ein mögliches Bauprodukt „Baulehm“ das System 4 denkbar mit einem Prüfintervall im laufenden Betrieb (WPK) von je 500m³ Baulehm für die erforderlichen Produkteigenschaften.

5.3 Bestehende Auswahlkriterien

In weiterer Folge werden nun auf Grundlage der einschlägigen Lehmbau-Literatur die grundlegenden Anforderungen an Baulehm sowie Angaben zur möglichen Verwendung organischer und/oder mineralischer Zusatzstoffe für verschieden Lehmbauanwendungen wie Lehmsteine, Lehmmörtel, Stampflehm sowie Lehmschüttung zusammengestellt.

Dabei werden folgende Angaben für den Baulehm näher betrachtet:

- Korngrößenverteilung über Texturdreieck oder Sieblinie,
- Plastischen Eigenschaften (Fließgrenze und Plastizitätsindex),
- Zusatzstoffe,
- Bindekraft,
- Aufbereitung des Baulehms.

Betrachtet man die bis heute immer wieder herangezogenen Lehmbauliteratur, so kommt man nicht umhin, eines der frühen Standardwerke des Lehmbaus näher zu betrachtet, nämlich die von Niemeyer verfasste Publikation aus dem Jahr 1946 (Niemeyer, 1987). In diesem Buch findet man bereits erste Angaben für eine optimale Zusammensetzung u. a. für Stampflehm und Lehmquader (Quaderbau, mit den Steinabmessungen von 38 x 25 x 12cm)[60], siehe Tabelle 29.

[60] (Niemeyer, 1987, S. 134)

Tabelle 29 – Verarbeitung der Lehme nach (Niemeyer, 1987)[61]

Lehmart	Sand-Körnung	QUADERBAU Stroh od. Heide 8-12cm lang		STAMPFLEHMBAU Kies od. Kleinschlag bis 5cm Durchm.		Stroh od. Heide 5-10cm lang	
		kg/m³ loser Lehmmasse	S[62] [kg/cm²]	Kies : Lehm (Raumteile)	S [kg/cm²]	kg/m³ loser Lehmmasse	S [kg/cm²]
Sehr mager	Grob Fein Schluff	4 4 4	2	Vorsatz[63] Vorsatz Vorsatz	2	Vorsatz Vorsatz Vorsatz	2
Mager	Grob Fein Schluff	4 4 4	2	(Vorsatz) Vorsatz Vorsatz	2	(Vorsatz) Vorsatz Vorsatz	2
Fehr mager	Grob Fein Schluff	4 5 5	2,5	(1 : 5) 1 : 5 (Vorsatz) 1 : 4 Vorsatz	2,5	(4) 4 (Vorsatz) 5 (Vorsatz)	2,5
Fast fett	Grob Fein Schluff	6 7 8	2,5 bis 3	1 : 4 1 : 4 1 : 3,5	2,5 bis 3	6 6 – 7 7 – 8	2,5 bis 3
Fett	Grob Fein Schluff	8 9 10	3	1 : 3 1 : 2,5 1 : 2	3 bis 4	8 – 9 9 – 10 9 – 11	3
Sehr fett	Grob Fein Schluff	10 11 12	3	1 : 2 1 : 1,5 1 : 1,5	4 bis 4,5	10 – 11 11 – 13 12 – 14	3
Tone	Grob Fein Schluff	Für magere Tone Vorproben machen. Oft nach der letzten Reihe verarbeitbar, dann 5kg/cm³. Fette und sehr fette Tone mit Grobsand magern (durch Lehmpfuhl oder maschinell), dann auf Bindekraft prüfen-					

Es war dann Gernot Minke, der gegen Ende des 20. Jahrhunderts vertiefende Grundlagenforschungen zum Lehmbau durchführte. In Bezug auf die Beschaffenheit von Baulehm hält er dabei etwa fest, dass Grünlinge (das sind nichtgebrannte Ziegeln aus Ziegeleien) eine Kornverteilung von 24% Ton, 50% Schluff, 23% Sand und 3% Kies aufweisen. Diese sind jedoch bei möglicher Feuchteeinwirkung stark quell- und schwindanfällig. Eine typische Korngrößenverteilung für einen luftgetrockneten Lehmstein sollte nach (Minke, 2009), wie folgt aussehen: 14 %Ton, 22 % Schluff, 62 % Sand und 2 % Kies.[64] Auch für den Lehmputz findet sich bei (Minke, 2009) eine nähere Empfehlung zur

[61] Tafel III aus (Niemeyer, 1987)

[62] „S" steht hier für die zulässige Druckspannungen nach (Niemeyer, 1987)

[63] Der Ausdruck „*Vorsatz*" bedeutet, dass vor allem bei mageren Lehmen eine Schutzschicht erforderlich ist zur Verbesserung der Regenfestigkeit und Putzhaftung, vgl. (Niemeyer, 1987, S. 39)

[64] Vgl. (Minke, 2009, S. 128)

Korngrößenverteilung, und zwar sollte diese eine große Mengen an Grobsand enthalten bei ausreichendem Ton.[65]

Schließlich sind es die Lehmbau-Regeln[66], die auf Basis der ersten Lehmbauordnung für Deutschland aus dem Jahr 1944 und den in den 70-iger Jahren zurückgezogenen ersten DIN-Lehmbaunormen, die zwischen 1951 und 1956 entstanden, technische Grundlagen zur Beschreibung der wesentlichen Anforderungen an den Baulehm definieren. Betrachtet man diese, so kann für jede Lehmbauanwendung eine einfache Baulehmklassifikation vorgenommen werden. Die nachfolgende Tabelle 30 zeigt diese Zuordnung. Dazu liefern die Lehmbau-Regeln zusätzliche generelle Anforderungen, die für alle Lehmbauarten gelten müssen, beispielsweise dass Baulehme frei von Humus sein müssen. [67] Dazu werden noch für jeden Lehmbaustoff Anforderungen an die Konstruktion und die Produkteigenschaften wie Festigkeiten, Lineare Trockenschwindmaß, Rohdichte zusammengestellt. Dazu sei an dieser Stelle angemerkt, dass für im Werk hergestellte Lehmbaustoffe wie Lehmsteine, Lehmmörtel und Lehmplatten heute nicht mehr die Lehmbau-Regeln gelten, sondern seit dem Jahr 2013 die publizierten DIN-Lehmbaunormen[68]. Für Vor-Ort hergestellte Lehmbaustoffe bzw. Anwendungen wie Stampflehm oder Lehmschüttungen gelten jedoch weiterhin die Lehmbau-Regeln. Darüber hinaus sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass die genannten DIN-Lehmbaunormen aber keine näheren Anforderungen an den Baulehm enthalten.

Tabelle 30 – Anwendungsformen anhand einfacher Baulehmklassifikation nach Lehmbau-Regeln

Lehmbaustoff	**Charakteristik Baulehm, Zuschlagstoffe, Aufbereitung**
Lehmsteine (LS): - Faserlehm, Strohlehm[69] mit einer Rohdichte von 1200 bis 1700kg/m³	sehr mager bis magerer Baulehm Zuschlagstoffe: weiche Stroharten wie Roggen, Hafer, Gerste, Grobheu, pflanzliche Fasern mit einer Schnittlänge von 5 – 25cm; möglich auch Abmagerung mit Sand

[65] Vgl. (Minke, 2009, S. 192-193) dazu findet sich auch Angaben zu Lehmputz-Rezepturen, und zwar für Ober-, Unter- und Innenputz.

[66] (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009)

[67] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 18)

[68] DIN 18945 bis DIN 18948, bzw. DIN 18942-1 (Begriffe) und DIN 18940 (Bemessung von Lehmsteinmauerwerk)

[69] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 26-29)

	Aufbereitung: weicher bis breiiger Konsistenz; Fasern müssen an jeder Stelle mit Lehm umhüllt sein
- Schwere Leichtlehm-Mischung[70] mit einer Rohdichte von 900 bis 1200kg/m³	magerer bis sehr magerer Baulehm ideal: Baulehm mit schluffigem Mineralgerüst Zuschlagstoffe: organische Stoffe alle Arten von Stroh, Holzhackschnitzel; mineralische Stoffe wie Bims, Blähton, Perlite, Blähschiefer, Blähglas Aufbereitung: magerer Lehm in breiiger Konsistenz Organische Zuschläge müssen an jeder Stelle mit Lehm umhüllt sein
- Leichte Leichtlehm-Mischung[70] mit einer Rohdichte von 300 bis 800kg/m³	fast fetter bis sehr fetter Baulehm oder aufschlämmbarer Ton oder Tonpulver Ideal: Baulehm mit schluffigem Mineralgerüst Zuschlagstoffe: organische Stoffe alle Arten von Stroh, Holzhackschnitzel; mineralische Stoffe wie Bims, Blähton, Perlite, Blähschiefer, Blähglas Aufbereitung: fetter Lehm in flüssiger Konsistenz Organische Zuschläge müssen an jeder Stelle mit Lehm umhüllt sein
Lehmmauermörtel, -putzmörtel[71, 70]	nicht zu magerer, steinfreier Baulehm, Korngröße < 5mm Zuschlagstoffe: Sand, Strohhäcksel oder pflanzliche Faserstoffe; historisch auch Molke oder Dung Aufbereitung: abmagern bis keine Schwindrisse sich zeigen
Stampflehm[72]	magerer bis fetter Baulehme, besonders geeignet gemischtkörniger bis steiniger Lehm (entspricht einem Berg- oder Gehängelehm) weitgestufte Korngrößenverteilung Mineralische Zuschlagstoffe: Grobsand, Kies oder Splitt (ideal gebrochene Körnung) Organische Zuschlagstoffe: Stroh (10cm), Feinfasern (Flachs, Hanf) Magerer Lehm : Zuschlag = 1 : 1 bis 1:2 Fetter Lehm : Zuschlag = bis zu 1:2,5 Aufbereitung: bei erdfeuchter Konsistenz
<u>Lehmschüttung</u>[73] - Rohdichte von 300 bis 2200kg/m³ möglich - Leichtlehmschüttung mit einer Rohdichte unter 1200 kg/m³	jeder Baulehm geeignet Zuschlagstoffe können organisch oder mineralisch sein, Aufbereitung: bei erdfeuchter Konsistenz

[70] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 29-33)

[71] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 41-46)

[72] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 21-24)

[73] Vgl. (Volhard & Röhlen, Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile, 2009, S. 33-35)

Eine noch genauere Beschreibung für eine Charakterisierung des Baulehmes für die Anwendbarkeit als Lehmbaustoff findet sich bei (Schröder, 2019). Diese liefert für jeden Lehmbaustoff auf Basis der zuvor genannten Lehmbau-Regeln noch erweiterte Angaben etwa zur Korngrößenverteilung (KGV) aber auch zusätzliche Angaben bspw. zur Bindekraft, plastische Eigenschaften sowie Verarbeitung.

In der folgenden Tabelle 31 werden diese Werte wieder für die entsprechenden Lehmbaustoffe zusammengestellt.

Tabelle 31 – Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation nach (Schröder, 2019)

Lehmbaustoff	**Baulehm** [74]
Lehmsteine[75]	Plastizität: I_p=17-33%, w_L=32-50%[76] Zuschlagsstoffe: organisch und mineralisch möglich
Stroh- bzw. Faserlehm[77] Rohdichte von 1200 bis 1700kg/m³	Bindekraft: mager bis fast fett KGV: schwach bindiger, schluffiger Lehm (z.B. Lösslehm) Verarbeitung: bei steif bis weicher Konsistenz (abh. von Verwendung)
Leichtlehm[78] - Leichte Mischung mit einer Rohdichte von 300 bis 800kg/m³	Bindekraft (mit zunehmendem Anteil der Zusatzstoffe muss auch die Bindekraft entsprechend zunehmen): Leichte Mischung: fetter bis sehr fetter oder mittel- bis hochbindiger feinkörniger Lehm (Auelehm) Fehlt Ton: Zugabe von Tonpulver Aufbereitung: flüssige Konsistenz
- Schwere Mischung mit einer Rohdichte von > 800 bis 1200kg/m³	Schwere Mischung: magerer oder schwach bindiger Lehm (Lösslehm) Fehlt Ton: Zugabe von Tonpulver
Lehmmörtel (allgemein) [79]	KGV: feinkörnig schluffig bis sandig Bindekraft: mager bis fett, schwach bindiger Lehm (Lösslehm)

[74] Vgl. (Schröder, 2019, S. 176f)

[75] (Schröder, 2019, S. 204-213)

[76] (Schröder, 2019, S. 204) dies entspricht einem fast fetten bis fettem Lehm

[77] (Schröder, 2019, S. 181-182)

[78] (Schröder, 2019, S. 182-184)

[79] (Schröder, 2019, S. 185-189)

- Lehmmauer-mörtel[80]	Bindekraft: mager bis fast fett schwach bindiger Lehm Zusatzstoffe: mittel bis Grobsand (d<2mm) und ggf. organische Faserstoffe
- Lehmputz-mörtel[81]	KGV: Schluffig-sandiger Baulehm (Lösslehme), mit ausreichendem Anteil im Grobschluff- bis Mittelsandbereich Bindekraft: Gerade ausreichender Anteil an Tonmineralien Fehlt Ton: Zugabe von Tonpulver
- Lehmspritz-mörtel[82]	Bindekraft: fast fett bis fett Bzw. schwach bis mittel bindig
Stampflehm[83]	KGV: weitgestufte Sieblinie, gemischtkörniger Baulehm mit Grobkornanteil (Verwitterungs- oder Geschiebelehm) Bindekraft: mager bis fett Plastizität: schwach bis mittel bindig I_p =3-30%, w_L =24-46%[84]
Lehmschüttung[85]	KGV: keine Anforderung Bindekraft: keine Anforderung Plastizität: keine Anforderung

Ebenfalls ein gängiges Standardwerk für die Beschreibung der wesentlichen Eigenschaften von unterschiedlichen Lehmbaustoffen findet sich in (Röhlen & Ziegert, 2020). Dabei werden für die gängigen Lehmbaustoffe Herstellungsrezepturen vorgeschlagen auf Basis der Laborergebnis zum Schwindmaß des Baulehms im erdfeuchten und plastischen Zustand (dieser entspricht einem Ausbreitmaß von 175mm). Diese Richtrezepturen liefern Angaben zu den entsprechend benötigten Raumteilen für Baulehm und gegebenenfalls organischen und/oder mineralischen Zusatzstoffe.[86]

Schließlich sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass für Leichtlehmbau auch die Angaben aus (Volhard, Bauen mit Leichtlehm, 2021) wertvoll sind. Dabei stützt sich Volhard im Wesentlichen auf die

[80] (Schröder, 2019, S. 189-191)

[81] (Schröder, 2019, S. 191-200)

[82] (Schröder, 2019, S. 200-203), Lehmspritzmörtel ist nach Lehmbau-Regeln ein Lehmmörtel zur Ausfachung von skelettartigen Tragwerken unter der Verwendung von Spritztechnologien. Dabei handelt es sich nicht um einen Lehmputzmörtel.

[83] (Schröder, 2019, S. 176-178)

[84] Vgl. (Schröder, 2019, S. 177):

[85] (Schröder, 2019, S. 184-185)

[86] (Röhlen & Ziegert, 2020, S. 36)

Lehmbau-Regeln. So decken sich die Grundanforderungen an den Baulehm, dessen plastischen Eigenschaften, Bindekraft und Zusammensetzungen mit den Angaben aus den Lehmbau-Regeln. Zusätzlich dazu finden sich in dieser Literatur jedoch noch erweiterte Angaben zur Aufbereitung, Verarbeitung sowie Konstruktion für die unterschiedlichen Leichtlehm-Anwendungen.

Bei Betrachtung aktueller wissenschaftlicher Forschungsergebnisse wären in diesem Zusammenhang zwingend folgende Arbeiten mitzuberücksichtigen: (Saliba, Al-Shaar, & Delage, 2025) und (Fabbri, 2022).

Zunächst seien an dieser Stelle die Ergebnisse von (Saliba, Al-Shaar, & Delage, 2025) genannt, bei deren zentrale Forschungsfrage der Vergleich von Feld- und Laboruntersuchungsmethoden für den Lehmbau ist. Zu Beginn finden sich aber auch Angaben zu den grundlegenden Eigenschaften des Baulehms abhängig von der gewählten Lehmbauanwendung:

- Wellerlehm: 30% Kies, 35% Sand und 35% Schluff/Ton (± 10% für alle Anteile)
- formgepresste Lehmsteine: 0 – 40% Kies, 25 – 80% Sand, 10 – 25% Schluff und 8 – 30% Ton
- formgeschlagenen Lehmsteine: Schluff/Ton Gehalt von 5 – 70%
- Fließlehm: mit einem Tongehalt zwischen 5 – 20% sowie Wassergehalt bei Verarbeitung von 25 – 40%
- Lehmputz: 10 – 30% Ton, mit Sand und organischen Fasern

Ferner wird festgehalten, dass der Plastizitätsindex für die meisten Lehmbau-Konstruktion zwischen 5 und 30% liegen sollte und der organische Anteil nicht über 2 – 4%.[87]

Eine äußerst fundierte Datenrecherche über bestehende Lehmbau-Publikationen findet sich in (Fabbri, 2022). Dabei werden im Abschnitt 2 der genannten Publikation auf Basis unterschiedlicher Literaturquellen die wesentlichen Daten zur Charakterisierung des verwendeten Baulehms abhängig von der ausgeführten Lehmbauanwendung angeschrieben, und zwar für folgende:

- Stranggepresste Lehmsteine (extruded earth bricks, EEB)
- Formgepresste Lehmsteine (compressed earth bricks, CEB)
- Formgeschlagene lehmsteine (adobe)
- Wellerlehm (cob)

[87] (Saliba, Al-Shaar, & Delage, 2025, S. 2-3)

- Stampflehm (rammed earth)

Für diese Techniken wurden jeweils u.a. folgende Parameter zusammengestellt: Korngrößenverteilung, Plastizitätsindex und Fließgrenze sowie optimaler Wassergehalt im Bezug auf die Verdichtung nach Proctor.

Diese von (Fabbri, 2022) angegebenen Werte wurden nun in weiterer Folge zum einem in das Texturdreieck (siehe auch Abbildung 05) nach ÖNOMR L 1050 eingetragen und zum anderen in das Plastizitätsdiagramm (siehe auch Abbildung 13) nach ÖNORM EN ISO 14688 eingetragen.[88] Diese grafische Datenaufbereitung stellt später für die Entwicklung der Entscheidungsmatrix eine wesentliche Grundlage dar.

Dabei zeigt die Abbildung 17 beginnend links oben die Werte für Stampflehm, rechts oben für formgeschlagene Lehmsteine, links unten für formgepresste Lehnsteine und schließlich rechts unten für stranggepresste Lehmsteine jeweils eingetragen in das Texturdreieck.

Die Einzelwerte für den jeweiligen Lehmbaustoff wurden über folgende Formeln in die entsprechenden x-, y- Koordinaten für das Texturdreieck umgerechnet:

$$x - Koordiante = Schluffanteil + Tonanteil \cdot \frac{\cos 30}{\tan 60},$$

$$y - Koordiante = Tonanteil \cdot \cos 30$$

[88] (Fabbri, 2022, S. 17-81)

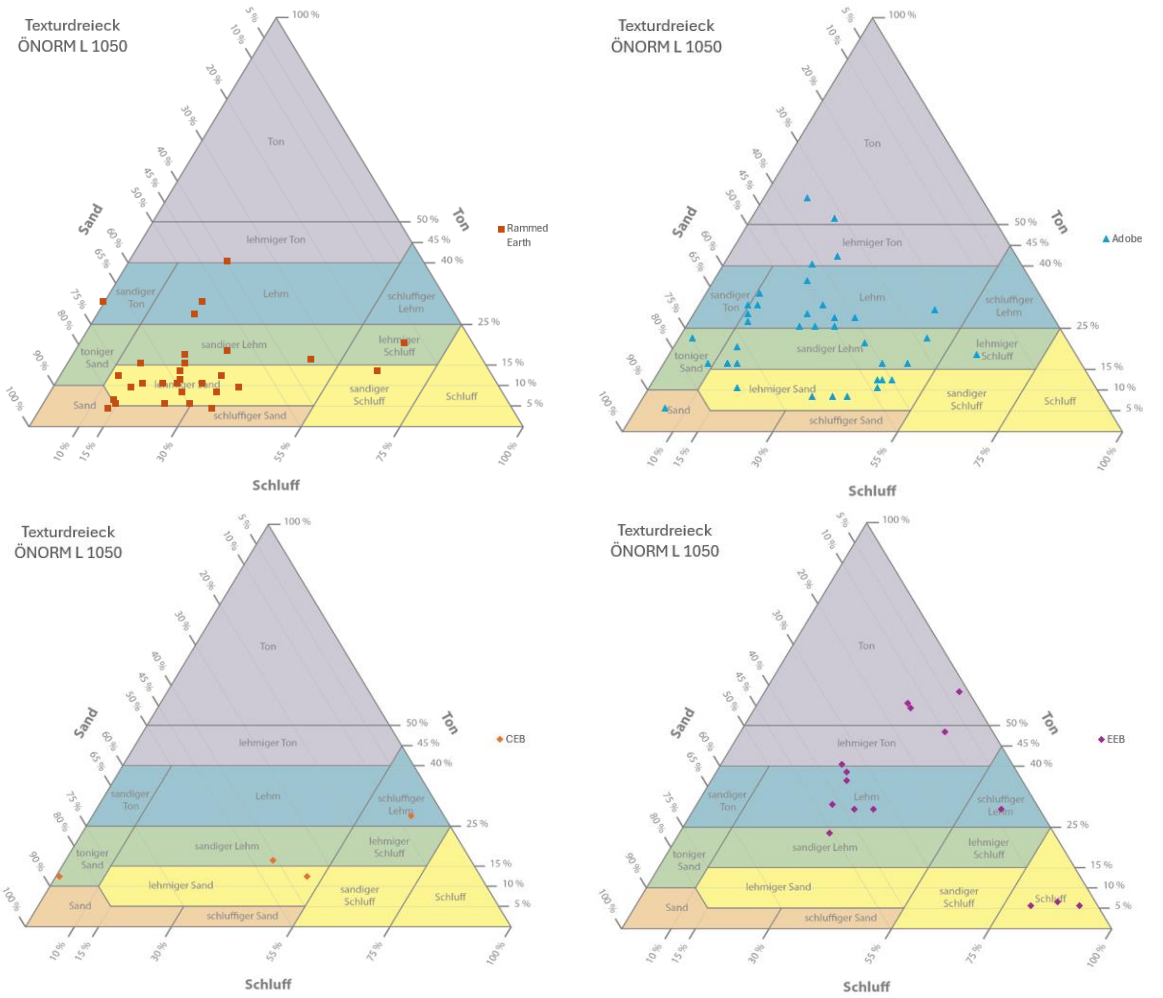


Abbildung 17 – Texturdreieck nach ÖNORM L 1050 für Stampflehm, formgeschlagene Lehmsteine, formgepresste Lehmsteine und stranggepresste Lehmsteine (von lins oben bis rechts unten)

In gleicher Weise wurden die in (Fabbri, 2022) angegebenen Werte für die Ausroll-, Fließgrenze und der daraus errechenbaren Plastizitätszahl in das Plastizitätsdiagramm eingetragen. Dabei wird auf die x-Achse die Fließgrenze und auf der y-Achse die Plastizitätszahl aufgetragen.

In der nachfolgenden Abbildung 18 wurde oben das Diagramm für Stampflehm und unten für Lehmsteine aufgetragen.

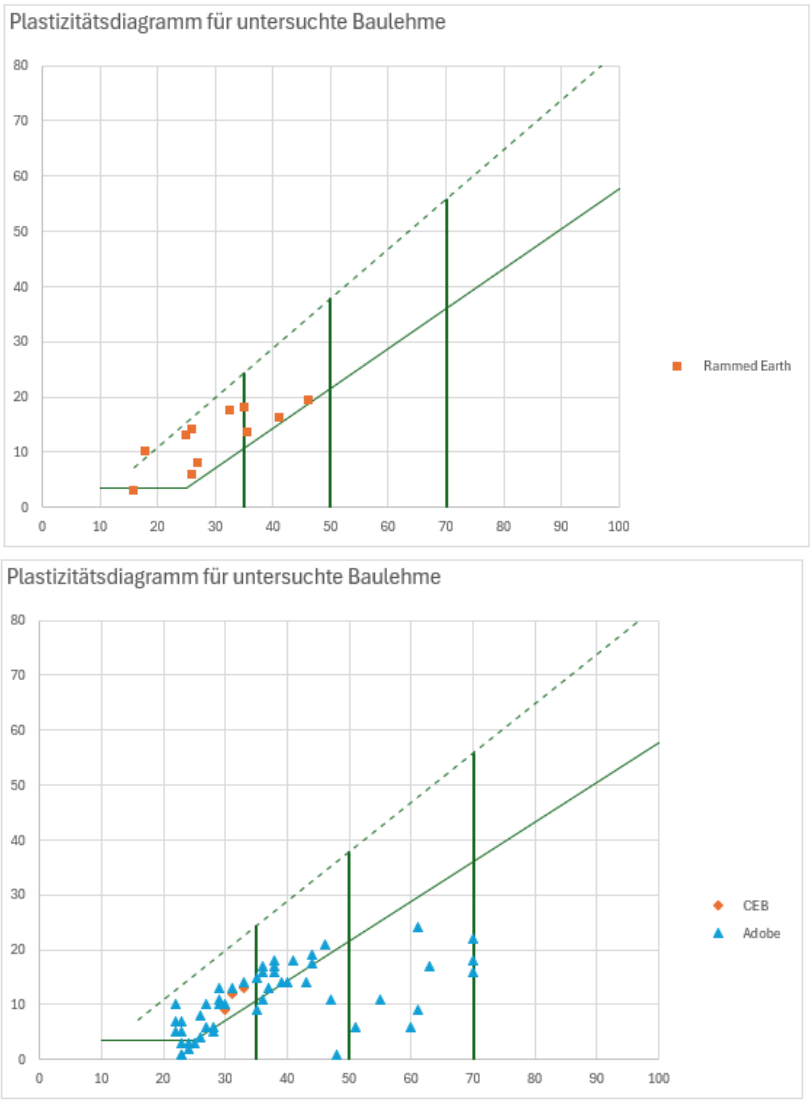


Abbildung 18 – Plastizitätsdiagramm nach ÖNORM EN ISO 14688 für Stampflehm, formgeschlagene Lehmsteine und formgepresste Lehmsteine (von links nach rechts)

5.4 Entwicklung einer Entscheidungsmatrix

Als nächsten Schritt wurde nun versucht basierend auf den aus der Literatur erhobenen Parameter/Faktoren Zusammenhänge zu erkennen bzw. zusammenzuführen. Dazu wurde für den jeweiligen Lehmbaustoff eine Zusammenfassung erstellt. Das Ergebnis findet sich in der nachfolgenden Tabelle 32 und kann als Grundlage für die Entwicklung der Entscheidungsmatrix verstanden werden.

Diese Matrix bildet abschließend die Entscheidungsbasis, um aus der durchgeführten Eignungsprüfung des Baulehms den bestmöglichen Lehmbaustoff für den vorhandenen Bodenaushub ermitteln zu können, ohne diesen maßgeblich in seiner Zusammensetzung verändern zu müssen.

Tabelle 32 – Grundlage für die Entscheidungsmatrix

Lehmbaustoff	**Baulehm, mögliche Zuschlagstoffe, Aufbereitung**
Lehmsteine	
- Allgemein	Plastizität: niedrig bis mittel plastisch, w_L = 20 - 50%, I_P=10 bis 20%, Bindekraft: 60 – 280 g/cm² KGV: lehmiger Sand, sandiger Lehm bis Lehm Zuschlagsstoffe: organisch und mineralisch möglich
- Stroh- bzw. Faserlehm mit einer Rohdichte von 1200 bis 1700kg/m³	Plastizität: niedrig plastisch, w_L < 35%, I_P< 20%, Bindekraft: 60 – 110 g/cm² KGV: lehmiger Sand bis sandiger Schluff (z.B. Lösslehm) Zuschlagsstoffe: weiche Stroharten wie Roggen, Hafer, Gerste, Grobheu, pflanzliche Fasern mit einer Schnittlänge von 5-25cm Aufbereitung: weiche bis breiige Konsistenz; Fasern müssen an jeder Stelle mit Lehm umhüllt sein.
- Schwere Leichtlehm-Mischung mit einer Rohdichte von > 800 bis 1200kg/m³	Plastizität: niedrig plastisch, w_L < 35%, I_P< 20%, Bindekraft: 60 – 110 g/cm² KGV: sandiger Schluff (z.B. Lösslehm) Zuschlagsstoffe: organische Stoffe alle Arten von Stroh, Holzhackschnitzel; mineralische Stoffe wie Bims, Blähton, Perlite, Blähschiefer, Blähglas Aufbereitung: in breiiger Konsistenz, organische Zuschläge müssen an jeder Stelle mit Lehm umhüllt sein (Anm. fehlt Ton: Zugabe von Tonpulver)
- Leichte Leichtlehm-Mischung mit einer Rohdichte von 300 bis 800kg/m³	Plastizität: mittel bis hoch plastisch, w_L > 35 %, I_P > 20%, Bindekraft: > 160 g/cm², Anm.: mit zunehmendem Anteil der Zusatzstoffe sollte auch die Bindekraft zunehmen KGV: schluffiger Lehm, lehmiger Schluff bis Ton (ideal mit schluffigen Mineralgerüst, bspw. Auelehm), Zuschlagsstoffe: organische Stoffe alle Arten von Stroh, Holzhackschnitzel; mineralische Stoffe wie Bims, Blähton, Perlite, Blähschiefer, Blähglas Aufbereitung: fetter Lehm in flüssiger Konsistenz; organische Zuschläge müssen an jeder Stelle mit Lehm umhüllt sein (Anm. fehlt Ton: Zugabe von Tonpulver)
Lehmmörtel	
- Lehmmauermörtel	Plastizität: niedrig bis mittel plastisch, w_L = 30 - 45%, I_P=10 bis 20%, Bindekraft: 80 – 200 g/cm² KGV: sandiger Schluff, Korngröße < 5mm Zuschlagsstoffe: Mittel- bis Grobsand (d<2mm) und ggf. organische Faserstoffe Aufbereitung: ev. abmagern bis keine Schwindrisse sich zeigen
- Lehmputzmörtel	Plastizität: niedrig plastisch, w_L < 25%, I_P < 10% Bindekraft: 60 – 110 g/cm² KGV: sandiger Schluff (z.B. Lösslehm) mit ausreichendem Anteil im Grobschluff- bis Mittelsandbereich Zuschlagsstoffe: ggf. Mittel- bis Grobsand (d<2mm) und/oder organische Faserstoffe Aufbereitung: ev. abmagern bis keine Schwindrisse sich zeigen (historisch auch Molke oder Dung denkbar)
- Lehmspritzmörtel	Plastizität: mittel plastisch, w_L = 35 - 50%, I_P = 15 - 30%, Bindekraft: 110 - 280 g/cm²

	KGV: Lehm bis schluffigen Lehm
Stampflehm	Plastizität: niedrig bis mittel plastisch, w_L = 20 - 45%, I_P = 5 - 25% Bindekraft: 60 – 250 g/cm² KGV: lehmiger Sand bis sandiger Lehm, ideal ist eine weitgestufte Sieblinie (gemischtkörniger bis grobkiesiger Baulehm, bspw. Gehänge/Berg- oder Geschiebelehm) Zuschlagsstoffe: Grobsand, Kies oder Splitt (ideal gebrochene Körnung) und/oder organische Zuschlagsstoffe wie Stroh (10cm), Feinfasern (Flachs, Hanf) Aufbereitung: bei erdfeuchter Konsistenz - Magerer Lehm : Zuschlag = 1 : 1 bis 1:2 - Fetter Lehm : Zuschlag = bis zu 1:2,5
Lehmschüttung - Rohdichte von 300 bis 2200kg/m³ möglich - Leichtlehm-schüttung mit einer Rohdichte unter 1200 kg/m³	Plastizität: keine Anforderung Bindekraft: keine Anforderung KGV: jeder Baulehm geeignet Zuschlagsstoffe: organisch und/oder mineralisch Aufbereitung: bei erdfeuchter Konsistenz

Betrachtet man nochmals einen Schritt zurück den Ablauf zur Erstellung eines möglichen Auswahlverfahrens für die optimale Lehmbauanwendung eines vorhandenen Bodenaushubes, so sollte über die Prüfmatrix zumindest immer die Ergebnisse aus der Eignungsprüfung vorliegen, das wären dann folgende Daten:

- Umweltprüfung (kontaminiert / nicht kontaminiert) bei mehr als 2000 Tonnen in Form einer chemischen Analyse nach Bundesabfall-Wirtschaftsplan ,
- Zusammensetzung
    - Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4
    - Organische Bestandteile nach ÖNORM EN 17685-1
    - Natürlicher Kalkgehalt nach ÖNORM EN ISO 14688-1
    - Gehalt an bauschädlichen Salzen (optional bei Verdacht)
- Verhalten bei Wassereinwirkung
    - Plastizität nach ÖNORM EN ISO 17892-12
- Festigkeiten
    - Bindekraft über Lehmbau-Regeln (optional).

Über diese kann dann eine Auswahl getroffen werden für den bestmöglichen Anwendungsfall eines vorhandenen Bodenaushubes unter Berücksichtigung einer etwaigen Homogenisierung unterschiedlicher Aushübe. Auf Grundlage der getroffenen Festlegung könnte dann die abschließende

Detailprüfungen des Baulehms oder des gewählten Lehmbauproduktes mit der entsprechenden normativen Produktprüfung durchgeführt werden.

Damit ergibt sich folgender wesentlichen Auflauf in der Untersuchung für die Anwendbarkeit eines Bodens zur Herstellung eines Lehmbaustoffes:

1. Für jeden Bodenaushub gilt, dass dieser die Grenzwerte aus der Umweltprüfung einhalten muss. Aus der Aushubverordnung wären das die Qualitätsklassen A1, A2, A2-G und BA. Darüber hinaus können über zusätzliche freiwillige Qualifizierungen strengere Anforderungen mitberücksichtigt werden, wie etwa nach den Vorgaben der Richtlinien zu Natureplus, die dann für das fertige Produkt gelten:
    a. Lehmsteine über die Produktrichtlinie RL1101 „*Mauerwerksbaustoffe*“
    b. Lehmputz über die Produktrichtlinie RL0803 „*Lehmputzmörtel*“
    c. Lehmplatte über die Produktrichtlinie RL1006 „*Lehmplatten*“
    d. Mauermörtel allgemein über die Produktrichtlinie RL0807 „*Mauermörtel*“.[89]
2. Ferner gilt für alle Baulehme, dass dieser frei von organischen Bestandteilen sein muss, die Grenzwerte aus den bauschädlichen Salzen eingehalten werden (Aushubverordnung für den Boden bzw. DIN, ÖNORM für den Lehmbaustoff) und der natürliche Kalkgehalt aufgezeichnet wird.
3. Für die jeweiligen Lehmbauanwendung gelten dann unterschiedliche Vorgaben für
    a. Korngrößenverteilung,
    b. Plastische Eigenschaften,
    c. Bindekraft (nur optimal, da eine Analogie bereits über die plastischen Eigenschaften hergeleitet werden kann).

Aus diesen Zusammenstellungen heraus lässt sich nun über die Eignungsprüfung des Bodenaushubes erkennen, für welchen Lehmbauanwendung dieser besonders geeignet wäre. Als Grundlage dafür können nun für die variablen Parameter Korngrößenverteilung, plastische Eigenschaften sowie Bindekraft die nachfolgenden Abbildungen herangezogen werden.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 19 bis Abbildung 22) stellen die grafische Umsetzung der in Tabelle 32 definierten Grundanforderungen dar, zunächst für die Korngrößenverteilung über das Texturdreieck nach ÖNORM L 1050 und für die plastischen Eigenschaften, die in einem Zusammenhang

[89] URL: https://www.natureplus-label.org/vergaberichtlinien, [Zugriff am 29.06.2026]

mit der Bindekraft stehen (siehe 5.2.1), über das Plastizitätsdiagramm. Dabei ist zu beachten, dass die Grenzen der einzelnen schraffierten Flächen nicht als scharf abgegrenzte Bereiche, sondern als fließende bzw. breit verlaufende Übergangsbereiche zu verstehen sind.

Die Abbildung 19 weist Bereiche auf, die besonders geeignet sind für folgende Lehmbauanwendungen:

- formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblaue Farbe),
- Stampflehm (orange Farbe),
- Lehmspritzmörtel (violette Farbe) und
- Lehmputz- und Lehmmauermörtel (graue Farbe).

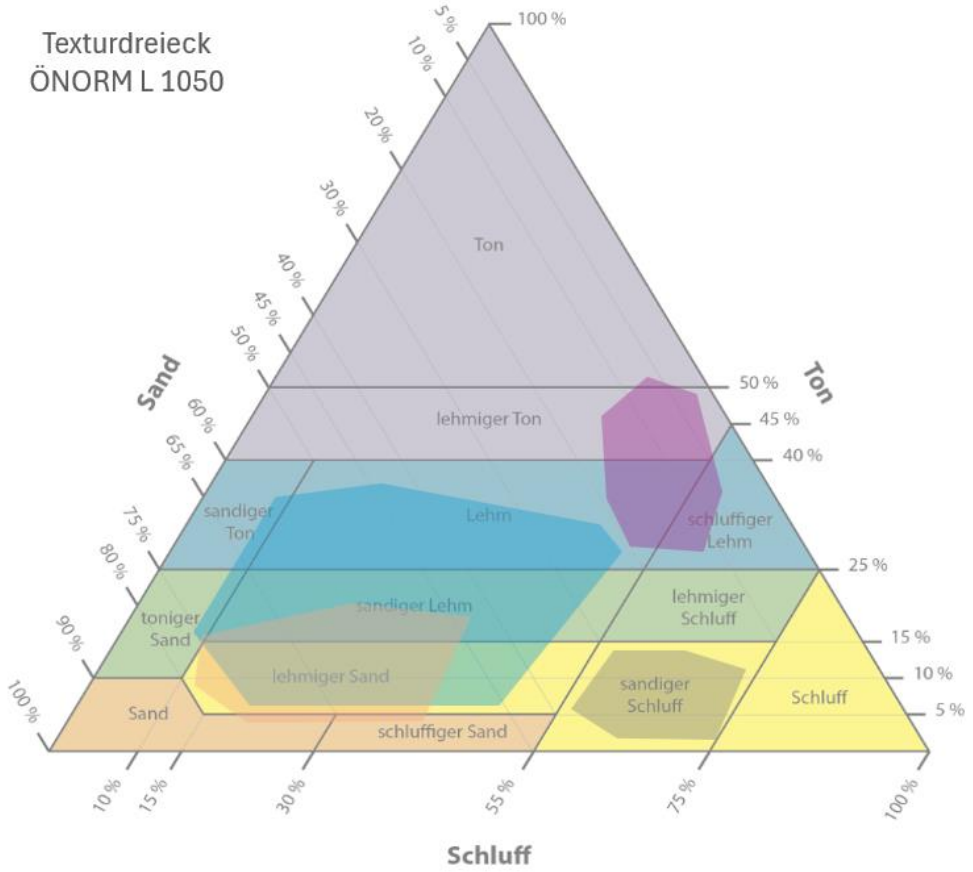


Abbildung 19 – Texturdreieck: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett)

Die Abbildung 20 weist abhängig von Korngrößenverteilung Bereiche auf, die besonders geeignet sind für folgende Lehmsteine:

- formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblaue Farbe)
- Stroh-, Faserlehm (orangene Farbe),
- schwere Leichtlehmmischung (graue Farbe),

- leichte Leichtlehmmischung (grüne Farbe),
- stranggepresste Lehmsteine (violette Farbe).

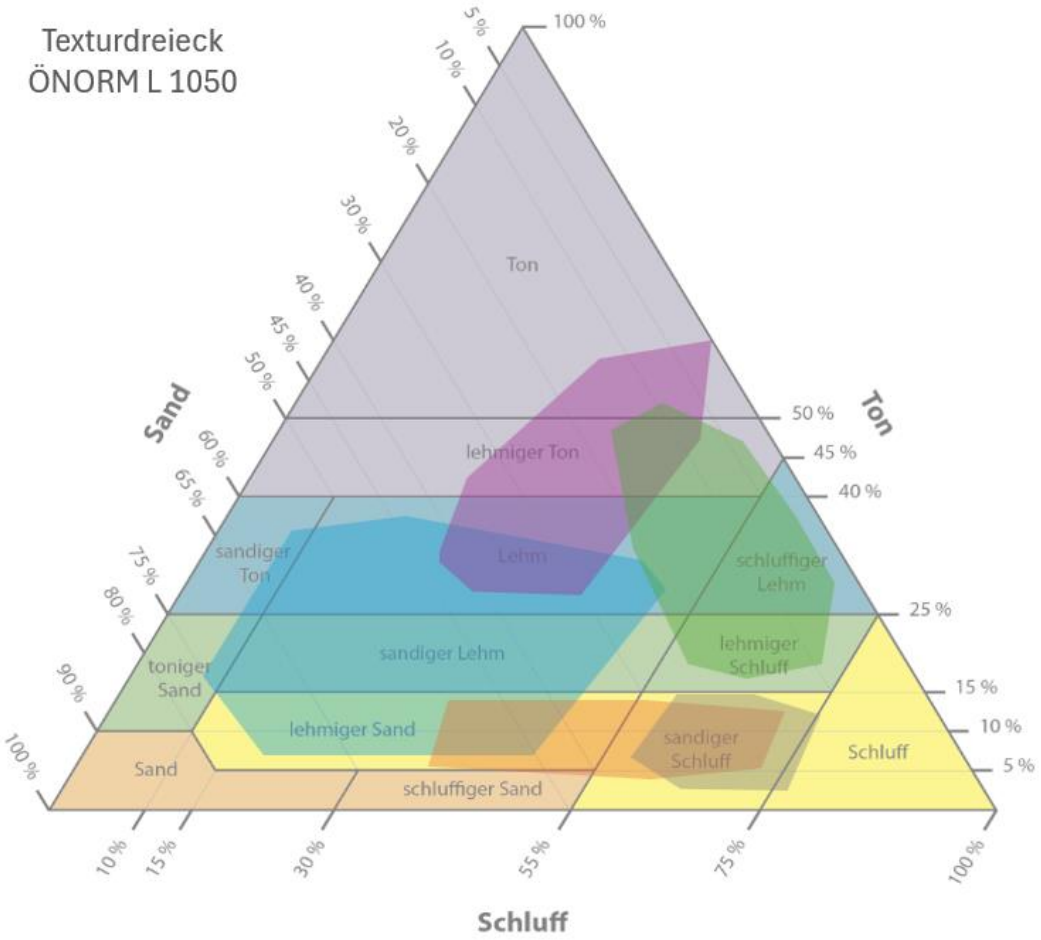


Abbildung 20 – Texturdreieck: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stroh-, Faserlehm (orange), schwere Leichtlehmmischung (grau), leichte Leichtlehmmischung (grün), stranggepresste Lehmsteine (violett)

Die Abbildung 21 weist abhängig von der Fließgrenze und Plastizitätszahl Bereiche auf, die besonders geeignet sind für folgende Lehmbauanwendungen:

- Stampflehm (orange Farbe),
- formgeschlagene/-gepresste Lehmstein (hellblaue Farbe),
- Stroh- Faserlehm und Schwere Leichtlehm (grüne Farbe),
- Leichte Leichtlehmmischung (violette Farbe).

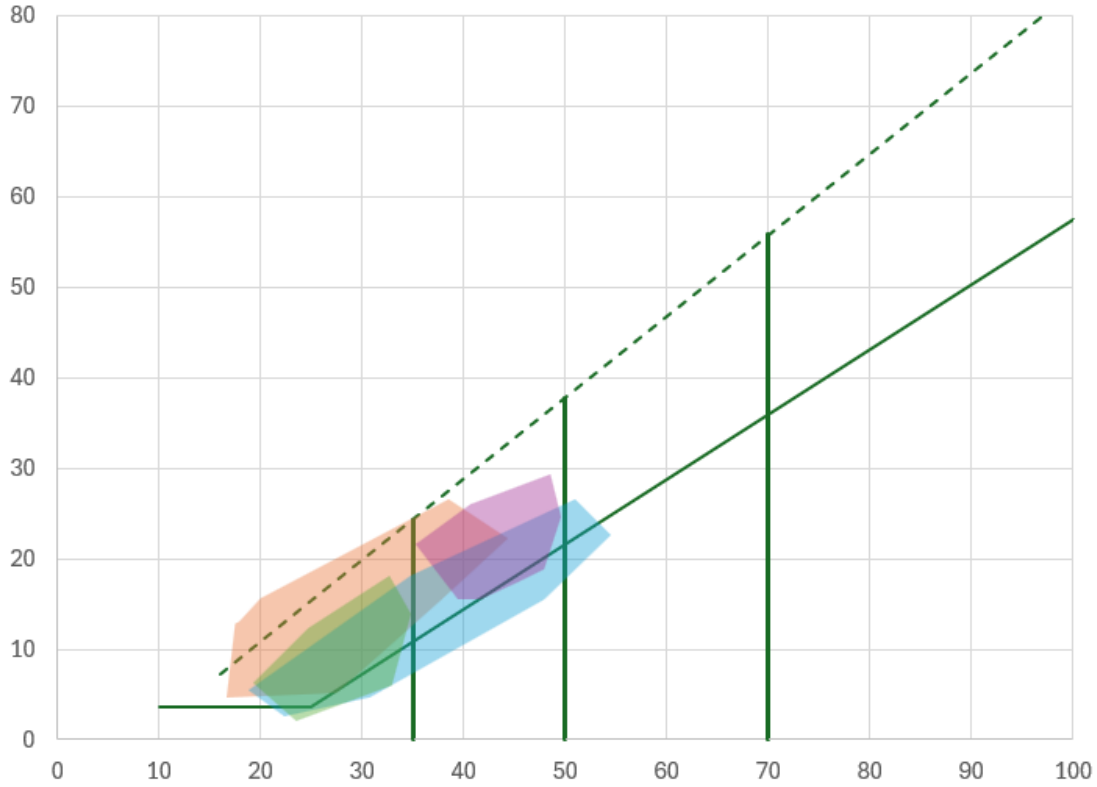


Abbildung 21 – Plastizitätsdiagramm: Stampflehm (orange), allg. formgeschlagene Lehmstein (hellblau), Stroh- Faserlehm und Schwere Leichtlehm (grün), Leichte Leichtlehmmischung (violett)

Die Abbildung 22 weist abhängig von der Fließgrenze und Plastizitätszahl Bereiche auf, die besonders geeignet sind für folgende Lehmmörtelarten:

- Lehmspritzmörtel (violette Farbe),
- Lehmmauermörtel (orange Farbe) und
- Lehmputzmörtel (grüne Farbe)

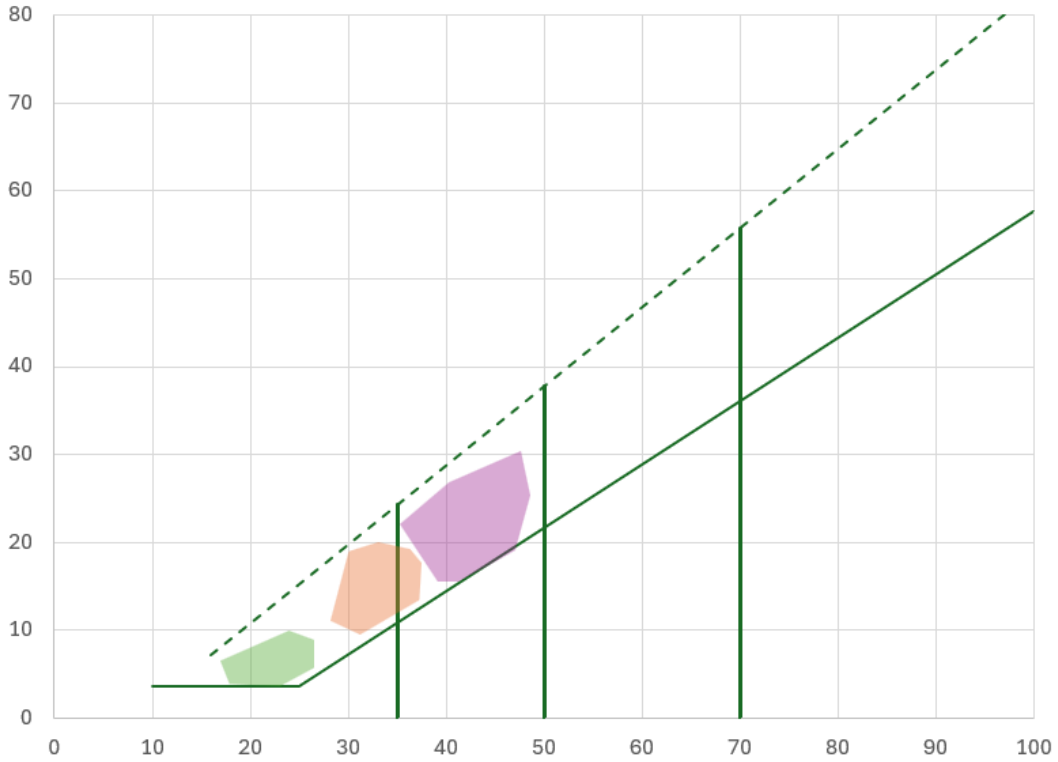


Abbildung 22 – Lehmspritzmörtel (violett), Lehmmauermörtel (orange) und Lehmputzmörtel (grün)

Über die Zugabe von organischen oder mineralischen Zusatzstoffen kann natürlich theoretisch jeder Bodenaushub so eingestellt werden, dass man jeden gewünschten Lehmbaustoff herstellen kann. Doch auch hier gilt es selbstverständlich den Ressourcenverbrauch so gering wie möglich zu halten. Das heißt beispielsweise, dass man zwar einen fetten Baulehm (also ein Material, das einen sehr hohen Tonanteil aufweist) durch Zugabe von Sand auf einen mageren Baulehm einstellen könnte. Doch wäre dies dann auch ein gewisser Widerspruch für ein ressourcenschonendes Bauen, da ja auch die Ressource Sand immer knapper wird.

Es gilt daher immer genau zu prüfen, welche Anwendungsform zum jeweiligen Bodenaushub im Speziellen zutreffend ist. Und aus dieser Festlegung heraus dann den dafür notwendigen Baulehm optimal einzustellen, um damit die perfekte Mischung aus Bodenaushub und organischen bzw. mineralischen Zusatzstoffen zur Herstellung eines optimalen Lehmbaustoffes zu finden, der dann auch den Prüfungen etwa nach den bestehenden DIN-Lehmbaunormen bzw. künftigen ÖNORMEN zum Lehmbaustoff standhält.

Nach der vorgenommenen Auswahl einer Lehmbauanwendung erfolgt die Detailprüfung des Baulehms nach 4.5, wenn der Bodenaushub als Baulehmprodukt über eine Zwischendeponie bereitgestellt werden soll, oder bei Verwendung als Ausgangstoff für den jeweiligen Lehmbaustoff bereits gemäß

den spezifischen Prüfnormen zum Nachweis auf deren Einhaltung der geforderten Produkteigenschaften nach 5.2.1.2.

Die nachfolgende Abbildung 23 zeigt nochmals zusammenfassend den schrittweisen Ablauf einer Untersuchung von Bodenaushub auf dessen Anwendbarkeit für den Lehmbau.

Ferner werden die Ergebnisse aus den

- Kapitel 3, Örtliche Verfügbarkeit von Baulehm,
- Kapitel 4, Prüfmatix – Bewertung des Bodenaushubes auf dessen Anwendbarkeit als Lehmbaustoff
- Kapitel 5, Entscheidungsmatrix – Entsprechende Anwendungsverfahren von Lehmbau

anschaulich im ausgearbeiteten „*LehmBuch*“ zusammengeführt.

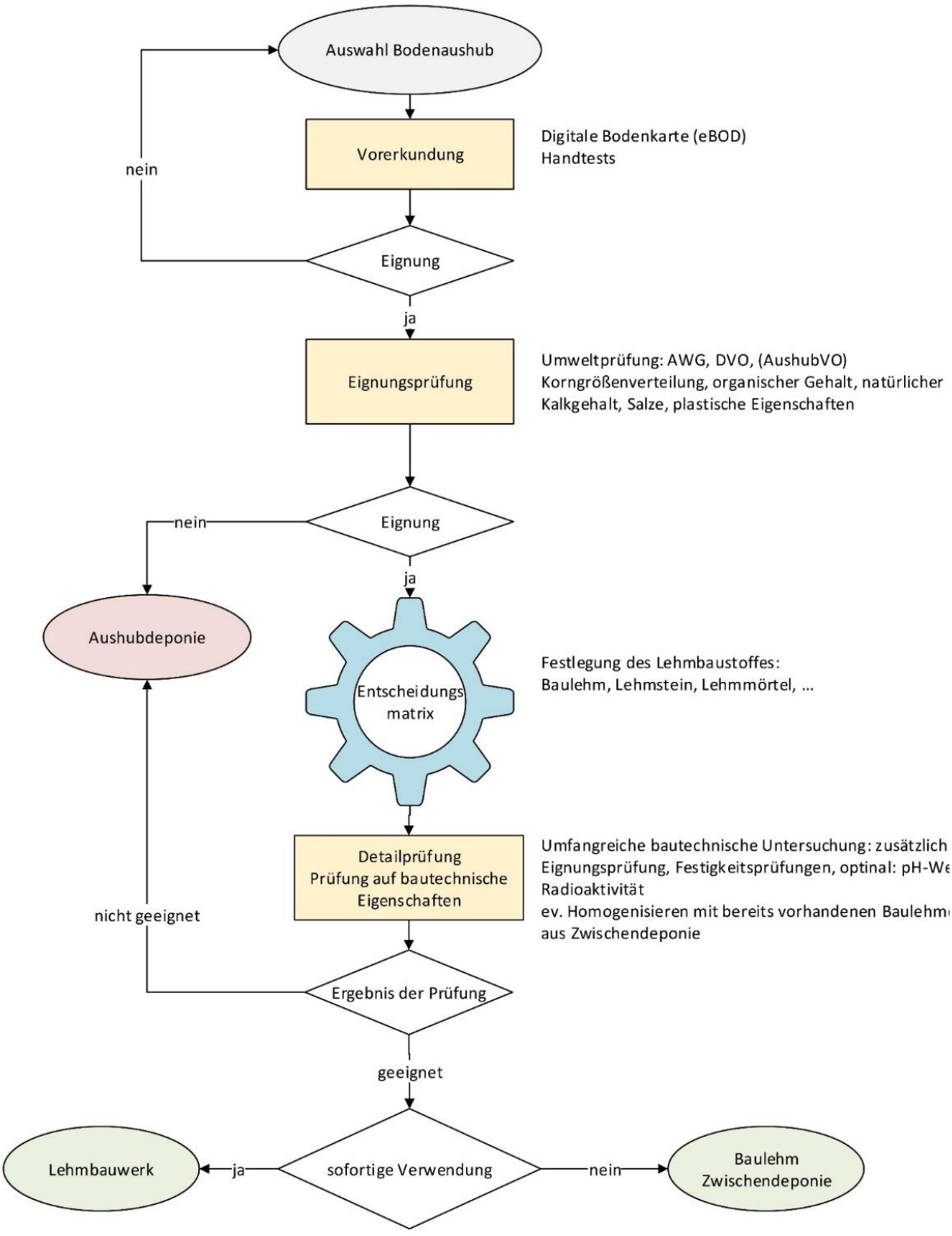


Abbildung 23 – Prüf- und Entscheidungsmatrix für die Verwendung von Bodenaushub als Lehmbaustoff

5.5 Ergebnisse aus den Prüfungen

5.5.1 Geologische Grundlagendaten

Wie bereits in Abschnitt 3.1.4 ausgeführt, sind im Waldviertel folgende Typengruppen vorherrschend:

- Braunerde mit 61,80%
- Reliktböden mit 10,24%
- Gleye mit 9,33%

Beginnend mit der Typengruppe „*Braunerde*“ für die dazugehörigen Bodentypen die repräsentativen Bodenarten mit zugehörigen Kornfraktionen (bis inklusiv Sand) angeschrieben und in die Abbildung 24 in das Texturdreieck eingetragen.

- Braunerde
    - Felsbraunerde, lehmiger Sand mit folgenden gemittelten Werten: Ton 11,5%, Schluff 32% und Sand 56%
    - Lockersediment-Braunerde, schluffiger Lehm mit folgenden gemittelten Werten: Ton 30%, Schluff 60% und Sand 10%
- Reliktböden, Lehm mit folgenden gemittelten Werten: Ton 30%, Schluff 47% und Sand 23%
- Gleye, sandiger Lehm bis Sand mit folgenden gemittelten Werten: Ton 9%, Schluff 20% und Sand 71%

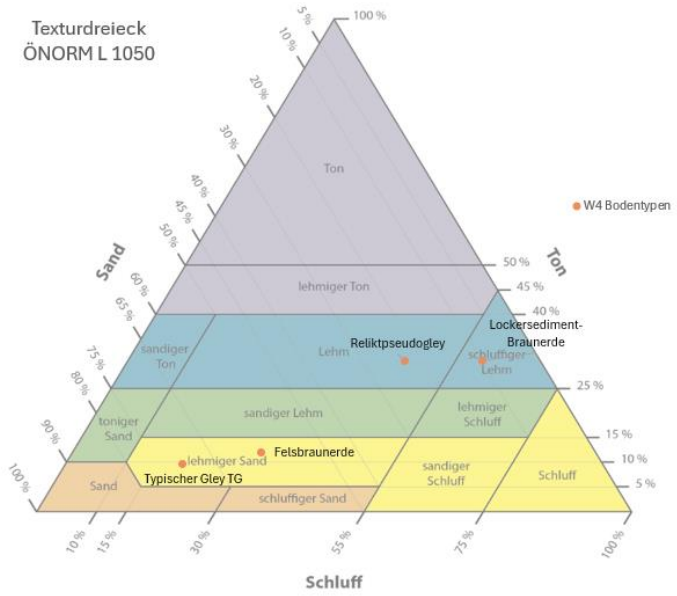


Abbildung 24 – Waldviertler Bodentypen und dessen dazugehörigen typischen Bodenarten

Überlagert man nun diese Auswertung mit den typischen Lehmbauanwendungen von zuvor (Abbildung 19), so kann man erkennen, dass gerade die Felsbraunerde ein ideales Ausgangsmaterial für Stampflehm bzw. Lehmsteine darstellt, wohingegen die Lockersediment-Braunerde im Lehmspritzmörtel Bereich oder bei eher sandiger Ausprägung im Lehmmörtel-Bereich liegt, siehe Abbildung 25.

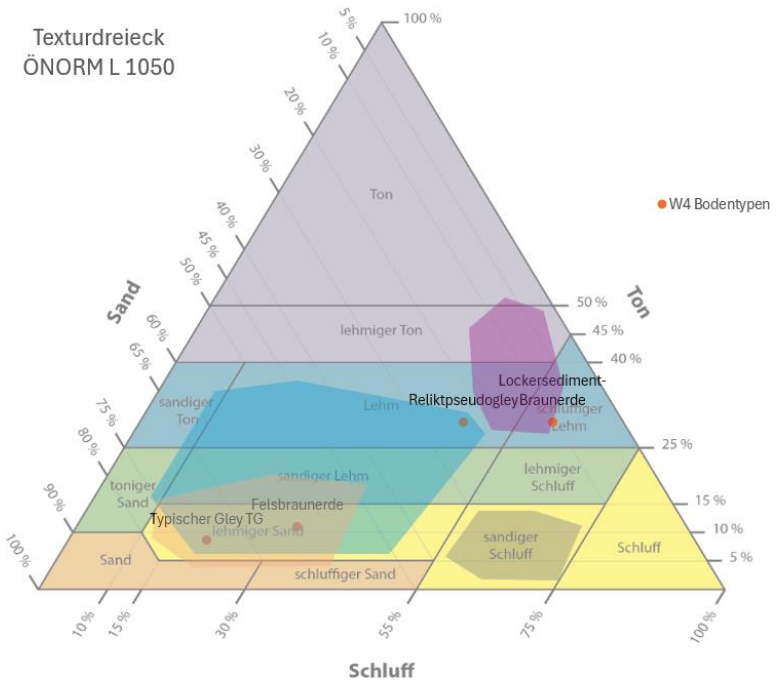


Abbildung 25 – Waldviertler Bodentypen sowie typische Lehmanwendungen: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett)

5.5.2 Baulehmprüfungen

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes entnommenen Bodenproben wurden zunächst gemäß der Prüfmethodik der Eignungsprüfung untersucht. Damit kann für jeden Baulehm über die ermittelte Korngrößenverteilung die entsprechende Bodenart nach ÖNORM L 1050 zugewiesen werden und so auch im Texturdreieck entsprechend dargestellt werden.

Die nachfolgende Tabelle enthält nun nochmals eine Zusammenstellung der einzelnen Korngrößenbereich für die untersuchten Baulehme.

Tabelle 33 – Zusammenstellung der untersuchten Baulehm

Ursprung	Baulehm	Ton in [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Kies [%]
Karlstein	BL04	5,1	14,5	66,7	13,7
Karlstein	BL04	1,4	8,6	50,8	39,2
Heidenreichstein	BL03	4,8	33,1	50,3	11,8
Schrems	BL09	3,2	6,7	89,4	0,7
Waidhofen/Thaya	BL10	0,8	5,8	32,1	61,3
Waidhofen/Thaya	BL10	0,8	6	36,8	56,4
Mistelbach	BL06	10,5	50,5	38,8	0,2
Mistelbach	BL06	2	15,5	57,2	25,3
Kleinbaumgarten	BL05	7,3	51,5	40,8	0,4
Pulkau	BL08	7,8	66,9	25,3	0
Brunn	BL02	1,3	18	40,4	40,3
Brunn	BL02	0,9	15	47,9	36,2
Pleßberg	BL11	22,9	35,5	34,7	6,9
Langegg	BL12	11,8	8,5	66,4	13,3

Mit diesen Werten kann nun die jeweilige Bodenart gemäß dem Texturdreieck nach ÖNORM L 1050 bestimmt und entsprechend im Texturdreieck dargestellt werden, siehe nachfolgende Abbildung:

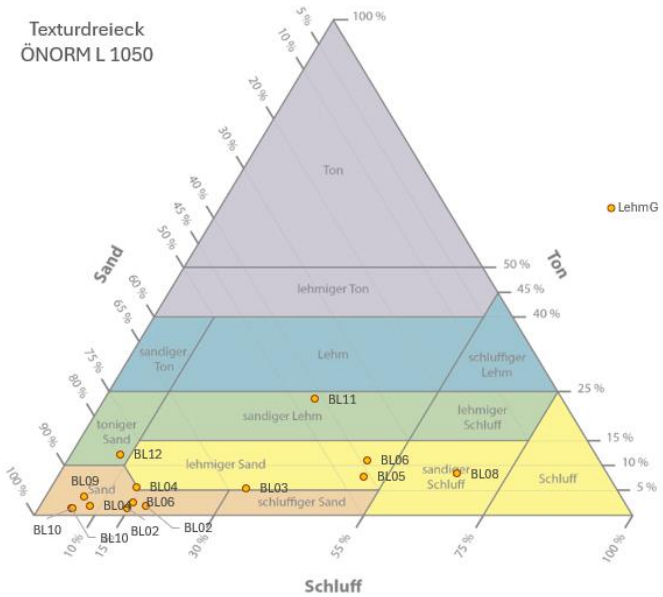


Abbildung 26 – Untersuchten Baulehme eingetragen im Texturdreieck nach ÖNORM L 1050

In der Darstellung bzw. abgebildeten Tabelle kann man gut erkennen, dass bei gewissen Baulehmen wie beispielsweise BL10 der Kiesanteil relativ hoch ist. Würde man nun eine entsprechende *„Entmagerung“* des Baulehmes vornehmen, sprich dessen Grobkornanteil aus dem Baulehm

herausaussiebt, und nur den Baulehm kleiner 2mm betrachtet (= Ton, Schluff und Sand) dann würden sich einige Punkte im Texturdreieck entsprechend auch verschieben, wie das die nachfolgende Darstellung zeigt:

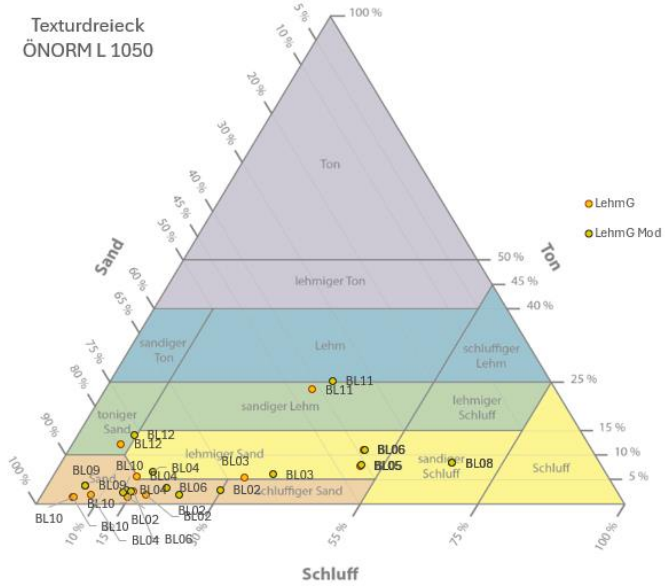


Abbildung 27 – Modifizierte Baulehme („LehmG Mod“) für den Kernbereich kleiner 2mm

Verwendet man nun diese modifizierten Werte aus der Baulehmprüfung, also Boden mit einer Körnung kleiner 2 mm, so kann man über unterstehende Abbildung gut erkennen für welche Anwendung die angetroffenen Bodenaushübe als Ersteinschätzung für die Verwendung als Lehmbaustoff anwendbar wäre.

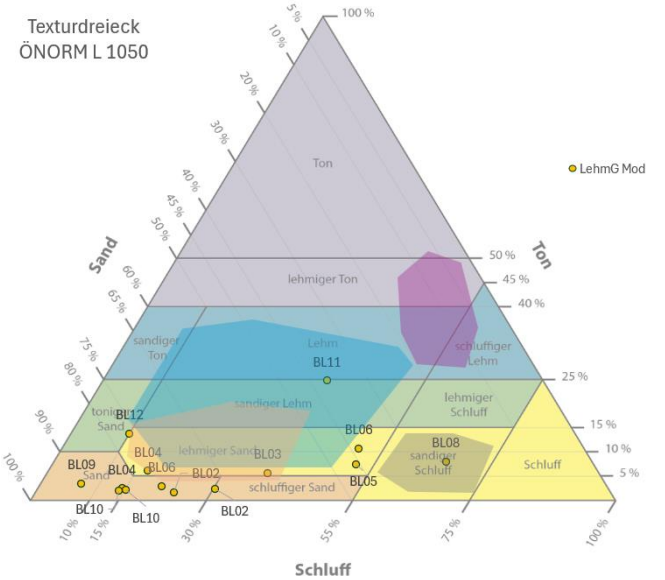


Abbildung 28 – Untersuchten Baulehme und mögliche Lehmsteinanwendungen: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett)

Dabei zeigt sich sehr gut, dass die Baulehme generell tendenziell für den Stampflehm bzw. in Randbereichen auch für die Herstellung von Lehmsteinen geeignet sind. Des Weiteren sieht man, dass der Baulehm BL08 eine ideale Sieblinie für einen Lehmmörtel darstellt.

Ferner lässt sich erkennen, dass bei einer Optimierung des Lehms für die Lehmsteinherstellung sicherlich darauf zu achten wäre, durch eine gezielte Zugabe von Tonpulver die Qualität der Lehmsteine insbesondere im Hinblick auf dessen Verhalten bei Wassereinwirkung bzw. Festigkeiten zu verbessern, siehe Ergebnis in den Abschnitten 5.5.3 und 7.2.

Die folgende Abbildung 29 zeigt, welcher Lehmsteintyp besonders für die untersuchten Baulehme geeignet wären. Diese sind, auf Grund eben eines entsprechend niedrigen Tonanteil (bis auf BL11), formgeschlagenen/-gepresste Lehmsteine, Stroh- bzw. Faserlehm-Steine oder schwere Leichtlehmmischungen.

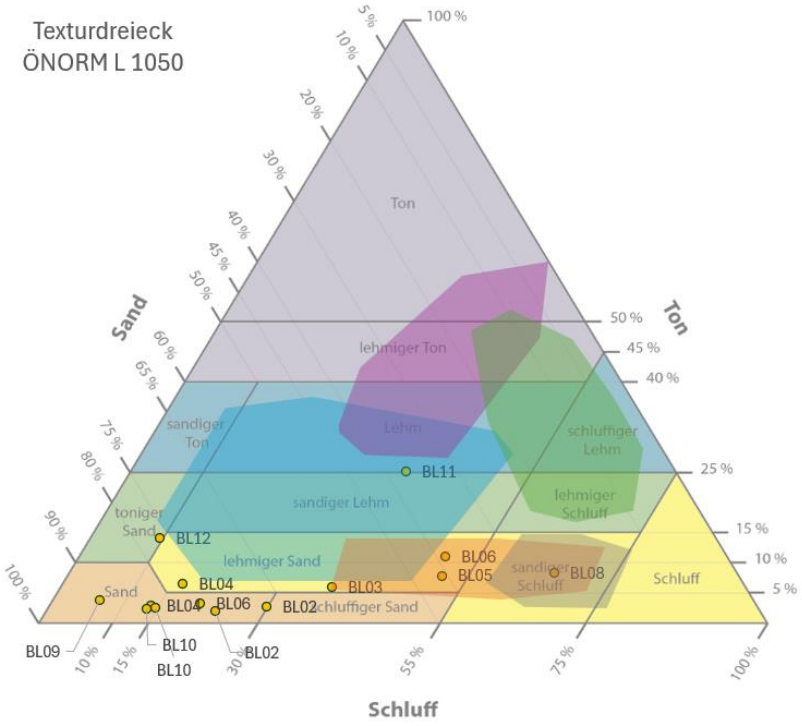


Abbildung 29 – Untersuchten Baulehme und mögliche Lehmsteinanwendung: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stroh-, Faserlehm (orange), schwere Leichtlehmmischung (grau), leichte Leichtlehmmischung (grün), stranggepresste Lehmsteine (violett)

Als nächsten Schritt wurden nun die Werte zu den plastischen Eigenschaften der Baulehme näher betrachtet.

Die nachfolgende Tabelle enthält nun eine Zusammenstellung der Fließ-, Ausrollgrenze und Plastizitätszahl für die untersuchten Baulehme.

Tabelle 34 – Zusammenstellung der untersuchten Baulehm

LehmGuide	Ursprung	w_L	w_P	I_P
Karlstein	BL04	34,4	16,4	18,0
Karlstein	BL04	29,6	20,2	9,4
Heiden.	BL03	26,5	14,5	12,0
Waidhofen/Thaya	BL10	29,5	20,8	8,8
Mistelbach	BL06	33,0	17,4	15,6
Mistelbach	BL06	27,2	16,7	10,5
Kleinbaumgarten	BL05	26,5	16,1	10,4
Pulkau	BL08	42,7	17,4	25,3
Brunn	BL02	46,1	19,9	26,2
Brunn	BL02	38,4	27,6	10,8
Pleßberg	BL11	58,4	24,0	34,4
Langegg	BL12	37,2	15,6	21,6

Diese angegebenen Werte können nun im Plastizitätsdiagramm dargestellt werden und so über dessen Lage in Bezug auf die zuvor definierten Bereiche die mögliche Lehmbauanwendung bezogen auf den Parameter plastische Eigenschaften/Bindekraft abgeleitet werden.

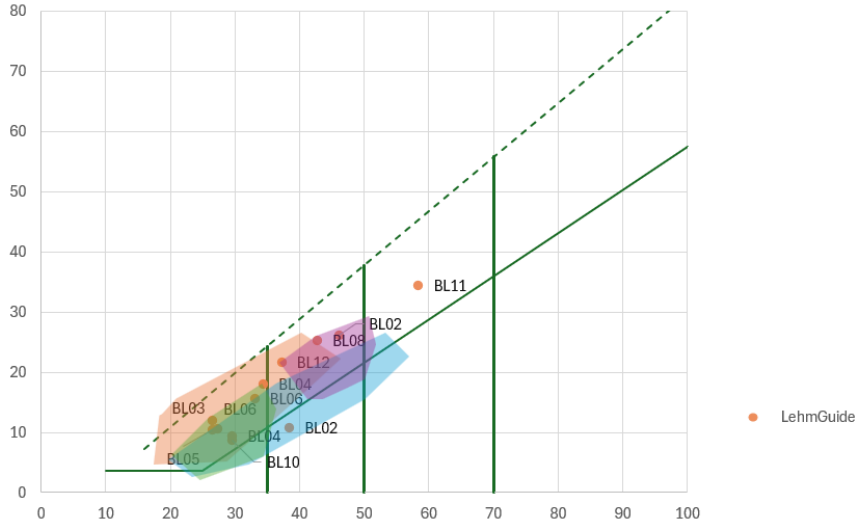


Abbildung 30 – Plastizitätsdiagramm für untersuchten Baulehme und mögliche Lehmbauanwendungen: Stampflehm (orange), allg. formgeschlagene Lehmstein (hellblau), Stroh-Faserlehm und Schwere Leichtlehm (grün), Leichte Leichtlehmmischung (violett)

Für den Stampflehm und die formgeschlagenen/-gepressten Lehmsteine ist die Anforderung an die plastischen Eigenschaften relativ tolerant und umfasst ein weites Spektrum. Nicht so bei Differenzierung der Steine im Bezug auf dessen Rohdichte, also ob leichte Leichtlehmmischung oder schwerer Leichtlehm inkl. Stroh- und Faserlehm.

Für die meisten Baulehme zeigt sich in dieser Darstellung, dass sich die Tendenz für die Eigung nach Lehmstein/Stampflehm auch für die palstischen Eigenschaften ganz gut wieder zum Vorschein kommt, wobei eine mögliche Anwendung auch für die leichte Lehmmischung gerade für BL08 und mehr noch BL11 möglich erscheint.

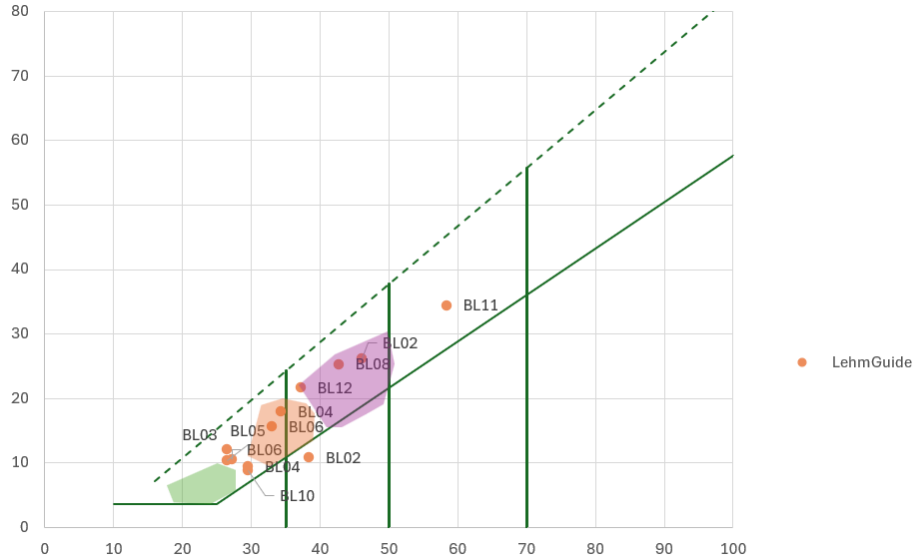


Abbildung 31 – Plastizitätsdiagramm für untersuchten Baulehme und mögliche Lehmmörtelanwendungen Lehmspritzmörtel (violett), Lehmmauermörtel (orange) und Lehmputzmörtel (grün)

Abschließend findet sich noch in der Abbildung 31 eine mögliche Zuordnung der Baulehme für die Verwendung als Lehmmörtel. Hier weisen alle Baulehme eine tendenzielle Eignung zur Verwendung als Lehmmauermörtel auf bis hin zu einer möglichen Anwendung als Lehmspritzmörtel. Interessant ist hierbei, dass eine Eignung als Lehmputzmörtel lediglich im Grenzbereich gegeben ist.

Aus diesen Erkenntnissen heraus werden als nächsten Schritt grundsätzlich folgende Lehmbauanwendungen näher untersucht:

- Formgepresste Lehmsteine mit BL03, BL08 und eine Mischung aus BL09 und BL05
- Lehmputz- bzw. Lehmmauermörtel mit BL04, BL09, BL10

5.5.3 Formgepresste Lehmmauersteine

5.5.3.1 Allgemeines

Die Prüfungen wurden analog zur DIN 18945 durchgeführt. Dabei wurden im Wesentlichen folgende Anforderungen auf die Eigenschaften eines Lehmmauersteines untersucht:

- Steinrohdichte: Bestimmung an der Masse bezogen auf das äußere Volumen in kg/m³

- Druckfestigkeit in N/mm² als auch teilweise die Biegezugfestigkeit[90]
- Verhalten unter Feuchteeinwirkung

Aus diesen Untersuchungen konnten abschließend eine entsprechende Anwendungs- und Druckfestigkeitsklasse gemäß DIN 18945 festgelegt werden.

Die Herstellung der Lehmmauersteine erfolgte dabei mit Hilfe einer nachgebauten CINVA Handpresse siehe Abbildung 32, mit denen Steine mit den Abmessungen von 240 x 120 x 65mm hergestellt werden können.



Abbildung 32 – Mechanische CINVA Handpresse zur Herstellung von Lehmsteinen [91]

Die Konditionierung der Prüfkörper wurde bei natürlichen Raumklima durchgeführt, wobei die Trocknung so lange erforderlich war, bis die Lehmsteine die Massenkonstanz einreichten. Dies ist deshalb möglich, da DIN 18945 zwar 23°C und 50% relative Luftfeuchte zur Konditionierung bei der

[90] DIN 18945 sieht zwar keine Prüfung auf Biegezugfestigkeit vor, dennoch wurde teilweise diese Prüfung durchgeführt, da für nicht tragende Lehmmauersteine dies durch etwa einer lokalen Windbelastung direkt auf den Lehmmauerstein eine relevante Bemessungsgröße darstellen kann.

[91] Nachbau einer CINVA Handpresse im Rahmen eines Schulprojektes der Camillo Sitte Bautechnikum im Schuljahr 2024/25 durch die Camillo Sitte Baumaschinenwerkstätte (nähere Informationen zur Handpresse siehe auch (Botti, 2023); die Abbildung zeigt bei abgesenkter Presseplatte jene Position zum Verfüllen mit Lehm (Abbildung rechts oben) bzw. nach dem Pressvorgang wird die Presseplatte angehoben und der fertige Lehmstein kann entnommen und zur Trockenlagerung gebracht werden (Bild rechts unten).

Trocknung vorgibt, jedoch für eine werkseigene Produktionskontrolle eine Temperaturabweichung von ±5°C und eine relative Luftfeuchteabweichung von ±15% zulässt. Unter der Annahme, dass die Versuche als werkseigene Produktionskontrolle laufen, konnte unter kontinuierlicher Aufzeichnung der Parameter Temperatur und Luftfeuchte sichergestellt werden, dass das entsprechende Raumklima gemäß Norm vorhanden war. Die nachfolgende Abbildung 33 zeigt eine Druck- bzw. Biegezugprüfung von einem Lehmstein.

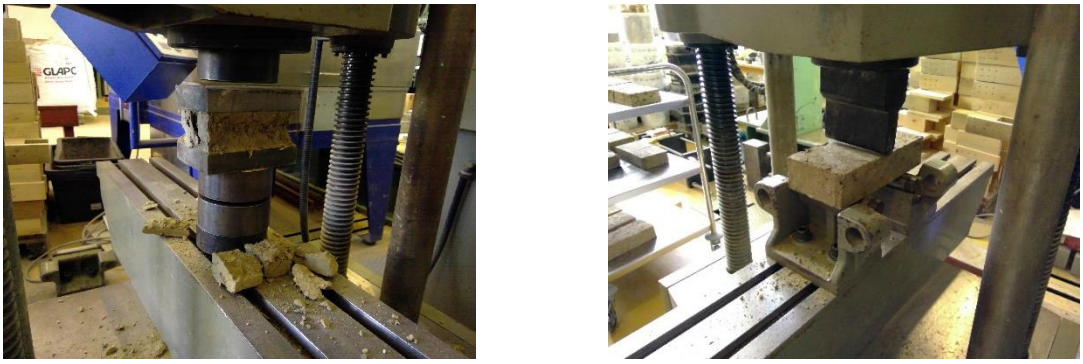


Abbildung 33 – Lehmsteinprüfung, rechts Druckversuch und links Biegezugversuch

5.5.3.2 Versuchsdurchführung Serie 1

Im Zuge der Versuchsdurchführung der Serie 1 wurden Mischungen gemäß Tabelle 37 hergestellt und anschließend auf die zuvor genannten Prüfungen untersucht.

Tabelle 35 – Zusammenstellung Prüfserie 1 Lehmmauersteine, Mischungsverhältnis und Prüfergebnisse

BL LNR	**Material**	**Mischung [RT]**	**Rohdichte [kg/m³]**	**Druckfest-igkeit[a)] [N/mm²]**	**Tauch-prüfung**	**Kontakt-prüfung**	**Saug-prüfung**
BL03 26 002	Heidenreichstein Stroh	1,0 0,1	1540	2,9/2,6	AK II	AK Ia	AK II
BL05 BL09 26 005	Kleinbaumgarten Schrems Stroh	1,0 1,0 0,1	1660	3,7/3,2	AK II	AK Ia	AK II
BL08 26 006	Pulkau GK 0/4 Stroh	1,0 2,0 0,1	1750	2,7/2,5	AK II	(AK Ia[b)])	AK II
DIN 18945, tragend **DIN 18945, nicht tragend**			**≥ 1210** **k. A.**	**≥ 2,5/2,0** **≥ 1,0**			

Anmerkung:

Generell gilt: grüne Farbe = tragend, orange Farbe = nicht tragend, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18945 nicht erfüllt.

[a)] Druckfestigkeit in N/mm²: der erste Wert bezieht sich auf den Mittelwert und der zweite Wert auf den kleinsten Einzelwert der Prüfreihe

[b)] Fehler in der Lagerung bei Lehmstein 2, daher konnte Kontaktprüfung an diesem nicht durchgeführt werden, siehe Detailauswertung im Anhang.

Als Ergebnis zeigt sich, dass die Steine eine Druckfestigkeitsklasse 2 gemäß DIN 18945 erreichten. Ferner lieferte das Verhalten bei Wassereinwirkung eine Zuordnung in die Anwendungsklasse II. Die nachfolgende Abbildung 34 zeigt die hergestellten Lehmsteine der Versuchsreihe 2.



Abbildung 34 – Lehmsteine BL 03, Versuchsserie 1

In den durchgeführten Druckfestigkeitsprüfung zeigt sich jedoch, dass deren Prüfgeschwindigkeit bzw. Prüfdauer in der Regel über den erlaubten Grenzwert von 90 Sekunden lagen. Damit kam es zu erhöhten Steinverformungen bzw. Stauchung, das wiederum zu einer Verfälschung der Grenzwerte für die Druckfestigkeit zur Folge hatte. Dies könnte bedeuten, dass die erzielten Werte zu hohe Festigkeiten aufweisen. In der anschließenden zweiten Versuchsdurchführung wurde dieser Umstand entsprechend korrigiert. Die nachfolgende Abbildung 35 zeigt noch links Lehmsteine bei Beginn der Saugprüfung bzw. rechts der Kontaktprüfung.



Abbildung 35 – Links Saugprüfung und rechts Kontaktprüfung

5.5.3.3 Versuchsdurchführung Serie 2

In einer zweiten Versuchsreihe wurde nun bei gleicher Mischung wie bei der Versuchsserie 1 folgende Herstellungsbedingungen modifiziert:

- Der Einbau in die Lehmpresse erfolgte bei einem deutlich geringeren Wassergehalt als bei der Serie 1. Dadurch war die Handhabe während des Herstellungsvorganges der Lehmsteine

erleichtert und beim Ausbau aus der Lehmpresse traten zudem geringere Verformungen der Lehmsteine auf.

- Ferner wurde die Maukzeit der angefertigten Baulehmmischung verlängert.
- Bei Durchführung der Druckfestigkeitsprüfung wurde darauf geachtet, dass die normativ geforderte Belastungsgeschwindigkeit so eingestellt wurde, dass der Bruch des Prüfsteines innerhalb von 30 bis 90 Sekunden eintrat zur Vermeidung einer zu großen Stauchung des Lehmmauersteines.
- Des Weiteren wurde in dieser Versuchsreihe auch die Biegezugfestigkeit mitbestimmt.
- Für die Druckfestigkeitsprüfung in der Prüfserie 2 wurde ein einheitlicher Prüfstempel mit den Abmessung B=89mm und L=120mm in der Form einer Stahlplatte verwendet.

Die nachfolgende Abbildung 36 zeigt die hergestellten Lehmsteine der Versuchsreihe 2.



Abbildung 36 – Lehmsteine von links nach rechts: BL 08, BL05/09 und BL 03

Die nachfolgende Tabelle 36 enthält nun die Ergebnisse zur Prüfserie 2.

Tabelle 36 – Zusammenstellung Prüfserie 2 Lehmmauersteine, Mischungsverhältnis und Prüfergebnisse

BL LNR	**Material**	**Mischung [RT]**	**Rohdichte [kg/m³]**	**Druckfestigkeit [a)] [N/mm²]**	**Biegezugfestigkeit [N/mm²]**
BL03 26 012	Heidenreichstein Stroh	1,0 0,1	1640	2,1/2,0	0,45
BL05 BL09 26 013	Kleinbaumgarten Schrems Stroh	1,0 1,0 0,1	1800	3,1/2,7	0,83
BL08 26 014	Pulkau GK 0/4 Stroh	1,0 2,0 0,1	1880	3,1/2,7	0,75
DIN 18945, tragend **DIN 18945, nicht tragend**			**≥ 1210** **k. A.**	**≥ 2,5/2,0** **≥ 1,0**	

Anmerkung:

[a)] Druckfestigkeit: erste Wert bezieht sich auf den Mittelwert, zweiter Wert auf kleinsten Einzelwert

grüne Farbe = tragend, orange Farbe = zumindest nicht tragend, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18945 nicht erfüllt.

Wie zuvor ausgeführt, wurde die Prüfgeschwindigkeit in der Serie 1 teilweise zu niedrig gewählt, wodurch sich eine größere Stauchungszone einstellen konnte, die wiederum zu höheren (und dadurch verfälschten) Druckfestigkeitswerten führte.

In der Serie 2 konnte dies erfolgreich korrigiert werden, wie auch die Prüfgrafen deutlich erkennen lassen, siehe nachfolgende Abbildung 37. Die Dauer bis der Prüfköper zum Bruck kam, lag nun zwischen 30 und 45 Sekunden.

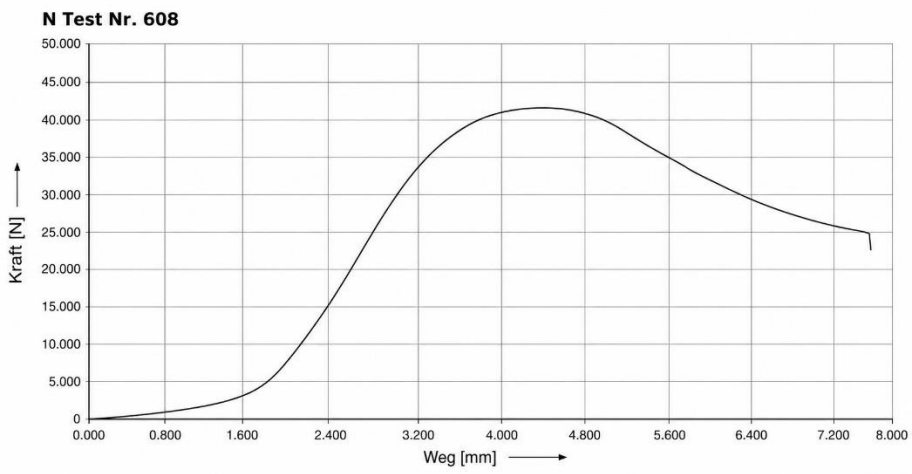


Abbildung 37 – Typischer Prüfgrafen aus der Lehmsteinprüfung Serie 2

5.5.3.4 Interpretation der Ergebnisse für die Entscheidungsmatrix

In der nachfolgenden Abbildung 38 werden nochmals die für die Herstellung der Lehmsteine verwendete Baulehme im Texturdreieck dargestellt. Dabei können folgende Rückschlüsse festgehalten werden:

- Der Baulehm BL09 weist einen niedrigen Tongehalt auf, ist sehr mager und findet sich so im Dreieck im unteren linken Eck. Dieser Baulehm kann daher nicht direkt, als Lehmbaustoff verwendet werden. Jedoch eignet er sich sehr wohl als mineralischer Zuschlagsstoff für Baulehme mit einem höheren Tonanteil. Konkret wurde dies in der Mischung BL05/BL09 umgesetzt. BL05 weist einen höheren Ton- und Schluffanteil auf. Aus der Mischung von BL05 und BL09 konnte eine für einen Lehmmauerstein ausgewogenen Sieblinie eingestellt werden.
- Eine ähnliche Abmagerung wäre auch für den BL08 möglich gewesen mit BL09. In dieser Versuchsreihe erfolgte aber diese mit einer mineralischen Gesteinskörnung (GK 0/4) eine entsprechende Verringerung des Ton- und Schluffanteils.
- Schlussendlich zeigt sich auch für BL03, dass dieser zwar gerade noch im verwendbaren Bereich einer Lehmbauanwendung liegt, jedoch würde eine Optimierung durch die Zugabe von Tonpulver sicherlich zu einer deutlichen Verbesserung der Produkteigenschaften führen.

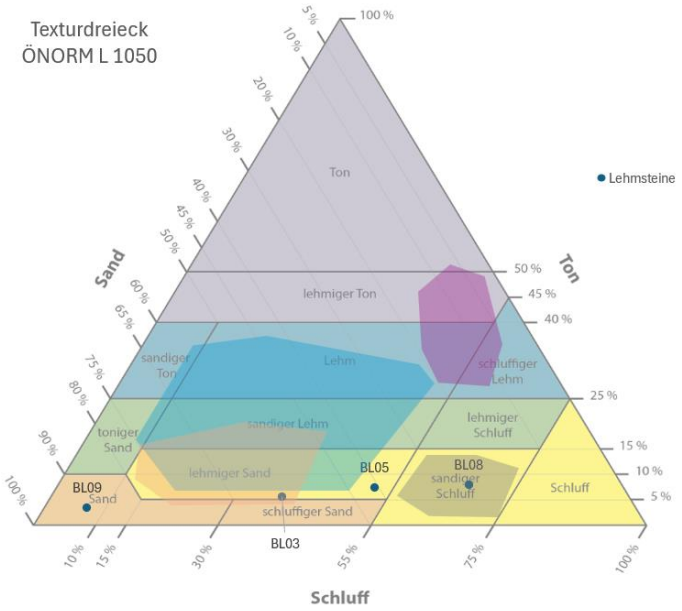


Abbildung 38 – Verwendete Baulehme BL03, BL05/09, BL08
Lehmsteinanwendungen: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett)

Die nachfolgende Abbildung 39 stellt noch die verwendeten Baulehme im Plastizitätsdiagramm dar. [92] Dabei lässt sich gut erkennen, dass BL03, BL05 und BL08 für Lehmmauersteine verwendbar sind, wobei bei näherer Betrachtung man gut sieht, dass gerade BL08 optimal für eine leichte Leichtlehmmischung wäre. Das ist wiederum auf dessen höheren Ton- und Schluffgehalt und die damit verbundene erhöhte plastische Eigenschaft zurückzuführen.

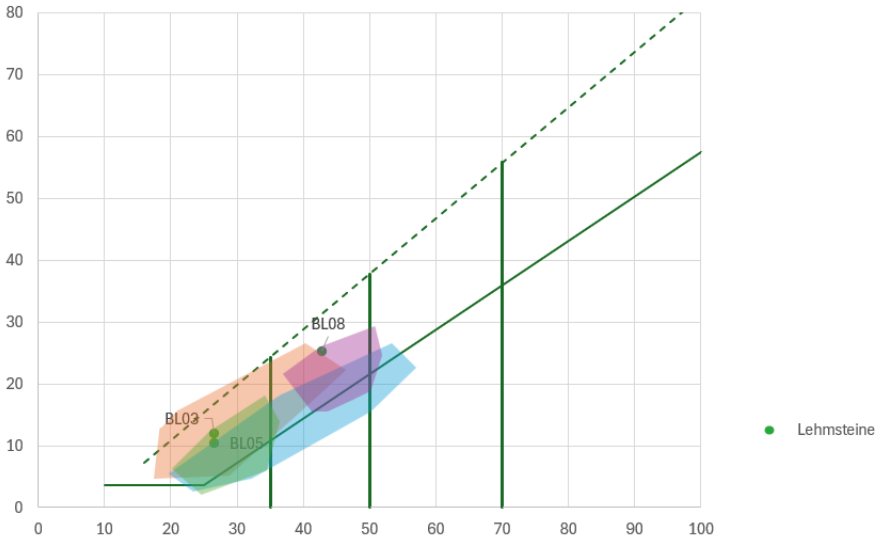


Abbildung 39 – Plastizitätsdiagramm für verwendete Baulehme BL03, BL05, BL08 und Lehmbauanwendungen: Stampflehm (orange), allg. formgeschlagene Lehmstein (hellblau), Stroh-Faserlehm und Schwere Leichtlehm (grün), Leichte Leichtlehmmischung (violett)

[92] Für den Baulehm BL09 konnten keine Konsistenzgrenzen ermittelt werden, da dieser Boden zu mager ist.

5.5.4 Lehmmörtel

5.5.4.1 Allgemeines

Die Prüfungen für den Lehmmörtel wurden abhängig der jeweiligen Lehmbauanwendung nach DIN 18946 für Lehmmauermörtel bzw. nach DIN 18947 für Lehmputzmörtel durchgeführt. Dabei wurden immer folgende Anforderungen in Bezug auf die Eigenschaften des Festmörtels geprüft:

- Rohdichte: Bestimmung der Masse bezogen auf das Volumen von drei Prüfprismen in kg/m³
- Lineares Trockenschwindmaß: Bestimmung aus der Längenänderung des Prismas bezogen auf dessen Ausgangslänge (= Forminnenmaß von 160mm) in Prozent
- Druckfestigkeit nach ÖNORM EN 1015-11 an drei Prüfprismen in N/mm².

Zusätzlich dazu wurden für Lehmmauermörtel:

- Haftscherfestigkeit nach ÖNORM EN 1052-3 bei Anwendung des Verfahrens A ohne seitlichen Vorlasten in N/mm²,

sowie nur für den Lehmputzmörtel:

- Biegezugfestigkeit nach ÖNORM EN 1015-11 an drei Prüfprismen in N/mm²
- Haftfestigkeit nach ÖNORM EN 1015-12 vorgenommen an fünf Einzelprüfungen in N/mm² untersucht.

Insgesamt wurden vier Versuchsreihen abgewickelt. Dabei wurden die Baulehmen aus dem Projektgebiet mit einer technischen Gesteinskörnung (Körnung GK 0/4) gemischt, bzw. in einem Fall wieder BL05 und BL09 miteinander aufbereitet. Die genauen Mischungsangaben können der Tabelle 37 entnommen werden.

Tabelle 37 – Zusammenstellung der Lehmmörtel-Mischungen

BL LNR	**Material**	**Mischung [g]**
BL04 (25 002)	Karlstein	1900
26 001	GK 0/4	500
BL09/BL05	Schrems/	800
26 003	Kleinbaumgarten	1400
BL10 (25 005)	Waidhofen/Thaya	2500
26 004	GK 0/4	275

5.5.4.2 Versuchsdurchführung Serie 1

Aufbereitung

Die Herstellung des Prüfmörtels erfolgte für die erste Serie analog zu den Vorgaben der DIN-Lehmmörtelnormen. Die Konsistenz des Lehmmörtels wurde dabei durch entsprechende Wasserzugabe auf ein Ausbreitmaß von 175 ± 5mm eingestellt.

Die anschließende Konditionierung der Probekörper erfolgte bei natürlichen Raumklima, wobei diese so lange erfolgte, bis sich die Massenkonstanz einstellte. Dies ist deshalb möglich, da die Norm zwar 23°C und 50% relative Luftfeuchte für die Trocknung vorgibt, jedoch bei einer werkseigenen Produktionskontrolle eine Temperaturabweichung von ± 5°C und eine relative Luftfeuchteabweichung von ±15% zulässig ist. Unter der Annahme, dass diese Versuche als werkseigene Produktionskontrolle laufen, konnte so bei einer kontinuierlichen Aufzeichnung der beiden Parameter Temperatur und Luftfeuchte das Raumklima auf diese Toleranzen stets kontrolliert werden.

Für Lehmmauermörtel wurde auch der Haftscherversuch durchgeführt, um so die nach Norm geforderte Haftung zwischen Lehmstein und Lehmmauermörtel nachweisen zu können. Dabei wurden als Referenz-Mauersteine formgepresste Lehmsteine verwendet.[93] Die nachfolgende Abbildung 40 zeigt den typischen Ablauf für die Haftscherversuch.



Abbildung 40 – Haftscherversuch von Lehmmauermörtel, links vorbereitete Prüfkörper, Mitte: Einbau des Prüfkörpers in die Prüfanlage, rechts: Prüfkörper nach dem Versagen

Zur Ermittlung der Haftfestigkeit von Lehmputzsysteme wurden als Untergrund nach ÖNORM EN 1015-12 hergestellte Betonplatten verwendet. Auf diesen wurde der Lehmputz aufgetragen und bis zur Massenkonstanz getrocknet und anschließend auf dessen Haftfestigkeit geprüft.

[93] Die Herstellung der Lehmsteine erfolgt mittels CINVA Handpresse, Beschreibung dazu siehe 5.5.3.

Die nachfolgende Abbildung 41 zeigt Schritte aus dieser Prüfung.

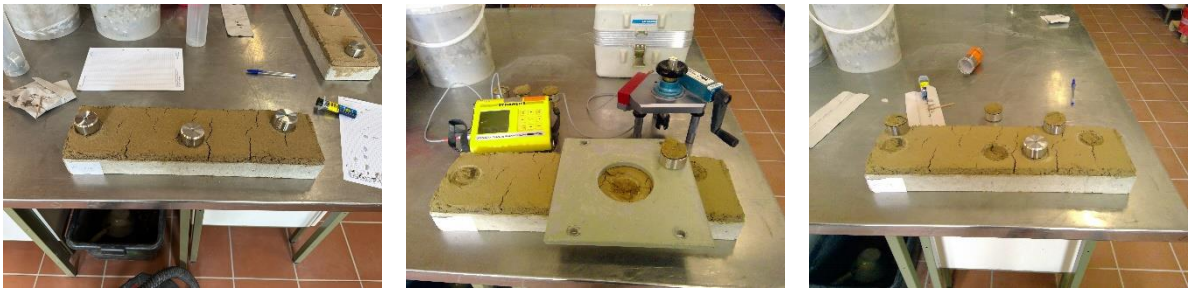


Abbildung 41 – Haftfestigkeitsversuche von Lehmputzmörtel, links Aufkleben der Probestempel auf die Lehmputzoberfläche, Mitte: entsprechende Prüfgeräte für den Haftfestigkeitsversuch, rechts: nach dem Versuch

Ergebnisse

Die nachfolgende Tabelle 37 enthält zunächst die Ergebnisse für die Lehmmauermörtel-Prüfung.

Tabelle 38 – Zusammenstellung der Ergebnisse für die Prüfserie 1 Lehmmauermörtel

BL LNR	**Rohdichte [kg/m³]**	**Lineares Trocken - schwindmaß**	**Druckfestigkeit [N/mm²]**	**Haftscher-festigkeit [N/mm²]**
BL04 (25 002) 26 001	1800	4,0%	2,5	0,12
BL09/BL05 26 003	1730	6,4%	2,2	0,05
BL10 (25 005) 26 004	1820	2,4 %	1,5	0,08
DIN 18946, tragend **DIN 18946, nicht tragend**	**≥ 1410** **k. A.**	**≤ 2,5%**	**≥ 2,5** **≥ 1,0**	**≥ 0,04** **k. A.**
Anmerkung: grüne Farbe = tragendendes Lehmmauerwerk, orange Farbe = nicht tragendendes Lehmmauerwerk, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18946 nicht erfüllt.				

Die Ergebnisse zeigen, dass alle drei Lehmmauermörtel nicht für ein tragendes Mauerwerk geeignet sind. Vor allem das Lineare Trockenschwindmaß bewies sich hier als entscheidendes Ausschlusskriterium. Nur der Lehmmauermörtel aus BL10 ist nach DIN 18946 für das nichttragende Mauerwerk verwendbar.

Überraschend waren dafür die Ergebnisse aus der Haftscherfestigkeit. Obwohl der Versuch ohne seitliche Vorlasten durchgeführt wurde, waren die Ergebnisse deutlich über den geforderten Grenzwerten.[94]

[94] Im aktuellen Entwurf der DIN 18946 wurde der Grenzwert von 0,04 N/mm² auf 0,02 N/mm² herabgesetzt.

Interessant ist, wenn die Ergebnisse der Lehmmauermörtel-Prüfungen mit jenen aus den Eignungsprüfungen des Baulehms verglichen werden, siehe Tabelle 39.

Tabelle 39 – Ergebnisse Eignungsprüfung der Baulehme und Prüfserie 1 für Lehmmauermörtel

LNR	Material	Rohdichte [kg/m³]	Lineares Trockenschwindmaß	Druckfestigkeit
BL04 (25 002) 26 001	Karlstein GK 0/4	1800	4,0%	2,5
BL04 (25 002)	Karlstein	2020	2,2 %	6,8
BL09/BL05 26 003	Schrems/ Kleinbaumgarten	1730	6,4%	2,2
BL09	Schrems	1900	0,0 %	1,7
BL05	Kleinbaumgarten	1930	3,0 %	8,7
BL10 (25 005) 26 004	Waidhofen/Thaya GK 0/4	1820	2,4 %	1,5
BL10 (25 005)	Waidhofen/Thaya	2010	1,6 %	3,1
DIN 18946, tragend **DIN 18946, nicht tragend**		**≥ 1410** **k. A.**	**≤ 2,5%**	**≥ 2,5** **≥ 1,0**
Anmerkung: grüne Farbe = tragend, orange Farbe = zumindest nicht tragend, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18946 nicht erfüllt.				

Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Zunächst kann man gut erkennen, dass eigentlich bis auf BL05 alle Baulehme ohne Veränderung der Zusammensetzung von sich aus für die Anwendung als Lehmmauermörtel verwendbar wären.
- Weiters stellte das Lineare Trockenschwindmaß für den Lehmmauermörtel das generelle Problem dar. Dieser Wert ist klar höher als in den durchgeführten Baulehmprüfungen. Dabei ist das Schwindmaß von folgenden Bedingungen abhängig:
    - Menge der Wasserzugabe bei Prüfkörperherstellung,
    - Art, Menge und Struktur der Tonmineralien,
    - Anteil der grobkörnigen Fraktion im Baulehm,
    - und Austrocknungsbedingungen

  Aus diesen Abhängigkeiten heraus, erscheint vor allem die Menge der Wasserzugabe ein wesentlicher Faktor zu sein. Da ansonsten die Tonminerale unverändert blieben, die Zugabe von grobkörnigem Material das Lineare Trockenschwindmaß verbessern und die Austrocknungsbedingungen über die entsprechende Konditionierung gleichbleibend war.

- Betrachtet man daher nur die Wasserzugabe, so wurde diese bei der Baulehmprüfung in anderer Form definiert als bei den Untersuchungen nach DIN 18946. Bei der Baulehmprüfungen lag der Wassergehalt bei der Herstellung der Prüfprismen nahezu bei der Ausrollgrenze und war somit deutlich geringer als jener nach DIN 18946.

Die nachfolgende Tabelle 40 fasst nun die Ergebnisse für die Lehmputzmörtel-Prüfung zusammen.

Tabelle 40 – Zusammenstellung der Ergebnisse für die Prüfserie 1 Lehmputzmörtel

BL LNR	**Rohdichte [kg/m³]**	**Lineares Trockenschwindmaß**	**Biegezugfestigkeit [N/mm²]**	**Druckfestigkeit [N/mm²]**	**Haftfestigkeit [N/mm²]**
BL04 (25 002) 26 001	1800	4,0%	1,3	2,5	0,15
BL09/BL05 26 003	1730	6,4%	1,1	2,2	- [a)]
BL10 (25 005) 26 004	1820	2,4 %	0,7	1,5	0,11
DIN 18947, Festigkeitsklasse S I **DIN 18947, Festigkeitsklasse S II**	**k. A.**	**≤ 2,0%**	**≥ 0,3** **≥ 0,7**	**≥ 1,0** **≥ 1,5**	**≥ 0,05** **≥ 0,10**

Anmerkung: grüne Farbe = Festigkeitsklasse SI, orange Farbe = Festigkeitsklasse SII, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18947 nicht erfüllt.

[a)] wurde nicht durchgeführt.

So wie beim Lehmmauermörtel zeigt sich auch für den Lehmputzmörtel, dass vor allem das Lineare Trockenschwindmaß nicht eingehalten werden konnte. Die restlichen Parameter wie Biegezug- und Druckfestigkeit entsprechend den Anforderungen nach DIN 18947 und weisen bis auf die Prüfmischung BL10 (Festigkeitsklasse S II) immer die Festigkeitsklasse S I auf.

Wie für den Lehmmauermörtel wurden auch für den Lehmputz die Ergebnisse mit jenen aus der Baulehmprüfung verglichen, siehe Tabelle 41.

Tabelle 41 – Ergebnisse Eignungsprüfung der Baulehme und Prüfserie 1 für Lehmputzmörtel

LNR	**Material**	**Rohdichte [kg/m³]**	**Lineares Trocken-schwindmaß**	**Biegezug festigkeit**	**Druck-Festig-keit**
BL04 (25 002) 26 001	Karlstein GK 0/4	1800	4,0%	1,3	2,5
BL04 (25 002)	Karlstein	2020	2,2 %	2,2	6,8
BL09/BL05 26 003	Schrems/ Kleinbaumgarten	1730	6,4%	1,1	2,2
BL09	Schrems	1900	0,0 %	0,4	1,7
BL05	Kleinbaumgarten	1930	3,0 %	1,4	8,7
BL10 (25 005)	Waidhofen/Thaya	1820	2,4 %	0,7	1,5

26 004	GK 0/4				
BL10 (25 005)	BL Waidhofen/Thaya	2010	1,6 %	1,1	3,1
DIN 18947, Festigkeitsklasse S I **DIN 18947, Festigkeitsklasse S II**		**k. A.**	**≤ 2,0%**	**≥ 0,3** **≥ 0,7**	**≥ 1,0** **≥ 1,5**
Anmerkung: grüne Farbe = Festigkeitsklasse SI, orange Farbe = Festigkeitsklasse SII, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18947 nicht erfüllt.					

Dabei kann man folgende Schlussfolgerungen erkennen:

- Wieder ist das Trockenschwindmaß (für Lehmputze gelten dabei erhöhte Anforderungen, um mögliche Rissbildungen an der Lehmputzoberfläche zu vermeiden) das wesentliche Ausschließungskriterium, für das die Überlegungen wie zuvor beim Lehmmauermörtel gelten (BL04 und BL05 erreichen dabei nicht die Anforderungen nach DIN 18947).
- Zusätzlich konnte auch BL09 auf Grund der Ergebnisse aus Biegezug- und Druckfestigkeit nur die Festigkeitsklasse S II erreichen.
- Damit schaffte nur BL10 die Festigkeitsklasse S I.

Als Konsequenz aus den Ergebnissen der ersten Versuchsserie wird nun mit den bereits vorhandenen Lehmmischungen, siehe Tabelle 43, der Wassergehalt schrittweise reduziert, um so zu prüfen, ob sich tatsächlich nur durch eine veränderte Wasserzugabe auch das Trockenschindmaß entsprechend verringert.

5.5.4.3 Versuchsdurchführung Serie 2 und 3

Die nachfolgende Tabelle 42 enthält die Ergebnisse aus den Serien 1 bis 3 mit dem Fokus auf das Maß der Wasserzugabe in Relation zum Lineare Trockenschwindmaß.

Dabei kann man erkennen, dass erst mit der Versuchsreihe 3 sich das lineare Trockenschwindmaß entscheidend verringert hat und so die Grenzwerte sowohl für den Lehmmauermörtel als auch für den Lehmputzmörtel eingehalten werden konnten.

Tabelle 42 – Lineares Trockenschwindmaß von Versuchsserie 1 bis 3

	BL 04	**BL 09/05**	**BL 10**
Versuchsserie 1	Ausbreitmaß laut DIN-Norm mit 175±5mm		
Lineares Trockenschwindmaß	4,0%	6,4%	2,4%
Versuchsserie 2			
Wassergehalt	22,1%	22,9%	21,6%
Lineares Trockenschwindmaß	> 2,0%	> 2,0%	> 2,0%

Versuchsserie 3			
Wassergehalt	11,1%	15,3%	15,5%
Lineares Trockenschwindmaß	0,3%	1,2%	0,5%

Deshalb wurde mit der Versuchsreihe 3 als abschließender Schritt die Prüfprismen auf dessen Rohdichte, Biegezug- und Druckfestigkeiten untersucht und mit den Grenzwerten nach DIN 18946 bzw. DIN 18947 wieder verglichen. Die Ergebnisse zu diesen Prüfungen sind in den Tabelle 43 für den Lehmmauermörtel und Tabelle 44 für den Lehmputzmörtel aufgelistet sowie mit jener aus der Versuchsreihe 1 verglichen.

Tabelle 43 – Ergebnisse aus Versuchsserie 1 (S1) und 3 (S3) für Lehmmauermörtel

LNR	**Material**	**Rohdichte [kg/m³]**	**Lineares Trockenschwindmaß**	**Druckfestigkeit [N/mm²]**
S1: 26 001	Karlstein BL04, GK 0/4	1800	4,0%	2,5
S3: 26 009		1639	0,3%	0,7
S1: 26 003	Schrems/Kleinbaumgarten	1730	6,4%	2,2
S3: 26 010		1624	1,2%	1,2
S1: 26 004	Waidhofen/Thaya BL10, GK 0/4	1820	2,4%	1,5
S3: 26 011		1842	0,5%	1,5
DIN 18946, tragend/ nicht tragend		**≥ 1410/k. A.**	**≤ 2,5%**	**≥ 2,5/≥ 1,0**
Anmerkung: grüne Farbe = tragend, orange Farbe = zumindest nicht tragend, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18946 nicht erfüllt.				

Dabei zeigte sich, dass interessanterweise sich auch die Rohdichten teilweise verringerte, das wiederum eine Auswirkung auf die Festigkeiten der Prismen hat und daher diese Grenzwerte nur bedingt eingehalten konnten. So ist etwa die Mischung BL04 (LNR 26 009) generell nicht mehr als Lehmmauermörtel anwendbar (weder tragend noch nicht tragend) und die Mischungen BL05/BL09 sowie BL10 nur mehr für den nichttragenden Bereich.

Daher lassen die Ergebnisse für die Versuchsreihe 3 folgende Schlussfolgerung zu:

- durch die Verringerung der Wasserzugabe konnten die Grenzwerte für das Trockenschwindmaß eingehalten werden,
- die Verringerung der Rohdichte führt jedoch auch zu einer wesentlichen Reduktion der Druckfestigkeit,
- damit konnte kein Lehmmauermörtel die geforderten Grenzwerte für ein tragendes Mauerwerk erreichen.

Sowie beim Lehmmauermörtel stellte sich auch für den Lehmputzmörtel in Summe nun eine schlechtere Performance ein, wie die Tabelle 44 zeigt.

Tabelle 44 – Ergebnisse aus Versuchsserie 1 (S1) und 3 (S3) für Lehmputzmörtel

LNR	Material	Lineares Trockenschwindmaß	Druckfestigkeit [N/mm²]	Biegezugfestigkeit [N/mm²]
S1: 26 001	Karlstein BL04, GK 0/4	4,0%	2,5	1,3
S3: 26 009		0,3%	0,7	-[a)]
S1: 26 003	Schrems/Kleinbaumgarten	6,4%	2,2	1,1
S3: 26 010		1,2%	1,2	0,3
S1: 26 004	Waidhofen/Thaya BL10, GK 0/4	2,4%	1,5	0,5
S3: 26 011		0,5%	1,5	0,4
DIN 18947, Festigkeitsklasse SI/SII		**≤ 2,0%**	**≥ 1,0/≥ 1,5**	**≥ 0,3/≥ 0,7**

Anmerkung: grüne Farbe = Festigkeitsklasse SI, orange Farbe = Festigkeitsklasse SII, rote Farbe = Anforderung nach DIN 18947 nicht erfüllt.

[a)] Biegezugprüfung war nicht durchführbar.

So fällt auch hier die Mischung BL04 als Anwendung für den Lehmputz komplett durch, und die beiden anderen Mischungen lassen sich lediglich noch der Festigkeitsklasse SII zuordnen.

Als mögliche Ursache dafür kann die nun zu geringe Wasserzugabe angenommen werden. Denn dadurch können die physikalischen Bindekräfte der Tonminerale mit dem Wasser nicht entsprechend aktiviert werden, das wiederum zu einer Festigkeitsabnahme führte.

Daher werden in einer abschließenden Versuchsserie 4 nochmals der Wassergehalt entsprechend optimiert (zwischen Versuchsreihe 2 und 3).[95]

5.5.4.4 Versuchsdurchführung Serie 4

Die nachfolgende Tabelle 45 enthält nun zum einen eine Übersicht zum Wassergehalt bzw. Lineares Trockenschwindmaß für jede Versuchsreihe als auch die Ergebnisse der Versuchsreihe 4 für die Rohdichte, Biegezug- und Druckfestigkeit.

[95] An dieser Stelle sei erwähnt, dass durch den Proctorversuch nach ÖNORM B 4418 es möglich ist, den optimalen Wassergehalt in Bezug auf die Dichte des Prüfmateriales ermittelt werden kann.

Tabelle 45 – Lineares Trockenschwindmaß von Versuchsserie 1 bis 3

	BL 04	BL 09/05	BL 10
Versuchsserie 1	Ausbreitmaß laut DIN-Norm mit 175±5mm		
Lineares Trockenschwindmaß	4,0%	6,4%	2,4%
Versuchsserie 2			
Wassergehalt	22,1%	22,9%	21,6%
Lineares Trockenschwindmaß	> 2,0%	> 2,0%	> 2,0%
Versuchsserie 3			
Wassergehalt	11,1%	15,3%	15,5%
Lineares Trockenschwindmaß	0,3%	1,2%	0,5%
Versuchsserie 4			
Wassergehalt	16,4%	18,0%	17,7%
Lineares Trockenschwindmaß	0,9%	1,5%	1,3%
Rohdichte	1955kg/m³	1930kg/m³	2016kg/m³
Biegezugfestigkeit	1,2N/mm²	1,6N/mm²	1,1N/mm²
Druckfestigkeit	3,2N/mm²	3,8N/mm²	3,0N/mm²

Diese zeigen nun tatsächlich folgende Ergebnisse:

- Die Grenzwerte für das lineare Trockenschwindmaß konnte für Lehmmauermörtel und Lehmputzmörtel eingehalten werden
- Gleiches gilt für die Festigkeiten, sowohl Biegezug- als auch Druckfestigkeit
- Damit können diese Lehmmischung für ein tragenden Lehmmauerwerk verwendet werden (M2,5) und das Lehmputzsystem kann ebenfalls für die höchste Festigkeitsklasse S I eingestuft werden.

Die Versuchsreihen 1 bis 4 zeigt anschaulich, dass nur durch die Optimierung des Wassergehaltes die normativ geforderten Grenzwerte nach DIN 189476 und DIN 18947 eingehalten werden konnten.

An dieser Stelle sei noch der Hinweis, dass folgende weiter Maßnahmen möglich wären:

- Wie zuvor erwähnt, Ermittlung des optimalen Wassergehaltes durch den Proctorversuch nach ÖNORM B 4410.
- Faserbewehrte Lehmmörtel unterliegen weniger strengen Vorgaben hinsichtlich des linearen Trockenschwindmaßes. Das heißt, man könnte auch durch Faserarmierung entsprechende Optimierungen an der Lehmmischung vornehmen.

- Eine Abmagerung durch das GK 0/4 war nicht zwingend notwendig. Dies kann auch durch das Texturdreieck (Abbildung 42) und Plastizitätsdiagramm (Abbildung 43) bestätigt werden, siehe auch 5.5.4.5.

5.5.4.5 Interpretation der Ergebnisse für die Entscheidungsmatrix

Die nachfolgende Abbildung 42 zeigt wieder die verwendeten Baulehme für die Lehmmörtelherstellung im Texturdreieck. Ähnlich wie für die Lehmmauersteine gilt auch für Lehmmauermörtel, dass die Baulehme teilweise zu mager sind spezielle BL09 und daher eigentlich für einen Lehmmörtel nur bedingt anwendbar sind.

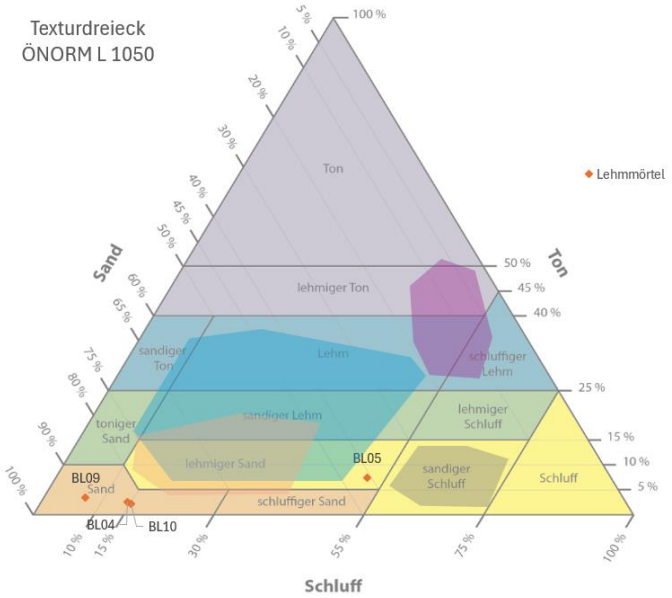


Abbildung 42 – Verwendete Baulehme BL04, BL05/09, BL10
Lehmsteinanwendungen: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett)

Kombiniert man das Texturdreieck mit dem Plastizitätsdiagramm zeigt sich, dass gerade die beiden Baulehme BL04 und BL05 zwischen Lehmmauermörtel und Lehmputzmörtel liegen und bei entsprechend optimiertem Wassergehalt, diese wohl ohne weitere Adaption für diese Lehmbauanwendung verwendbar sind. Dies konnten auch die Ergebnisse aus der Versuchsreihe 4 bestätigt werden.

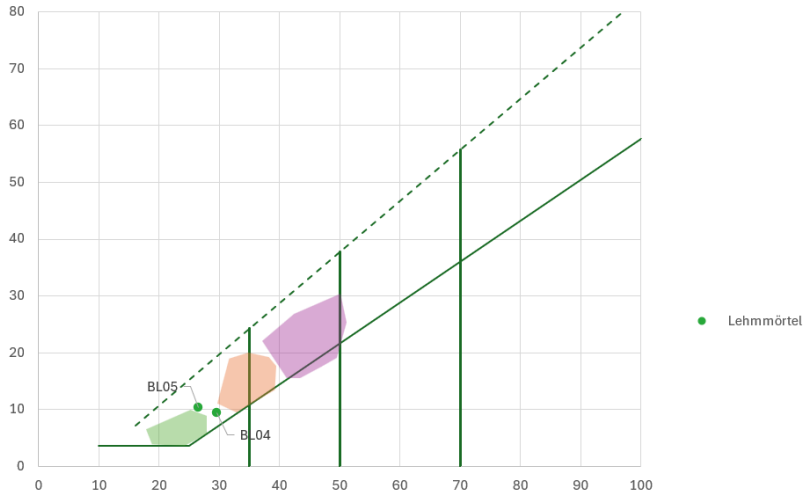


Abbildung 43 – Plastizitätsdiagramm für verwendete Baulehme BL04, BL05/09, BL10[96] und Lehmmörtelanwendungen Lehmspritzmörtel (violett), Lehmmauermörtel (orange) und Lehmputzmörtel (grün)

Abschließend bestätigen die Ergebnisse aus den Prüfungen für die Lehmmauersteine als auch den Lehmmörtel, dass über die aufgezeigte Entscheidungsmatrix erste mögliche Einschätzung für den optimale Lehmbauanwendung gefunden werden kann. Dies hat auch den Vorteil, dass daraus auch ein minimaler Einsatz an mineralischen oder organischen Zusatzstoffen sichergestellt werden kann. Das führt wiederum zu einem verbesserten Resultat hinsichtlich ökologischen Bewertungszahlen wie etwa CO_2-Äquivalent. Somit wird über diese stufenweise Prüfmethodik eine ressourcenschonende Umsetzung für die Anwendung von Lehmbaustoff sichergestellt.

[96] Für die Baulehme BL09 und BL10 konnten keine Konsistenzgrenzen ermittelt werden, da dieser Boden zu mager war.

6 DATENGRUNDLAGE ZUR WISSENSAUFBEREITUNG

6.1 Allgemeines

Auf Grundlage der in den vorangegangenen Abschnitten herausgearbeiteten Erkenntnisse – zu den Bereichen örtliche Verfügbarkeit von Baulehm (Kapitel 3), daraus resultierenden Entwicklung der Prüfmatrix (Kapitel 4) sowie Entscheidungsmatrix für die Anwendung des Bodenaushubes für die bestmögliche Lehmbauanwendung (Kapitel 5) – werden nun in diesem Abschnitt zwei Methoden vorgestellt, die eine nachhaltige Wissensaufbereitung sicherstellen sollen, nämlich:

- „*LehmBuch*“: Erstellung eines Planungshandbuchs,
- „*LehmApp*“: Schaffung einer strukturierten Datengrundlage zur Programmierung einer webbasierten Applikation.

6.2 „*LehmBuch*“ – das Planungshandbuch

Für das „*LehmBuch*“ wird auf Grundlage der in Kapiteln 3, 4 und 5 abgeleiteten Ergebnisse ein Planungshandbuch für Niederösterreich verfasst, das folgende Inhalte umfasst:

- Einführung in das Themenfeld des Lehmbaus,
- Darstellung der wesentlichen bauphysikalischen und mechanischen Eigenschaften, Ausgangsstoffe und Anwendungsformen des Lehmbaus,
- Praxisorientierte Handlungsempfehlung für unterschiedliche Stakeholder zur optimalen Nutzung vorhandener Bodenaushübe im Lehmbau über Prüf- und Entscheidungsmatrix.

Das Planungshandbuch soll dabei ein für sich selbstständig lesbares Dokument darstellen, das als Grundlage für unterschiedliche Publikationsformen dienen soll. Dazu zählen neben der klassischen Buchform in digitaler oder analoger Form auch die Datengrundlage zum Wissenstransfer in die webbasierten Applikationsform „*LehmApp*“.

Das vollständige Planungshandbuch ist als eigenständiger Bestandteil zum vorliegenden Endbericht in beigefügt.

6.3 „*LehmApp*“ – Grundlage für webbasierten Applikation

6.3.1 Allgemeines

An dieser Stelle wird zunächst ein grundlegender Strukturplan für die Entwicklung einer webbasierten Applikation im Bereich des Lehmbaus vorgestellt, der eine mögliche Systemarchitektur und den grundlegenden Aufbau der Anwendung veranschaulicht. Ergänzt wird dieser entwickelte Strukturplan mit entsprechenden Verweisen auf die dafür relevanten Datengrundlagen. Dafür werden folgende Grundlagen herangezogen

- „*LehmBuch*“ mit allgemeinen Inhalten zum Bauen mit Lehm sowie Erläuterungen zum Handlungsleitfaden mit Prüf- und Entscheidungsmatrix für die Bewertung und Verwendung von Bodenaushüben im Lehmbau,
- Zur Verfügungstellung der Formblätter, die in diesem Forschungsprojekt entwickelt wurden, zur Vorerkundung, Eignungsprüfung und Detailprüfung,
- Formulare und zusätzliche hilfreiche Informationen über diverse externe webbasierte Quellen.

Mit diesen beiden Punkten, Grundstruktur der App sowie die dafür notwendige Datengrundlage, soll es aus diesem Forschungsprojekt heraus möglich sein, dass mit Abschluss des Projektes externe Programmierer entsprechende Online-Tools für diverse Medien wie Smartphone, Tablet etc. leichter entwickeln können.

Grundlegendes Ziel von „*LehmApp*“ ist es, allen am Bau handelnden Personen beginnend bei der Bauherrschaft über Planenden und Ausführenden bis hin zur Behörde ein einfaches Anwendungstool zur Verfügung zu stellen. Dieses soll den Einstieg in den Lehmbau als für viele noch neue Bautechnologie erleichtern und so bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Auf diese Weise kann das Potenzial einer regionalen Verwertung von Bodenaushubmaterialien, die im Zuge von Hoch- und Tiefbauprojekten anfallen, umfassender dargestellt werden.

Ferner soll damit auch rasch eine grundlegende Information zum Lehmbau abrufbar sein, ob sich das Aushubmaterial eines Baugrundes für den Lehmbau prinzipiell eignet und wen ja über die Entscheidungsmatrix auch erste Hinweis liefert für welche spezielle Anwendungsform dies der Fall wäre.

Ergänzt wird die „*LehmApp*“ mit allgemeinen Informationen zu weiterführenden Kontakten in Bezug auf lehmbauaffine Fragestellung wie geeignete geotechnische Prüfinstitute für die Durchführung von Bodenanalysen bis hin zu Fachplaner:innen bzw. -ausführenden im Lehmbau.

6.3.2 Strukturplan von „*LehmApp*“

Die Grundarchitektur der webbasierten „*LehmApp*“ besteht aus folgenden Ebenen:

- Benutzeroberfläche (User Interface, UI),
- APP-Logik (Logic) mit Programmierschnittstelle,
- Datenbank und Speicherung.

Benutzeroberfläche (User Interface):

Der Startscreen sollte sofort eine Abfrage über die Adresse/Standort des Baugrundes (1) liefern und über eine Menüleiste (2) die einzelnen weiteren möglichen Menüunterpunkte aufzeigen.

APP-Logik (Logic) inklusive Angaben zu Programmierschnittstelle (Application Programming Interface, API), Datenbank und Speicherung:

An dieser Stelle wird nun eine mögliche grundsätzliche Hierarchie von „*LehmApp*“ vorgestellt. Für jeden Unterpunkt, wenn erforderlich und vorhanden, werden zugleich auch die nötigen Datengrundlagen über Verweise zu den jeweiligen Kapiteln oder Anhängen im Bericht selbst bzw. dort wo es nötig ist zu externen Webseiten die entsprechenden Links angeführt.

1. **Abfrage Adresse/Standort**
    a. Eingabemaske zum Abfragen der Adresse bzw. des Standorts
        i. Straße + Hausnummer
        ii. PLZ
        iii. Stadt
    b. Öffnet www.bodenkarte.at oder https://bodenkarte.at/styles/bodenart.json (oberster Horizont) genau auf der aus a genannten Adresse
    c. Auslesen der für den Lehmbau relevanten Daten: Bodentyp, Ausgangsmaterial, Bodenart, Kalkgehalt, Bodenreaktion, Humusverhältnisse → Formblatt FB02: Vorerkundung, Digitale Bodenkarte „*eBOD*“

d. Öffnet Texturdreieck mit den möglichen Lehmbaustoffen (Abbildung 20 und Abbildung 19) → ermittelte Datenpunkt aus Bodenart c wird in das Texturdreieck eingezeichnet → daraus werden die mögliche Lehmanwendungen genannt.

e. Handtests zur näheren Bestimmung des Bodenaushubes „*vor-Ort*“:

   i. Geotechnische Untersuchung (ÖNORM EN ISO 14688) → Formblatt FB02: Vorerkundung, Handtests

      1. Mineralgerüst über Vergleichsgrößen
      2. Plastizität
      3. …

      → Ergebnis: Einschätzung ob Schluff oder Ton dominiert mit Abschätzung für Bindekraft sowie plastische Eigenschaften unter Zuhilfenahme der Abbildung 21 und Abbildung 22

   ii. Bodenart nach Rowell (Rowell, 2013) → Ablauf über Abbildung 07 und Eintragung in Texturdreieck (Abbildung 20 und der Abbildung 19)

f. Zusammenfassung der Ergebnisse Vorerkundung aus d und e

g. → weiter zu Eignungsprüfung 2.c oder Startscreen 1

2. **Menüleiste** mit Start, Vorerkundung, Eignungsprüfung, Detailprüfung, Lehmbau, Nutzerprofil

a. Start → zurück zu 1

b. Vorerkundung: über Handtests

   i. geotechnische Untersuchung (ÖNORM EN ISO 14688) → Formblatt FB02: Vorerkundung, Handtests

      1. Mineralgerüst über Vergleichsgrößen
      2. Plastizität
      3. …

      → Ergebnis: Einschätzung ob Schluff oder Ton dominiert mit Abschätzung für Bindekraft sowie plastische Eigenschaften (Abbildung 21 und Abbildung 22)

   ii. Bodenart nach Rowell (Rowell, 2013) → Ablauf über Abbildung 07 und Eintragung in Texturdreieck (Abbildung 20 und Abbildung 19)

   iii. Abschätzung möglicher Lehmbauanwendung aus 1.e.i und 1.e.ii → zurück zu 1 oder weiter mit c

c. Eignungsprüfung → nach den Vorgaben aus Abschnitt 4.4

   i. Umweltprüfung des Bodenaushubes

1. < 2000 Tonnen Aushub → augenscheinlich Prüfung sowie Vornutzung → Formblatt *„Aushubinformation nicht verunreinigtes Bodenaushubmaterial < 2.000 Tonnen BAWP 2023“*[97]
2. > 2000 Tonnen Aushub → vollständige Charakterisierung der Abfälle über befugte Fachpersonen oder Fachanstalten (Umweltprüfung)[98]

ii. Geotechnische Laborprüfungen → Auflistung der notwendigen Prüfungen laut Abschnitt 4.4

iii. Zusammenfassung der Ergebnisse Eignungsprüfung

iv. Entscheidungsmatrix:

1. Prinzipielle Prüfung der Eignung betreffend Kalkgehalt, organischen Gehalt, bauschädliche Salze (falls vorhanden)
2. Darstellung der Ergebnisse im Texturdreieck über die ermittelten Kornfraktionen (Abbildung 20 und Abbildung 19) und Plastizitäts-diagramm über Fließ- und Ausrollgrenze (Abbildung 21 und Abbildung 22)
3. Vorschlag:
    a. mögliche Lehmbauanwendungen → springt zu d.ii
    b. Prüfung allgemein als Bauprodukt „*Baulehm*“→ springt zu d.i

d. Detailprüfung

i. Bodenaushub als Bauprodukt „*Baulehm*“ → Nennung der Prüfungen, Kontakte zu Prüfinstitute (Prüfplan nach Tabelle 22)

ii. Bodenaushub als Ausgangsstoff für Lehmbaustoffe: → Nennung der Prüfnormen, Kontakte zu Prüfinstitute (Auswahl relevanter Prüfnormen nach ÖNORM B 3230 oder DIN 1894x, siehe Tabelle 24)

[97] Quelle: https://www.bmluk.gv.at/dam/jcr:bd4b7c9a-1181-47a6-805a-761ce95b6f26/Musterformular_Aushubinformation_Kleinmengenregelung_BAWPL_2023.pdf [Zugriff am 14.8.2026]

[98] Quelle: https://edm.gv.at/eras/registerabfrageGutachterAbfallannahmeSearch.do;jsessionid=EFE58B0F98AEAD307C84D88C0867C59C.erasnode01?wfjs_enabled=true [Zugriff am 14.8.2026]

e. Lehmbau
    i. Allgemeine Informationen zum Lehmbau über „*LehmBuch*“ bzw. LEHM | Netzwerk Lehm[99]
    ii. Beispiele zu realisierten Lehmbau-Projekten: PROJEKTE | Netzwerk Lehm[100]
    iii. Fachleute für den Lehmbau: FACHLEUTE | Netzwerk Lehm[101]
f. Nutzerprofil
    i. Gespeicherte Abfragen
        1. Abfrage 1 vom 5.8.2026 …
        2. …
    ii. Angaben zum Nutzerprofil

[99] Quelle: https://netzwerklehm.at/lehm/ [Zugriff am 14.8.2026]

[100] Quelle: https://netzwerklehm.at/projekte/ [Zugriff am 14.8.2026]

[101] Quelle: https://netzwerklehm.at/fachleute/ [Zugriff am 14.8.2026]

7 LEHMSAMPLE – PRAXISNACHWEIS

7.1 Allgemeines, Aufgabenstellung

Abschließend wird auf Basis der Ergebnisse aus den untersuchten Baulehmen des Projektgebietes die Anwendbarkeit für die Praxis am Beispiel eines Lehmmauerwerks überprüft.

Dazu werden die dafür passenden Baulehme zunächst homogenisiert und anschließend aus der so gewonnenen Materialmischung Lehmmauersteine und Lehmmauermörtel hergestellt. Über die Normen DIN 18945 bzw. DIN 1846 werden diese dann zum einen auf deren wesentlichen Produkteigenschaften untersucht und abschließend nach Herstellung des Lehmmauer-Prüfkörpers nach den Vorgaben der ÖNORM EN 1052-1 auf dessen Druckfestigkeit geprüft.

7.2 Prüfung der Lehmmauersteine nach DIN 18945

7.2.1 Allgemeines

In den Untersuchungen aus Abschnitt 5.2.3 konnte nachgewiesen werden, dass durch das Formpressen unter Verwendung einer Handpresse für das vorhandene Waldviertler Bodenaushubmaterial die geforderten Anforderungen nach DIN 18945 erreicht werden konnten. Dabei wurden, ohne eine spezielle erweiterte Entwicklung einer entsprechenden Rezeptur der einzelnen Ausgangsstoffen vorzunehmen, immer zumindest Druckfestigkeitsklasse 2 und Anwendungsklasse II nach DIN 18945 erreicht, das wiederum für das Bauen einer tragenden Lehmmauerwerk ausreicht.

Würde man noch eine vertiefende Optimierung der Ausgangsstoffe vornehmen, beispielsweise durch die Zugabe von Tonpulver, umso den doch etwas geringen Tonanteil zu erhöhen und damit auch die Bindekraft in der Lehmmischung zu verbessern, könnten wesentlich höhere Festigkeitswerte erzielt werden.

Die Idee des Herstellungsprozess, nämlich Lehmmauersteine über die Formpressung zu gewinnen, wird auch im internationalen Vergleich bei Verwendung von Bodenaushub verfolgt, in diesem Zusammenhang seinen an dieser Stelle zwei Beispiele erwähnt:

Beispiel 1: „*Earthbound*“ in Berlin

Das Unternehmen „*Earthbound*” in Berlin produziert aus Berliner Aushub Lehmmauersteine und Lehmmauermörtel. Die Aufbereitung des Baulehms passiert dabei mechanisch, indem der Lehm zunächst für zwei Tage an der Luft getrocknet und anschließend durch einen Kollergang zermahlen, dann befeuchtet und durch das Ruhenlassen („*Mauken*“) der Mischung entsprechend homogenisiert wird. Die Formgebung der Steine erfolgt am erdfeuchten Baulehm mit Hilfe einer hydraulischen Presse, die mit einer Presskraft ab ca. 15 Tonnen drei Steine pro Minute herstellen kann.

Anschließend werden bei Lufttrocknung die so gewonnenen Lehmmauersteine zunächst vierzehn Tage zur Trocknung gelagert. Danach sind diese in der Regel transportfertig und können so auf die Baustelle zum sofortigen Einbau geliefert werden. Ihre endgültige Festigkeit erreichen die Steine bei vollständiger Trocknung nach 21 bis 28 Tagen.







Abbildung 44 – Produktionsstätte von Earthbound (oberes Bild), Hydraulische Presse (links unten) und daraus gewonnener Lehmmauerstein (rechts unten)

Die so hergestellten Lehmsteine erreichen dabei die Druckfestigkeitsklasse 5 mit einer Anwendungsklasse[102] II mit den Abmessungen von 295 × 140 × 90mm. Damit sind diese Steine für das tragende Lehmmauerwerk geeignet und werden wie folgt gekennzeichnet:

[102] Laut Angaben des Herstellers könnte ohne Weiteres auch die Anwendungsklasse Ib erreicht werden. Doch da für „Earthbound“ derzeit der Hauptanwendungsfall der Lehmmauersteine im Gebäudeinneren gesehen wird, sind diese erhöhten Anforderungen der Anwendungsklasse Ib nicht erforderlich.

Lehmstein (LS) – tragend – DIN 18945 – p 5 – II – 2,2 – S (295 × 140 × 90)[103]

Beispiel 2: „*BC-Materials*“ in Brüssel

Das Unternehmen „*BC-Materials*“ aus Belgien produziert ebenfalls Lehmbaustoffe aus Bodenaushub das aus der Region um Brüssel stammt. Hergestellt werden dabei Lehmmauersteine sowie Mischungen für Lehmmauermörtel, Lehmputzmörtel und Stampflehm.

Die angebotenen Lehmmauersteine sind dabei für den tragenden und nicht-tragenden Einsatz anwendbar, wobei der tragende Lehmmauersteine eine Druckfestigkeitsklasse 2 sowie eine Anwendungsklasse II erreicht und nach DIN 18945 folgendermaßen gekennzeichnet wird:

Lehmstein (LS) — tragend — DIN 18945 — f 2 — II — 1,8 — 6,5 × 10,5 × 21,8[104]

Für den Lehmmauermörtel wird eine Festigkeitsklasse M2,5 angegeben und wie folgt nach DIN 18946 bezeichnet:

Lehmmauermörtel (LMM) — DIN 18946 —0/2 (f) — M2,5 — 1,8[105]

Die Zusammensetzung der Ausgangstoffe ist je nach Lehmbauanwendung unterschiedlich, wobei generell immer der aufbereitete Bodenaushub mit fein- und grobkörnigen Zusatzstoffen zur Optimierung der Rezeptur vermischt wird.

Ähnlich wie zuvor im Berliner Projekt erfolgt die Herstellung der Lehmsteine über eine hydraulische Presse, wie die nachfolgende Abbildung 45 zeigt.

[103] Produktdatenblatt downloadbar unter https://www.eb.eco/site/assets/files/1044/earthbound_ls_datenblatt-1.pdf [Zugriff am 5.8.2026] sowie Produktdatenblatt für den Lehmmauermörtel ebenfalls downloadbar unter https://www.eb.eco/site/assets/files/1050/earthbound_lmm_datenblatt.pdf

[104] Produktdatenblatt downloadbar unter https://odoo.bcmaterials.org/odoo/documents/2TvA9RLQTIOvCB3sOrhqvAo2c [Zugriff am 5.8.2026]

[105] Produktdatenblatt downloadbar unter https://odoo.bcmaterials.org/odoo/documents/zHNMEY4QRMOdS3POLkcEgAo28 [Zugriff am 5.8.2026]



Abbildung 45 – Produktionsstätte von BC-Materials

Die beiden angeführten Beispiele zeigen anschaulich, wie ein erster Schritt zur Optimierung des Herstellungsprozesses gestaltet werden könnte. Aus bereits vorhandenen Aufbereitungstechnologie wie etwa jenen von Kieswerken könnte der Bodenaushub zunächst gebrochen und gesiebt werden. Anschließend könnte eine Homogenisierung über einen Kollergang mit darauffolgenden Mauken (Einsumpfen) erfolgen. Auch dieser Schritt ist ähnlich jenen für die Herstellung von gebrannten Ziegeln. Über einfache hydraulische Hubpressen unter Zuhilfenahme entsprechender Materialfördersysteme könnten schließlich Lehmsteine hergestellt werden. Über diesen Prozess könnten einfache Automatisierungsanlagen entworfen werden, die mobil sind und so auch für den Einsatz auf Kleinbaustellen denkbar wären. Die Entwicklung einer solchen Anlage könnte über ein weiteres eigenständiges Forschungsprojekt erfolgen, um Produktionsanlagen analog zu den vorgestellten Beispielen aus Belgien und Deutschland schaffen zu können.

7.2.2 Herstellung der Lehmsteine

Wie die Ergebnisse bei Eintragung der typischen Waldviertler Bodentypen in das Texturdreieck zeigen, liegen gerade die häufigsten Bodentypen – Felsbraunerde sowie Gleye – im Bereich für die Verwendung als Lehmmauersteinen oder Stampflehm. Sollte entsprechender Tonanteil fehlen, so eignen sich gerade Reliktböden dafür, die in der Regel einen höheren Tonanteil aufweisen, um so dieses Defizit entsprechend ausgleichen zu können.

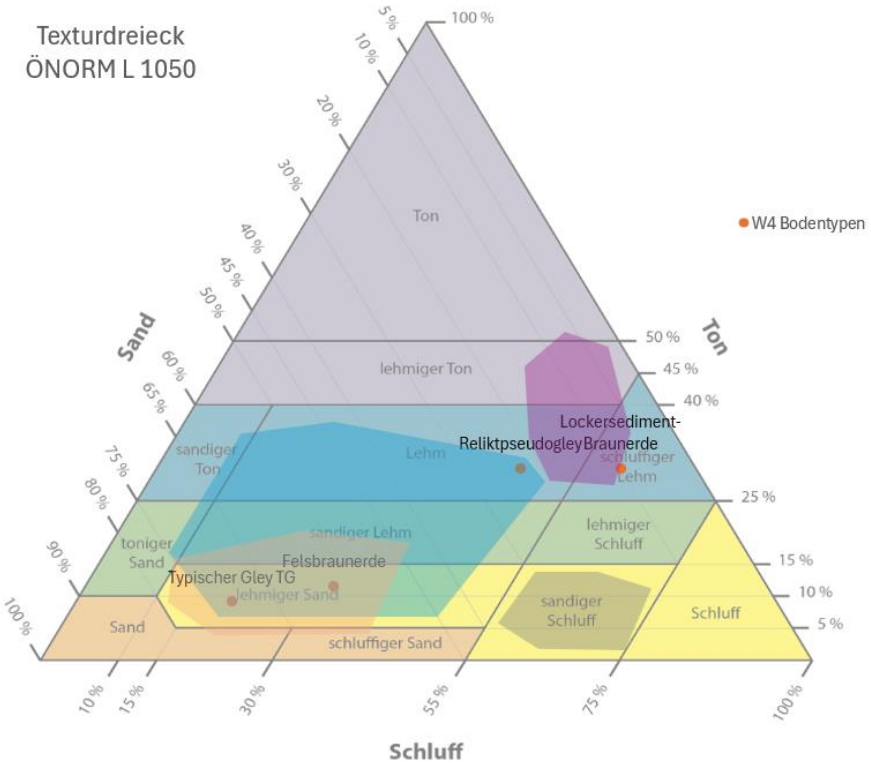


Abbildung 46 – Waldviertler Bodentypen sowie typische Lehmanwendungen: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett)

In diesem Forschungsprojekt wurden vor allem folgende Bodentypen untersucht:

- Braunerde mit BL02, BL03, BL10
- Reliktböden mit BL11
- Gleye mit BL04, BL05, BL09, BL12

Dazu nochmals für diese Baulehme das entsprechende Texturdreieck, siehe Abbildung 47. Aus diesem lässt sich bestätigen, dass die zuvor genannte Zuordnung übertragbar ist und die Baulehme für den Lehmmauerstein anwendbar sind.

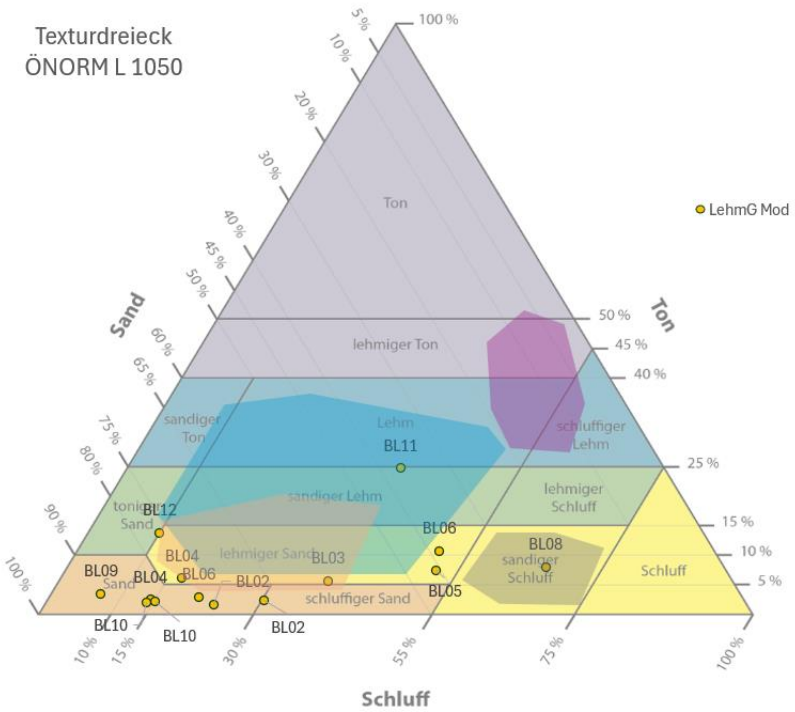


Abbildung 47 – Untersuchten Baulehme und mögliche Lehmsteinanwendungen: formgeschlagene/-gepresste Lehmsteine (hellblau), Stampflehm (orange), Lehmputz- und Lehmmauermörtel (grau) und Lehmspritzmörtel (violett)

Daher liegt es auf der Hand, um eine optimalen Lehmmischung für die Herstellung der Lehmsteine erzielen zu können, gerade diese oben angeführten Baulehme zu verwenden, wobei BL 11 (ein Reliktboden) vor allem die Funktion übernimmt, den Tonanteil in der Lehmmischung entsprechend zu erhöhen. Damit wurden folgende Mischung hergestellt, siehe Tabelle 46:

Tabelle 46 – Mischungsverhältnis der verwendeten Ausgangsstoffe für die Herstellung der Lehmmauersteine

Baulehm	**Bodentyp**	**Raumteil**
BL 03	Felsbraunerde	0,20
BL 05/09	Gleye	0,30
BL 12	Gleye	0,10
BL 08	Schwarzerde	0,20
Mineralische Zusatzstoff (GK0/4)	-	0,10
BL 11	Reliktböden	0,10

Diese Mischung wurde nun homogenisiert, durch Wasserzugabe eingesumpft und anschließend für mehrere Tage entsprechend gemaukt.

Anschließend wurden die Lehmmauersteine mit einem Wassergehalt von 21,7% mit Hilfe der CINVA-Handpresse hergestellt und bei 23°C und 50% bis zur Massenkonstanz getrocknet.

7.2.3 Erzielte Produkteigenschaften der Lehmsteine

Nach Erreichen der Massenkonstanz wurden die Lehmsteine nochmals auf deren Druckfestigkeit nach DIN 18945 geprüft. Die nachfolgende Tabelle enthält die Ergebnisse aus dieser Prüfung.

Tabelle 47 – Ergebnisse der Lehmsteinprüfung auf Druckfestigkeit

	Maße [mm]	**Druckfestigkeit [N/mm²]**
Lehmstein 1	247 x 123	5,0
Lehmstein 2	251 x 121	4,5
Lehmstein 3	251 x 125	4,3
Lehmstein 4	257 x 127	4,7
Ergebnis		**Mittelwert: 4,6 kleinster Einzelwert: 4,3**

Dies ergibt nach DIN 18945 eine Druckfestigkeitsklasse 3, mit einem laut Norm Mittelwert von 3,80N/mm² und kleinsten Einzelwert von 3,0N/mm². Die nachfolgende Abbildung 48 zeigt zwei Lehmmauersteine aus der zuvor beschriebenen Prüfserie nach Erreichen der Massenkonstanz.



Abbildung 48 – Lehmsteine aus der Serie LehmSample

Ferner wurden die Steine auch auf dessen Verhalten bei Wassereinwirkung näher untersucht. Dabei wurde der Tauchversuch nach DIN 18945 angewendet, um zu prüfen, ob durch die veränderte Rezeptur der Lehmmischung mit einem erhöhten Tonanteil, tatsächlich sich eine Verbesserung für diese Prüfanforderung einstellt.

Tabelle 48 – Ergebnisse der Lehmsteinprüfung auf Verhalten bei Wassereinwirkung

	Masse Lehmstein [g]	**Masseverlust [g]**	**Tauchverlust**
Lehmstein 1	3172	103,0	3,25%
Lehmstein 2	3110	96,6	3,11%
Lehmstein 3	3109	78,7	2,53

Ergebnis			**Mittelwert: 2,96%**

Die Prüfergebnisse zeigen deutlich, dass der Tauchverlust im Mittel bei 3% liegt und damit die Anwendungsklasse Ia und Ib nach DIN 18945 erreicht werden konnte. Nach dieser Norm ist das dann der Fall, wenn der Tauchverlust unter 5% ist.

Die nachfolgende Abbildung 49 zeigt anschaulich, den geringen Materialverlust nach der Tauchprüfung.



Abbildung 49 – Probekörper nach der Tauchprüfung

Daher konnte durch diese Versuchsreihe auch nachgewiesen werden, dass durch entsprechende Anpassung der Ausgangsstoffe im speziellen durch die Erhöhung des Tonanteiles im Lehmmauerstein, die Tauchprüfung bessere Ergebnisse anzeigte und die Lehmmauersteine so die Anwendungsklasse I erreichten.

7.3 Lehmmauermörtel nach DIN 18946

7.3.1 Allgemeines

Auch für die Verwendung des Lehmmörtels wurde für den „*LehmSample – Praxisnachweis*“ auf Baulehme des Projektgebiets zurückgegriffen und dies aufbauend auf den Erkenntnissen der Eignungs- und Detailprüfung sowie der in diesem Forschungsprojekt entwickelten Entscheidungsmatrix.

Wie die Abbildung 47 zeigt, ergaben die Ergebnisse aus dem Texturdreieck, dass für Lehmmörtel speziell der Baulehm BL08 besonders geeignet ist. Aus diesem Grund wurde dieser Baulehm für die Verwendung als Lehmmauermörtel herangezogen und in weiterer Folge ein mit diesen Ausgangsstoff optimale Rezeptur entwickelt.

7.3.2 Herstellung des Lehmmauermörtels

Der Ausgangsstoff Baulehm BL08 zeigt zunächst, dass dessen Korngrößenverteilung für einen Lehmmörtel eine optimale Grundzusammensetzung der einzelnen Kornfraktionen aufweist, siehe folgende Abbildung 50:

- Die Fraktion des Grobkorns ist mit 25% relativ gering und beinhaltet darüber hinaus nur Korngrößen aus der Sandfraktion. Dieser Umstand ermöglicht es, dass für das Ausgangsmaterial keine Siebung notwendig war.
- Ferner teilt sich der Feinkornbereich in einen mit 67% hohen Schluffanteil und 8%igen Tonanteil auf, das wiederum zu hohen Festigkeitswerte führte mit 7,4N/mm² für die Druckfestigkeit und 1,9N/mm² für die Biegezugfestigkeit (mit einem Wassergehalt bei Normsteife), ebenso eine hohe Bindekraft mit 363 g/cm², jedoch daraus resultierend auch eine hohes lineares Trockenschwindmaß mit 3,1%.

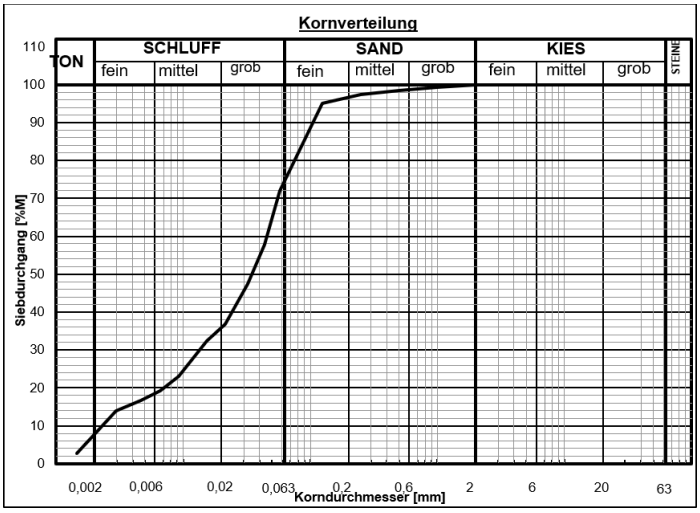


Abbildung 50 – Korngrößenverteilung Baulehm 08

Das ergibt in Summe folgende Herausforderungen. Die zuvor genannten Kennwerte konnte bei einem Prüfmaterial mit einem sehr geringen Wasserhalt erzielt werden, der annähernd bei der Ausrollgrenze lag. Dies wiederum wäre für die Verarbeitbarkeit als Lehmmauermörtel zur Herstellung eines Lehmmauerwerkes eine zu steife Konsistenz.

Daher muss der Wassergehalt entsprechend erhöht werden, das wiederum zu einer Zunahme des Trockenschwindmaßes führen würde. Dies kann wiederum über eine entsprechende Abmagerung bzw. bei Verwendung einer Faserbewehrung (hier gelten nach DIN 18946 auch höhere Grenzwerte für das Schwindmaß) entsprechend korrigiert werden.

Aus diesem Grund war es zunächst notwendig die optimale Lehmmischung für einen Lehmmauermörtel zu finden, der dann auch für ein tragendes Lehmmauerwerk eingesetzt werden kann. Bei der Einstellung des Wassergehaltes wurde darauf geachtet, eine Lehmmischung zu schaffen, die für die Herstellung des Lehmmauerwerkes eine ideale Verarbeitbarkeit aufweist.

Anschließend wurden die Prüfprismen wieder auf das Lineare Trockenschwindmaß, Biegezug- und Druckfestigkeit geprüft, siehe Abbildung 51.



Abbildung 51 – Korngrößenverteilung Baulehm 08

7.3.3 Erzielte Produkteigenschaften des Lehmmauermörtels

Die Tabelle 49 zeigt die Entwicklungsschritte der einzelnen Mischungsverhältnisse sowie die dazugehörigen Prüfergebnisse für Wassergehalt, Lineares Trockenschwindmaß und Festigkeitswerte, um schlussendlich die optimale Mischung für einen Lehmmauermörtel einstellen zu können.

Tabelle 49 – Verwendete Lehmmischungen sowie dazugehörigen Ergebnisse der Lehmmauermörtel-Prüfung nach DIN 18946

LNr.	Zusammen-setzung der Mischung	Raumteile der Mischung	Wassergehalt [%]	Lineares Trocken-schwindmaß	Biegezug-festigkeit [N/mm²]	Druck-festigkeit [N/mm²]
26018	BL 08 GK 0/2	0,75 0,25	27,5%	6,7%	1,6N/mm²	5,2 N/mm²
26020	BL 08 GK 0/2	0,75 0,25	19,4%	3,6%	1,3N/mm²	3,3 N/mm²
26021	BL 08 GK 0/2	0,5 0,5	19,3%	3,2%	1,5N/mm²	4,2 N/mm²
26022	BL 08	0,5	–	2,8%	1,0N/mm²	3,2 N/mm²

	GK 0/2 Strohfasern	0,5 0,25				
26023	BL 08 GK 0/2	1,0 1,5	20,6 %	2,3%	1,2N/mm²	2,5 N/mm²
26024	BL 08 GK 0/2	1,0 2,0	19,5 %	1,9%	1,1N/mm²	2,2 N/mm²

Damit konnte über die durchgeführten Voruntersuchungen betreffend Wassergehalt sowie optimale Zusammensetzung der Ausgangstoffe folgende Baulehmmischung für den Lehmmörtel eingestellt werden:

- Baulehm 08 mit einem Raumteil von 1
- Größtkorn 0/2 mit einem Raumteil von 2.

7.4 Prüfung des Lehmmauerwerks

7.4.1 Allgemeines

Wie einleitend erwähnt, war die Aufgabenstellung des Arbeitspaketes 6 einen Praxisnachweis für das Bauen mit Lehm durchzuführen. Dieser Nachweis wird über die Tragfähigkeitsuntersuchung an einem Lehmmauerwerk in Anlehnung an ÖNORM EN 1052-1 durchgeführt.

Nach dieser Norm orientieren sich die Maße für den Prüfkörper über die Sichtfläche des Mauersteins. Im Fall von Mauersteinen mit einer Steinlänge kleiner 300mm sowie Höhe kleiner 150mm ergibt das folgende Probekörperabmessungen, siehe auch Abbildung 52:

- Länge ≥ 2 x Steinlänge
- Höhe ≥ 5 x Steinhöhe
- Breite ≥ Steinbreite.

Diese Vorgaben wurden in weiterer Folge für die Herstellung des Prüfkörpers übernommen.

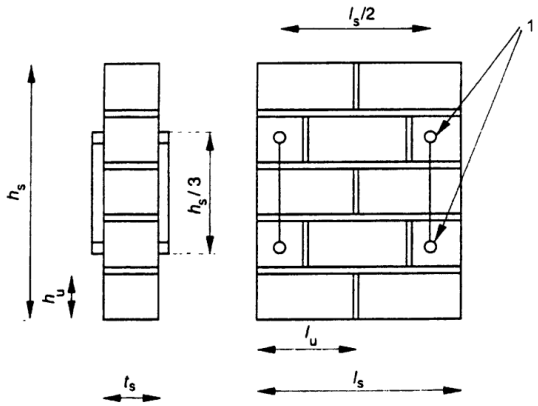


Abbildung 52 – Mauerwerksprüfkörper

7.4.2 Herstellung des Lehmmauerwerk-Prüfkörpers

Für die Durchführung der Festigkeitsprüfung wurde ein Lehmmauerwerk-Probekörper gemäß ÖNORM EN 1052-1 mit den Lehmsteinen aus 7.2 sowie Lehmmauermörtel aus 7.3 errichtet. Die Abbildung 53 zeigt den Prüfkörper unmittelbar nach dessen Herstellung.



Abbildung 53 – Fertiggestelltes Lehmmauerwerk gemäß ÖNORM EN1052-1

Die Fugendicke wurden sowohl für die Lagerfuge als auch für die Stoßfuge mit ungefähr 15mm gewählt. Vor dem Einbau wurden die Lehmsteine an den Fugenkontaktflächen leicht vorgenässt.

Für die Lasteinleitung wurden an der Unterseite ein Stahl U-Profil verwendet bzw. an der Oberseite ebenfalls eine Stahlplatte aufgelegt. Um eine gleichmäßige Lasteinleitung sicherzustellen, wurden sowohl an der Ober- als auch an der Unterseite eine dünne Zementausgleichsschicht vorgesehen.

Die Durchführung der Versuche erfolgte wegregelt mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,4 mm/min an einer 500kN Universalprüfmaschine. Somit kann sichergestellt werden, dass der Bruch nach 15 bis 30 Minuten gemäß ÖNORM EN 1052-1 eintritt.

Die Abbildung 54 zeigt den Probekörper eingebaut in der Prüfmaschine unmittelbar vor Start der Druckprüfung.

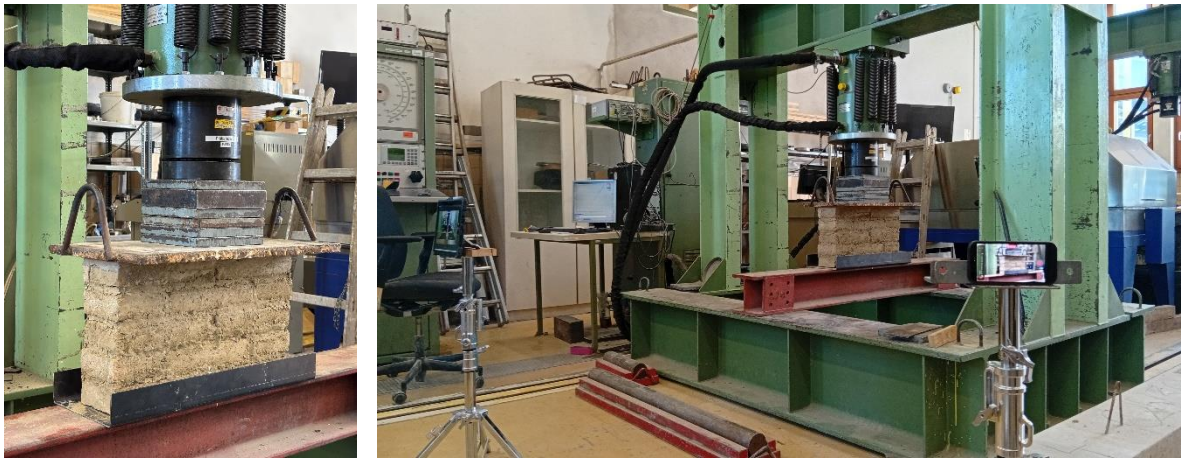


Abbildung 54 – Mauerwerksprüfkörper eingebaut in der Universalprüfmaschine

7.4.3 Durchführung und Ergebnisse der Lehmmauerwerk-Prüfung

Die Durchführung erfolgte anlog den Vorgaben aus ÖNORM EN 1052-1, dabei wurden während des Prüfvorganges folgende Messungen bzw. Aufzeichnungen durchgeführt:

- Abmessung der belasteten Querschnittsfläche A des Prüfkörpers in mm
- Höchstlast F_{max} in kN
- Zeitdauer von Belastungsbeginn bis zum Erreichen der Höchstlast.[106]

Die Berechnung der Druckfestigkeit erfolgt nach folgender Formel:

$$f_l = \frac{F_{max}}{A}$$

f_l Druckfestigkeit des Mauerwerksprüfköper in N/mm²

Das Versagen des Lehmmauerwerkes trat nach 23 Minuten beim Erreichen einer maximalen Traglast von 84,87kN.

Die nachfolgenden Abbildung 55 zeigt das Lehmmauerwerk nach dem Versagen.

[106] Vgl. (ÖNORM EN 1052-1, 1999, S. 7)



Abbildung 55 – Mauerwerksprüfkörper nach dem Versagen

Damit können abschließend für den durchgeführten Versuch folgende Ergebnisse für den Prüfkörper angeschrieben werden:

Tabelle 50 – Ergebnisse Lehmmauerwerk-Prüfung nach ÖNORM EN 1052-1

LNr.	Probekörper	Zeitdauer [min]	Traglast $F_{i,max}$ [kN]	Querschnitts-fläche A_i [mm²]	Druckfestigkeit [N/mm²]
26 007		23	84,87	58800	1,44

7.4.4 Vergleichsrechnungen

Im Folgenden werden die aus dem Versuch ermittelte Druckfestigkeit für ein Lehmsteinmauerwerk anhand von Vergleichsrechnung mit dem Eurocode 6 für das Mauerwerk sowie der Bemessungsnorm DIN 18940 für Lehmsteine näher betrachtet.

Dabei werden zum einen der Bemessungswert für die Druckfestigkeit von Mauerwerk f_d sowie der Bemessungswert für den vertikalen Tragwiderstand N_{Rd} berechnet.

Für die Berechnung des vertikalen Tragwiderstandes der Wand wird ein Verbandsmauer mit einer Wanddicke von 36cm angenommen.

<u>Bemessung nach DIN 18940</u>

Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit:

$f_k = K \cdot f_{st}^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$ f_k charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit in N/mm²

K, α, β Konstante mit $K = 0{,}95, \alpha = 0{,}585, \beta = 0{,}162$
f_{st} mittlere Steindruckfestigkeit in N/mm²
f_m Druckfestigkeit des Lehmmauermörtels in N/mm²
γ_M Teilsicherheitsbeiwert für das Material im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die geprüften Lehmsteine entsprechen der Druckfestigkeitsklasse 3. Damit ist zur Ermittlung von f_k nach DIN 18940 f_{st} mit 3,80 N/mm² und f_m mit 2,50 N/mm² anzusetzen.

Da für die Bemessung eine Verbandsmauerwerk angenommen wird ist abschließend die charakteristische Druckfestigkeit noch nach DIN 18940 mit 0,90 zu multiplizieren.

$$f_k = K \cdot f_{st}^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} \cdot 0{,}9 = 0{,}95 \cdot 3{,}8^{0{,}585} \cdot 2{,}50^{0{,}162} \cdot 0{,}9 = 2{,}17 N/mm^2$$

$$f_d = \zeta \cdot M \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

f_d Bemessungswert der Druckfestigkeit des Lehmsteinmauerwerks
ζ Dauerstandsfaktor ($\zeta = 1$ kurzzeitige Beanspruchung, $\zeta = 0{,}85$ dauernde Beanspruchung infolge von ständigen Lasten und veränderlichen Lasten)
M Umgebungsfeuchtefaktor abhängig von der Nutzungsklasse

Nutzungsklasse	Umgebungsfeuchtefaktor M
NKL 1	0,80
NKL 2	0,55

$$f_d = \zeta \cdot M \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} = 0{,}85 \cdot 0{,}80 \cdot \frac{2{,}17}{1{,}5} = 0{,}98 N/mm^2$$

Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands der Wand:

$$N_{Rd} = \Phi_S \cdot f_d \cdot A$$

N_{Rd} Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands der Wand
Φ_S Traglastfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte
A belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$N_{Rd} = \Phi_S \cdot f_d \cdot A = 0{,}333 \cdot 0{,}98 \cdot 360 \cdot 1000/1000 = 117{,}7 kN$$

<u>Bemessung nach ÖNORM EN/B 1996-3</u>

Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit:

$$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$$

f_k charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit in N/mm²

Die Beiwerte K, α, β werden dabei nach Norm für Mauersteine der Gruppe 1 (Gesamtlochanteil ≤ 25%) mit einem Normalmörtel angenommen.

$f_b = U \cdot \delta \cdot \overline{f_b}$

f_b normierte Druckfestigkeit in N/mm²
U Umrechnungsfaktor in eine äquivalente Druckfestigkeit für den lufttrockenen Zustand[107]
$\overline{f_b}$ ermittelte Druckfestigkeit aus Prüfung in N/mm²
δ Formfaktor nach Eurocode 6

Aus den Versuchen ergab sich eine mittlere Druckfestigkeit von 4,60N/mm² für den Lehmmauerstein und für den Lehmmauermörtel eine mittlere Druckfestigkeit von 2,20N/mm², damit kann die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit wie folgt ermittelt werden:

$$f_b = U \cdot \delta \cdot \overline{f_b} = 1{,}0 \cdot 0{,}8 \cdot 4{,}6 = 3{,}68 N/mm^2$$

$$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} = 0{,}60 \cdot 3{,}68^{0{,}65} \cdot 2{,}20^{0{,}25} = 1{,}70 N/mm^2$$

$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$

f_d Bemessungswert der Druckfestigkeit des Mauerwerks in N/mm²
γ_M Teilsicherheitsbeiwert für das Material im Grenzzustand der Tragfähigkeit[108]

$$f_d = \frac{1{,}70}{2{,}1} = 0{,}81 N/mm^2$$

Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands der Wand

$N_{Rd} = \phi_S \cdot f_d \cdot A$

N_{Rd} Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands der Wand
ϕ_S Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte
A belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$$N_{Rd} = \Phi_S \cdot f_d \cdot A = 0{,}40 \cdot 0{,}81 \cdot 360 \cdot 1000/1000 = 116{,}9 kN$$

<u>Bemessung über Versuchsergebnis nach ÖNORM EN 1052-1</u>

Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit:

$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$

f_d Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit in N/mm²
γ_M Teilsicherheitsbeiwert für das Material im Grenzzustand der Tragfähigkeit[108]

[107] Für Lehmmauersteine ist U = 1, da dieser bis zum Erreichen des lufttrockenen Zustands konditioniert wird.

[108] (Rischanek, Sicherheitskonzept für den Lehmsteinbau, 2009) gemäß dieser Untersuchung wurde analog der Teilsicherheitsbeiwert für Lehmsteine mit 2,10 festgelegt.

$f_d = \frac{1{,}44}{2{,}1} = 0{,}69 N/mm^2$

Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands der Wand:

$N_{Rd} = \phi_S \cdot f_d \cdot A$

N_{Rd} Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands der Wand
ϕ_S Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte
A belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand

$N_{Rd} = \Phi_S \cdot f_d \cdot A = 0{,}40 \cdot 0{,}69 \cdot 360 \cdot 1000/1000 = 99{,}0 kN$

Zusammenfassend zeigen die Vergleichsrechnungen anschaulich, dass eine Korrelation zwischen den unterschiedlichen Berechnungsmodellen vorhanden ist.

Vergleicht man die so erhaltenen Ergebnisse für den Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstands der Wand mit dem Bemessungswert zufolge eines zweigeschossigen Lehmbauwerkes am Beispiel der Forschungsarbeit von (Rischanek, 2009) so erfüllen alle drei Berechnungsmethoden den Nachweis auf eine vertikale Belastung der Wand.[109]

[109] (Rischanek, 2009) Der Bemessungswert der vertikalen Belastung der Wand N_{Ed} wurde in diesem Beispiel mit 90,4kN berechnet.

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN, EMPFEHLUNGEN UND AUSBLICK

Die folgenden Ergebnisse konnten im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelt werden:

- Nachweis, dass die digitale Bodenkarte („*eBOD*“) für den Lehmbau heranziehbar ist.
- Entwicklung einer Prüfmatrix zur Bewertung der Eignung von Aushubmaterial als Baulehm,
- Ableitung möglicher Einsatzgebiete für geeigneten Baulehm anhand der erstellten Entscheidungsmatrix (Lehmputz, Lehmmörtel, Lehmziegel, Stampflehm und Lehmschüttung)
- Schaffung einer Datengrundlage für die Programmierung einer webbasierten Applikation („*LehmApp*“) nach Projektabschluss zur raschen Prüfung der Lehmbautauglichkeit von Bodenaushub,
- Vertiefende Aufbereitung des Fachwissens zur Anwendung von Lehmbau über das Planungshandbuch „*LehmBuch*“
- Praxisnahe Überprüfung der Anwendbarkeit von Aushub als Lehmbaustoff im Rahmen von „*LehmSample*“.

Für Niederösterreich bedeutet das eine vertiefende Wissensaufbereitung zum Lehmbau sowie die Sicherstellung der Anwendbarkeit kreislauffähiger Baustoffe. Damit konnte eine Wissenslücke in dem so wichtigen Baubereich geschlossen werden. Das Forschungsprojekt trägt dazu bei, bessere Erkenntnisse über den regional verfügbaren klimaneutralen Baulehm als natürlicher Baustoff für den ein- und mehrgeschossigen Wohnbau in Niederösterreich zu erlangen. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass der Lehmbau im Projektgebiet Waldviertel vielseitig anwendbar ist, beispielsweise in Form von Lehmmauerwerk und Lehmputzarbeiten. Dies wurde über umfangreiche Prüfungen an verschiedenen Bodenaushubmaterialien belegt.

Als Ausblick und Ergebnis dieses Forschungsprojektes werden nun abschließend wichtige Punkte vorgestellt, die es ermöglichen würden, den Lehmbau in weiterer Folge noch allumfassender in das Baugeschehen für das Land Niederösterreich zu implementieren.

Generell ist festzuhalten, dass Lehmbau mit dessen Einfachheit in Planung und Ausführung besticht. Wie das Projekt weiters zeigte, ist auch für Regionen, wo man dies auf den ersten Blick nicht erwarten würde, wie das Waldviertel, ausreichend geeigneter Boden vorhanden. Damit handelt es sich um einen optimalen Baustoff, der auch die regionale Wertschöpfungskette entsprechend stärken könnte. Durch

dessen Einfachheit könnte bei einer entsprechenden Ausbildungsoffensive unterstützt etwa durch das Land Niederösterreich rasch das Know-how zum Lehmbau vermittelt werden und die Bauweise rasch in den Baualltag integriert werden. Dabei muss Lehm nicht immer als tragender Baustoff verwendet werden. Auch als nichtragendes Baumaterial in Kombination mit den konventionellen Konstruktionsmaterialien wie Holz, Stahl oder Stahlbeton kann Lehm als Ausfachungs- oder Wandfüllungselement in Skelettbauten verwendet werden. Auch auf diese Weise können relevante Baumassen aus Lehm realisiert werden und zugleich der Einsatz energie- und ressourcenintensiver Baustoffe reduziert werden.

Daher wäre zunächst die Verbreitung der Ergebnisse zur Charakterisierung des Baulehms für alle Stakeholder wesentlich. Dies sollte über Aus- und Weiterbildung der regionalen Bauunternehmen, Baumeister und weiteren Akteure der Bauwirtschaft erfolgen, um so die frühzeitige Erkennung und Bewertung des Potenzials von Bodenaushub für den Lehmbau mithilfe der entwickelten Prüf- und Entscheidungsmatrix sicherzustellen.

Um die Nutzung des lokalen Bodenaushubs als Lehmbaustoff zu forcieren, könnte auch das Angebot der unterschiedlichen Beratungsstellen des Landes Niederösterreich für Bauaktivitäten auf den Lehmbau erweitert werden. Dies könnte auch beispielsweise die Durchführung einfacher bodenmechanischer und geotechnischer Eignungsprüfungen umfassen. Denn entscheidend für die Etablierung des Lehmbaus ist es, niederschwelliger Angebote zu schaffen, die es privaten und öffentlichen Bauherrinnen ermöglichen, das Potenzial von Bodenaushub für die Verwendung als Lehmbaustoff frühzeitig zu erkennen und zu nutzen. Denn die Vorteile des Lehmbaus liegen auf der Hand, kein Baustoff überzeugt so wie Lehm, insbesondere in seiner hohen Kreislauffähigkeit und dem damit verbundenen Potenzial zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs. Darüber hinaus weist Lehm aufgrund seiner bauphysikalischen und raumklimatischen Eigenschaften besondere Potenziale für ein nachhaltiges und behagliches Bauen auf.

Darüber hinaus sollte die Forschung und Entwicklung einfacher Vor-Ort-Technologien („*Feldfabrik*“) vorangetrieben werden, mit der eine Aufbereitung und Verarbeitung von Bodenaushub zu Lehmbaustoffen direkt auf der Baustelle erfolgen kann. Im Idealfall könnte die Praxistauglichkeit der so gewonnenen Baustoffe durch die Errichtung eines Demonstrationsgebäudes nachgewiesen werden.

Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels sowie der zunehmenden Häufigkeit an Hitzetagen und Tropennächte bietet auch diese Bauweise genau die richtige Antwort, um auf diese neuen Umstände so energieeffizient wie nur möglich Lösungen anbieten zu können. Denn durch seine Eigenschaften Wärme speichern zu können und diese zeitverzögert an die Umgebung wieder

abzugeben, kann Lehm zur thermischen Stabilisierung von Innenräumen beitragen und dadurch im Sommer den Kühlenergiebedarf und im Winter den Heizenergiebedarf reduzieren. Dies gelingt durch die Kombination energieeffizienter Flächenheiz- und -kühlsysteme mit einer Wärmepumpe, die in Lehmwänden, -decken oder -fußböden integriert werden können. So ausgeführte Wohneinheiten können auch während Hitzeperioden ohne konventionelle, energieintensive Klimaanlagen auskommen. Würden diese Systeme noch kombiniert werden mit klugen Belüftungssystemen, wie aus anderen heißen Regionen bekannt bspw. der Technologie der Windtürme aus dem Iran, wären funktionierende energiearme und ressourcenschonende Kühlsysteme garantiert. Ergänzende Forschungsprojekte zu diesem Themenfeld könnten hierzu wertvolle Erkenntnisse liefern.

Aus dem genannten Punkten könnten konkret u. a. folgende weiterführende Forschungsprojekte nach „*NÖ LehmGuide*“ entwickelt werden:

- Breit angelegte Prüfreihen zur Ermittlung von Druck- und Biegezugfestigkeit nach ÖNORM EN 1052-1 und -2 für tragendes und nicht tragendes Lehmsteinmauerwerke hergestellt aus Lehmmauersteinen und Lehmmauermörtel aus Bodenaushub.
- Entwicklung von Feldfabriken zur Herstellung von für den typischen Waldviertler Boden optimalen Lehmbauanwendungen. Dazu zählen aus Braunerde Lehmmauersteine, sollte Tonanteil fehlen unter Zugabe von Reliktböden, sowie Lehmputzmörtel aus bspw. Lockersediment-Braunerde gemeinsam mit regionalen Unternehmen.
- Entwicklung einfacher Prüfverfahren für tragende und nichttragende Lehmmauersteine, die in Feldfabriken hergestellt werden, auf Basis bestehender Normen zur Sicherstellung der erforderlichen Qualitäts- und Rechtssicherheit.
- Entwicklung energieeffizienter Heiz- und Kühlsysteme mit flächig in Lehmwänden, -decken und -fußböden integrierten Niedertemperatur-Flächenheizungen in Kooperation mit regionalen Unternehmen.
- Praxisnachweis durch die Errichtung eines Demonstrationsgebäudes und dessen messtechnische Begleitung im Betrieb, um die Funktionsfähigkeit und Praxistauglichkeit der Bauweise zu evaluieren und anschaulich zu vermitteln.
- Durchführung von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen für alle relevante Akteur der Bauwirtschaft zur Vermittlung von Fachwissen und zur Förderung der Akzeptanz des Lehmbaus in Niederösterreich.

9 VERZEICHNISSE

9.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2 – Systematik der Böden für das Waldviertel 20
Tabelle 3 – Bodenarteneinteilung nach Österreichischer Bodenkartierung 22
Tabelle 4 – Einteilung der Grobanteile nach Österreichischer Bodenkartierung 22
Tabelle 5 – Einteilung der Menge des Grobanteils nach Österreichischer Bodenkartierung 23
Tabelle 6 – Einteilung des Humusgehaltes nach Österreichischer Bodenkartierung 23
Tabelle 7 – Einteilung des Kalkgehaltes nach Österreichischer Bodenkartierung 23
Tabelle 8 – Einteilung des Humusgehaltes nach ÖNORM EN ISO 14688-2 24
Tabelle 9 – Einteilung des Kalkgehaltes nach ÖNORM EN ISO 14688-2 24
Tabelle 10 – Einteilung der Bodenreaktion nach Österreichischer Bodenkartierung 24
Tabelle 11 – Zusammenstellung der Entnahmestellen 28
Tabelle 12 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL02 30
Tabelle 13 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL03 31
Tabelle 14 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL04 32
Tabelle 15 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL05 33
Tabelle 16 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL06 34
Tabelle 17 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL08 35
Tabelle 18 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL09 36
Tabelle 19 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL10 37
Tabelle 20 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL11 38
Tabelle 21 – Geologische und bodenkundliche Daten für Baulehm BL12 39
Tabelle 22 – Handtests nach ÖNORM EN ISO 14688-1 45
Tabelle 23 – Zusammenfassung der Prüfparameter und -verfahren, Klassen und Anforderungen für die Kennzeichnung eines Bauproduktes „Baulehm“ 50
Tabelle 24 – Vorherrschende Bodentypen des Waldviertels 55
Tabelle 25 – Deutschsprachige Lehmbaunormen 61
Tabelle 26 – Weltweit gültige Lehmbaunormen 63
Tabelle 27 – Gegenüberstellung geotechnische Plastizität und lehmbautechnische Bindekraft 67
Tabelle 28 – Bauphysikalische Werte für Lehmbaustoffe abhängig von der Rohdichte 71

Tabelle 29 – Eigenschaften von Lehm im Vergleich zu anderen Baustoffen 71
Tabelle 30 – Verarbeitung der Lehme nach (Niemeyer, 1987) 81
Tabelle 31 – Anwendungsformen anhand einfacher Baulehmklassifikation nach Lehmbau-Regeln . 82
Tabelle 32 – Anwendungsformen anhand der Baulehmklassifikation nach (Schröder, 2019) 84
Tabelle 33 – Grundlage für die Entscheidungsmatrix 90
Tabelle 34 – Zusammenstellung der untersuchten Baulehm 101
Tabelle 35 – Zusammenstellung der untersuchten Baulehm 104
Tabelle 36 – Zusammenstellung Prüfserie 1 Lehmmauersteine, Mischungsverhältnis und Prüfergebnisse..... 107
Tabelle 37 – Zusammenstellung Prüfserie 2 Lehmmauersteine, Mischungsverhältnis und Prüfergebnisse..... 109
Tabelle 38 – Zusammenstellung der Lehmmörtel-Mischungen..... 112
Tabelle 39 – Zusammenstellung der Ergebnisse für die Prüfserie 1 Lehmmauermörtel..... 114
Tabelle 40 – Ergebnisse Eignungsprüfung der Baulehme und Prüfserie 1 für Lehmmauermörtel.... 115
Tabelle 41 – Zusammenstellung der Ergebnisse für die Prüfserie 1 Lehmputzmörtel 116
Tabelle 42 – Ergebnisse Eignungsprüfung der Baulehme und Prüfserie 1 für Lehmputzmörtel 116
Tabelle 43 – Lineares Trockenschwindmaß von Versuchsserie 1 bis 3..... 117
Tabelle 44 – Ergebnisse aus Versuchsserie 1 (S1) und 3 (S3) für Lehmmauermörtel..... 118
Tabelle 45 – Ergebnisse aus Versuchsserie 1 (S1) und 3 (S3) für Lehmputzmörtel 119
Tabelle 46 – Lineares Trockenschwindmaß von Versuchsserie 1 bis 3..... 120
Tabelle 47 – Mischungsverhältnis der verwendeten Ausgangsstoffe für die Herstellung der Lehmmauersteine 134
Tabelle 48 – Ergebnisse der Lehmsteinprüfung auf Druckfestigkeit..... 135
Tabelle 49 – Ergebnisse der Lehmsteinprüfung auf Verhalten bei Wassereinwirkung 135
Tabelle 50 – Verwendete Lehmmischungen sowie dazugehörigen Ergebnisse der Lehmmauermörtel-Prüfung nach DIN 18946 138
Tabelle 51 – Ergebnisse Lehmmauerwerk-Prüfung nach ÖNORM EN 1052-1..... 142

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 01 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 02 Quelle: (Finger & Schubert, 2015, S. 170)

Abbildung 03 Quelle: www.bodenkarte.at [Zugriff am 8.11.2024]

Abbildung 04 Quelle: www.bodenkarte.at [Zugriff am 8.11.2024

Abbildung 05 Quelle: (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, 2023), (ÖNORM L 1050, 2016)

Abbildung 06 Quelle: Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich, Statusbericht 2025

Abbildung 07 Quelle: (Rowell, 2013)

Abbildung 08 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 09 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 10 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 11 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 12 Quelle: (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019, S. 13)

Abbildung 13 Quelle: (ÖNORM EN ISO 14688-2, 2019, S. 13)

Abbildung 14 Quelle: (Schröder & Lehmke, Lehm im Baustoffkreislauf, 2025, S. 8), Abbildung 1.3

Abbildung 15 Quelle: (Minke, 2009), Bilder 6.5 und 6.25

Abbildung 16 Quelle: (Minke, 2009), Bild 5.2-1; http://netzwerklehm.at/lehmbau/haus-rauch/ [Zugriff: 30.12.2022]

Abbildung 17 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 18 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 19 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 20 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 21 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 22 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 23 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 24 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 25 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 26 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 27 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 28 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 29 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 30 Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 31 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 32 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 33 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 34 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 35 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 36 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 37 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 38 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 39 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 40 Quelle: Eigene Darstellungen
Abbildung 41 Quelle: Eigene Darstellungen
Abbildung 42 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 43 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 44 Quelle: https://www.linkedin.com/company/earthbound-berlin/posts/?feedView=all und https://www.eb.eco/ [Zugriff am 4.8.2026]
Abbildung 45 Quelle: https://bcmaterials.org/en/projects/fort-v-0 [Zugriff am 4.8.2026]
Abbildung 46 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 47 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 48 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 49 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 50 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 51 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 52 Quelle: Bild 1, (ÖNORM EN 1052-1, 1999)
Abbildung 53 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 54 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 55 Quelle: Eigene Darstellung
Abbildung 56 Quelle: Eigene Darstellung

9.3 Literaturverzeichnis

AushubVO. (Entwurf, 2026). *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft über die Verwertung und das Abfallende bestimmter Aushubmaterialien (Aushubverordnung).*

BM Land- und Forstwirtschaft, K. u. (2025). *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich, Statusbericht 2025 für das Referenzjahr 2023.* Wien.

Botti, G. (2023). A geopolitics of mud construction: Self-help and the CINVA Ram machine. doi:https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.07.002

Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023 Teil 1. (2023). *BM für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.* Wien.

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, N. u. (17. Januar 2023). *"eBOD", Digitale Bodenkarte Österreichs*. Abgerufen am 17. Janura 2023 von https://bodenkarte.at

DIN 18940, Tragendes Lehmsteinmauerwerk - Bemessung, Konstruktion und Ausführung. (2024). Berlin.

DIN 18942-1, Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe. (2023). Berlin: Beuth-Verlag.

DIN 18942-100, Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis. (2023). Berlin: Beuth-Verlag.

DIN 18945, Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. (2023). Berlin: Beuth-Verlag.

DIN 18946, Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. (2023). Berlin: Beuth-Verlag.

DIN 18947, Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. (2023). Berlin: Beuth-Verlag.

DIN 18948, Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. (2023). Berlin: Beuth-Verlag.

Fabbri, A. (2022). *Testing and Characterisation of Earth-based Building Materials and Elements.* Cham: Springer Verlag. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-83297-1

Finger, F., & Schubert, G. (2015). *Die Böhmische Masse in Österreich: Was gibt es Neues?* (Bd. 64). Wien: Geologische Bundesanstalt.

Fink, J. (1969). *Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs.* Wien: Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft.

Hauke, B. (2012). *Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz.* Wilhelm Ernst Verlag.

Heinrich, M., & Wimmer-Frey, I. (2009). Zur Geologie der Ton- und Lehmvorkommen Niederösterreichs. *Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Bank 80: NÖ Geotage Rohstoff - Landschaft - Mensch am Beispiel "Lehm"*, 11-14.

Minke, G. (2009). *Handbuch Lehmbau: Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur.* ökobuch.

Muñoz-Czerny, U., Rischanek, A., Dobra, T., Bauer, B., Dolezal, F., Breuss, A., & Lechner, C. (2026). *Erdbewegung, Lehm als klima- und ressourcenschonender Baustoff.* Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) .

Nestroy, O. (2011). *Österreichische Bodensystematik 2000.* Wien: Mitteilung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft.

Niemeyer, R. (1987). *Der Lehmbau und seine praktische Anwendung.* Freiburg: Ökobuch Verlag.

ÖNORM B 3346, Putzmörtel - Regeln für die Verwendung und Verarbeitung. (2019). Wien: Austrian Standards Institute .

ÖNORM EN 1052-1. (1999). *Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit.* Wien: Austrian Standards Institute.

ÖNORM EN 13914-2, Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Innenputze. (2016). Wien: Austrian Standards.

ÖNORM EN 1990. (2024). *Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung (konsolidierte Fassung).* Wien: Austrian Standards Institute.

ÖNORM EN ISO 14688-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung. (2020). 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 L 1050. (2016). *Boden als Pflanzenstandort, Begriffe und Untersuchungsverfahren.* Wien: Austrian Standards.

Pacheco-Torgal, F. (kein Datum). *Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction.* doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054

Rischanek, A. (2009). *Sicherheitskonzept für den Lehmsteinbau.* Wien: Technische Universität Wien, Dissertation.

Rischanek, A. (2022). *Normierung und Regelwerke in der Lehmbaupraxis.* Wien: Technische Universität Wien, Dissertation.

Röhlen, U., & Ziegert, C. (2020). *Lehmbau-Praxis: Planung und Ausführung.* Berlin: Beuth Verlag.

Rowell, D. (2013). *Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen.* Berlin: Springer-Verlag.

Saliba, J., Al-Shaar, W., & Delage, M. (2025). *Comparison of Field and Laboratory Tests for Soil Suitability Assessment in Raw Earth Construction.* Basel: MDPI.

Schnabel, W. (2002). *Geologische Karte von Niederösterreich 1:200.000.* Wien: Geologische Bundesanstalt.

Schröder, H. (2019). *Lehmbau, Mit Lehm ökologisch planen und bauen.* Wiesbaden: Springer Vieweg.

Schröder, H., & Lehmke, M. (2025). *Lehm im Baustoffkreislauf.* Wiesbaden: Springer Vieweg.

Steininger, F. (Hrsg.). (1999). *Erdgeschichte desWaldviertels.* Waidhofen/Thaya: Waldviertler Heimatbund.

Technische Empfehlung, Lehmputze – Teil 1: im Werk hergestellte Lehmputzmörtel . (2024). Wien: Netzwerk Lehm.

Technisches Merkblatt 05, Qualitätsüberwachung von Baulehm. (2011). Weimar: Dachverband Lehm e.V.

Verordnung (EU) Nr. 305/2011. (2011). *Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten.* Europäische Union.

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.

Berichtskontrolle	Bearbeiter	Bearbeiter
Operativer Leiter der CSVA Dipl.- Ing Klemens Pühringer	Prüfer Ermal Rystemi	Prüfer Dipl.-Ing. DDr.techn. BEd Andreas Rischanek