



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DISSERTATION

Normierung und Regelwerke in der Lehmbaupraxis

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Technischen Wissenschaften Architektur unter der Leitung von

ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-phil. Andrea Rieger-Jandl
E 251/1 Baugeschichte und Bauforschung
Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Dipl.-Ing. Dr.-techn. Andreas Rischaneck



Wien, am 1. Oktober 2022

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich einen speziellen Dank an meine Familie, Loida, Sara und Lucas, aussprechen, ohne deren Unterstützung, Geduld und motivierenden Worte diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Mein besonderer Dank gilt auch meiner Betreuerin, Frau Prof.ⁱⁿ Dipl.-Ing. Dr. Andrea Rieger-Jandl für die vielen interessanten Gespräche und engagierte Begleitung meiner Arbeit, im speziellen während meines Aufenthaltes in Ecuador.

Vielen herzlichen Dank.

KURZFASSUNG

Dem wohl ältesten Baustoff, der bis heute noch weltweit zur Anwendung gelangt, wird immer wieder vorgeworfen, dass seit Aufzeichnungsbeginn von Bauvorschriften es zum einen für diesen keine historisch belegbaren schriftliche Quellen existieren und zum anderen bis heute dieses Fehlen an normativen Regelungen eine gravierende Hürde für Baugenehmigungen speziell im öffentlichen Bereich darstellt. Es handelt sich dabei um das Baumaterial Lehm. Dieser ist weltweit so gut wie überall vorhanden und zeichnet sich bei seiner Anwendung über dessen kompletten Lebenszyklus als höchst nachhaltig aus im Sinne der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit und ist in seiner Ausführung einfach und universal anwendbar.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher zunächst im ersten Teil der Nachweis erbracht, dass sehr wohl eine erstaunliche Anzahl von teils sehr alten dokumentierten Quellen über den Lehmbau vorhanden ist. Denn schon ab dem Neolithikum konnte über die Untersuchung von alten Keilschriften nachgewiesen werden, dass man sich bereits Gedanken über eine optimierte Bauausführung von Lehmziegeln machte. Später lässt sich aus der Hochkultur der Ägypter über Hieroglyphen das damalige Wissen der Ägypter zur Lehmziegelherstellung nachvollziehen. Die Aufzeichnungen römischer Gelehrter liefern wiederum nicht nur einen umfangreichen Einblick zum Stand des Bauwissens zur Zeit der Römer, sondern auch über die hellenistische Baukultur. Denn deren Bücher verweisen immer wieder auf Publikationen griechischer Architekten. Und gerade ab der Spätantike und dem Mittelalter wurden diese römischen Texte immer wieder aufgegriffen und später auch vom Latein in die verschiedenen Landessprachen übersetzt. Ab dem 16. Jahrhundert bedeutete die nun wieder stärker einsetzende Bautätigkeit in Europa, dass es notwendig wurde, für den Baubereich Vorschriften bzw. Baugesetze zu erlassen. Dies betraf zunächst vor allem den gebrannten Ziegel betreffend Abmessungen, Qualität und Kennzeichnung und später gab es immer wieder Angaben auch für das Bauen mit Lehm. Doch nicht nur in Baugesetzen wurden Anforderungen für den Lehmbau beschrieben, sondern auch in technischen Fachbüchern setzte eine rege Publikationstätigkeit über die unterschiedlichen Lehmbautechniken ein. Die ersten österreichischen Landesbauordnungen nach 1848 enthielten dann noch genauere Angaben über den Lehmbau, die teilweise bis 1976 ihre Gültigkeit hatten. Es kann also mit Recht festgehalten werden, dass die Techniken für das Bauen mit Lehm seit Beginn der ersten Niederschriften zum Bauwesen stets mitberücksichtigt wurden, was durch umfangreiche historische Dokumente belegt ist.

Der zweite Teil der vorliegenden Arbeit behandelt den heutigen Stand über Normen bzw. Regelwerken zum Lehm- und Ziegelbau. Dabei wurde als erster Schritt eine Zusammenstellung sämtlicher derzeit weltweit gültiger Lehm- und Ziegelbaunormen vorgenommen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in dieser Arbeit unter Lehm- und Ziegelbau immer jener Baulehm verstanden wird, der wenn überhaupt nur mit organischen oder natürlichen mineralischen Zusatzstoffen ergänzt wird und dessen alleiniges Bindemittel Ton darstellt. Anschließend wurden diese Normen auf dessen Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiedlichkeiten in Hinblick auf Anforderungen an das Material, Planung und Ausführung überprüft. Neben diesen Lehm- und Ziegelbaunormen wurden parallel zusätzlich noch die in Österreich derzeit gültigen fachverwandten Baunormen, die für den Lehm- und Ziegelbau relevant sind, mitbetrachtet. Ziel dieser Analyse war es, festzustellen, ob es Sinn macht, einen einheitlichen weltweit gültigen Standard zum Lehm- und Ziegelbau zu verfassen. Es zeigte sich dabei, dass große Überschneidungen zu den wesentlichen Anforderungen zur Planung und Ausführung von Lehm- und Ziegelbauwerken durchaus vorhanden sind. Unterschiede ergaben sich lediglich auf Grund regionaler, klimatischer Bedingungen sowie Anforderungen an erdbebensicheres Bauen. Damit kann festgehalten werden, dass unter Berücksichtigung dieser regionalen Spezifikationen es durchaus interessant wäre, ein einheitliches weltweit gültiges Rahmenwerk für den Lehm- und Ziegelbau zu erstellen.

Im abschließenden dritten Teil dieser Arbeit wurde deshalb auf Basis der durchgeführten Normenanalyse ein „Normen-Leitfaden“ und ein „Normenvorschlag“ für den Lehm- und Ziegelbau zu den Themenbereichen Materialien, Planung und Ausführung erstellt. Der „Normen-Leitfaden“ ist dabei eine Normenliste zu den bereits vorhandenen Baunormen, die auch für den Lehm- und Ziegelbau ihre Gültigkeit aufweisen. Diese vorhandenen fachverwandten Normen zeigen klar, dass für den Lehm- und Ziegelbau bereits sehr viele normative Grundlagen vorhanden sind. Was fehlt ist ein Verbindungsglied zu diesen Normen mit ergänzenden, für den Lehm- und Ziegelbau spezifischen Anforderungen, um so endgültig die normative Lücke eines Regelwerkes für den Lehm- und Ziegelbau zu schließen. Der abschließend verfasste „Normenvorschlag“ für den Lehm- und Ziegelbau versucht genau dieser Anforderung gerecht zu werden.

ABSTRACT

Probably the oldest building material, which is still used worldwide today, is repeatedly accused of the fact that, on the one hand, there have been no historically verifiable written sources for it since building regulations began to be recorded and, on the other hand, this lack of normative regulations is a serious hurdle for building permits to this day especially in public areas. It is the building material clay. This is available almost everywhere in the world and, when used over its entire life cycle, is characterized as being highly sustainable in terms of ecological, economic and social sustainability and its execution is simple and universally applicable.

In this work, the first part is about the proof that there is indeed an astonishing number of partly very old, documented sources about earth building. Because already from the Neolithic it could be proven through the examination of old cuneiform scripts that one was already thinking about an optimized construction of adobe. Later, from the high culture of the Egyptians, hieroglyphs show the ancient knowledge of the Egyptians for producing adobe. The notes of Roman scholars not only provide a comprehensive insight into the state of building knowledge at the time of the Romans, but also about the Hellenistic building culture. Because their books repeatedly refer to publications by Greek architects. From late antiquity and the Middle Ages, these roman texts were taken up again and again and later also translated from Latin into the various national languages. From the 16th century onwards, building activity in Europe, which began again more strongly, meant that it became necessary to issue regulations for the building sector. Initially, this mainly affected fired bricks in terms of dimensions, quality and labeling and later there were also references to building with earth. However, requirements for earth building were not only described in building laws, but also in technical books there was a lively publication activity on the different earth building techniques. The first Austrian building regulations after 1848 then contained more detailed information on earth buildings, which were valid till 1976. So it can rightly be stated that the techniques for building with earth have always been taken into account since the beginning of the first writing on the building, which is proven by extensive historical documents.

The second part of the present work deals about the current status of standards and regulations for earth building. As a first step, all earth building standards currently valid worldwide were compiled. In this context, it should be noted that in this thesis earth building is always understood to be that building earth that is only supplemented with organic or natural mineral additives and whose only

binding agent is clay. These standards were then checked for their similarities or differences in terms of requirements for the material, planning and execution. In addition to these earth building standards, the related building standards currently valid in Austria that are relevant for earth building were also considered. The aim of this analysis was to determine whether it makes sense to write a uniform global standard for earth building. It showed that there are large overlaps with the essential requirements for planning and executing of earthen structures. The only differences arose due to regional, climatic conditions and requirements for earthquake-proof construction. It can thus be stated that, taking these regional specifications into account, it would be quite interesting to create a uniform global framework for earth building.

In the closing third part of this work based on the standards analysis a "*Normen-Leitfaden*" and a "*Normenvorschlag*" for earth building on the topic of materials, planning and execution were created. The "*Normen-Leitfaden*" contains a list of standards for the existing building standards that are also valid for earth building. These existing related standards show very good that there are already a lot of normative bases for earth building. What is missing is a link to these standards with additional requirements specific to earth building in order to finally close the normative gap in a set of rules for earth constructions. The proposed standard for earth building tries to meet precisely this requirement.

INHALT

KURZFASSUNG	3
ABSTRACT	5
INHALT	7
1 EINLEITUNG.....	12
1.1 Allgemeines.....	12
1.2 Methode	14
1.3 Begriffe	15
2 GESCHICHTE DES LEHMBAUS	17
2.1 Einführung	17
2.2 Weltweite historische Beispiele für den Lehmbau	19
2.2.1 Allgemeines	19
2.2.2 Urgeschichte (bis etwa 3000 v.Chr.)	20
2.2.3 Altertum (3000 v.Chr. bis 500 n.Chr.)	23
2.2.4 Mittelalter (ca. 500 bis 1500)	28
2.2.5 Neuzeit (ca. 1500 bis ca. 1900).....	34
2.2.6 20. Jahrhundert.....	43
2.3 Historische schriftlich belegbare Quellen für Regelungen zum Lehmbau.....	45
2.3.1 Keilschriften aus dem Neolithikum	45
2.3.2 Ägyptische Quellen	48
2.3.3 Griechische Quellen	51
2.3.4 Römische Quellen	53
2.3.5 Mittelalterliche Quellen	65
2.3.6 Neuzeitliche Gesetzestexte bis 1848	65
2.3.7 Publikationen zum Lehmbau bis 1848	76
2.3.8 Beispiele für Zeitungsartikeln zum Lehmbau im 19. Jahrhundert.....	85
2.3.9 Baugesetze bzw. Bauregelungen nach 1848	87
2.3.10 Wirtschaftskrise 1920 am Beispiel Siedlungsbau in Wien	96

3	ZUSAMMENSTELLUNG WELTWEIT GÜLTIGER NORMEN ZUM LEHMBAU	103
3.1	Einführung	103
3.2	Grundprinzipien der Normung	105
3.3	Übersicht weltweit gültiger Lehmbaunormen.....	107
3.3.1	Europa	110
3.3.2	Amerika	111
3.3.3	Asien	112
3.3.4	Australien	113
3.3.5	Afrika.....	113
3.3.6	Zusammenfassung	115
3.4	Europäische Lehmbaunormen.....	116
3.4.1	DIN Normen.....	116
3.4.2	Lehmbau-Regeln	121
3.4.3	ÖNORM EN 13914-2	124
3.5	Amerikanische Lehmbaunormen.....	126
3.5.1	ASTM E 2392	126
3.5.2	NMAC 14.7.4.....	127
3.5.3	NTE E.080.....	128
3.5.4	NEC-SE-VIVIENDA.....	130
3.6	Asiatische Lehmbaunormen	132
3.6.1	IS 13827	132
3.6.2	IS 2110	134
3.6.3	NBC 204	134
3.7	Neuseeland	135
3.7.1	NZS 4297.....	136
3.7.2	NZS 4298.....	138
3.7.3	NZS 4299.....	139
3.8	Afrikanische Lehmbaunormen	141
3.8.1	SADC ZW HS 983	141
3.8.2	ARS 670 bis ARS 683	142
3.9	Bestehende fachverwandte Normen	146
3.9.1	Prüfung von Bodeneigenschaften	147
3.9.2	Prüfung an das Mauerwerk.....	150

3.9.3	Zulassung von Bauprodukten.....	151
3.9.4	Bemessung und Konstruktion	153
3.9.5	Ausführung	155
3.9.6	Nachhaltigkeit.....	160
4	VERGLEICH DER WELTWEIT GÜLTIGEN LEHMBBAUNORMEN	162
4.1	Einführung	162
4.2	Ermittlung der Baulehmeigenschaften in Feldversuchen	166
4.2.1	Korngrößenverteilung	166
4.2.2	Rissprüfung.....	168
4.2.3	Trockenfestigkeit	170
4.2.4	Plastizität.....	172
4.2.5	Wassergehalt	175
4.2.6	Bindekraft.....	176
4.2.7	Festigkeitsprüfung.....	177
4.2.8	Organischer Anteil.....	179
4.2.9	Kalkgehalt.....	180
4.3	Ermittlung der Baulehmeigenschaften in Laborversuchen.....	183
4.3.1	Korngrößenverteilung	183
4.3.2	Dichte	188
4.3.3	Plastizität.....	192
4.3.4	Wassergehalt	197
4.3.5	Bindekraft.....	199
4.3.6	Biegezugfestigkeit	201
4.3.7	Druckfestigkeit.....	210
4.3.8	Schwindmaß	217
4.3.9	Wasser- und Frosteinwirkung	219
4.3.10	Sonstige Prüfungen	228
4.4	Materialkennwerte.....	234
4.4.1	Allgemeines	235
4.4.2	Übersicht zur Materialprüfung.....	235
4.4.3	Baustoff- und Bauteilwerte.....	237
4.5	Grundlegendes zur Planung und Ausführung	239
4.5.1	Allgemeines	239

4.5.2	Schutz gegen Feuchtigkeit	243
4.5.3	Fundament	247
4.5.4	Ringbalken	251
4.5.5	Gebäudeaussteifung.....	254
4.5.6	Wandöffnungen	256
4.5.7	Anschlüsse und Befestigung.....	260
4.6	Bemessung von Lehmgebäuden	262
4.7	Planung und Ausführung von Stampflehm.....	268
4.7.1	Abmessungen und Material	268
4.7.2	Ausführung des Stampflehms	271
4.8	Planung und Ausführung von Lehmziegel	276
4.8.1	Abmessungen und Material	276
4.8.2	Ausführung von Lehmziegel.....	278
4.8.3	Mörtel	280
4.9	Planung und Ausführung von Lehmputz	282
4.9.1	Allgemeines	282
4.9.2	Anwendungsbereich.....	282
4.9.3	Material und Ausführung.....	283
4.10	Erdbeben.....	285
4.10.1	Allgemeines	285
4.10.2	Erdbebenzonen	286
4.10.3	Abmessungen	288
4.10.4	Dach	290
4.10.5	Aussteifungen und Verstärkungen	291
4.11	Zusammenfassung.....	293
5	ABLEITUNG FÜR DIE LEHMBAUPRAXIS	297
5.1	Einführung	297
5.2	Normen-Leitfaden für den Lehmbau	300
5.2.1	Material.....	301
5.2.2	Planung und Ausführung	303
5.2.3	Werkvertragsnormen	304
5.3	Allgemeines zum Erstellen einer ÖNORM	305
5.3.1	Erarbeitungsschritte für eine Norm.....	305

5.3.2	Aufbau einer ÖNORM.....	306
5.4	Normvorschlag für den Lehmbau	307
5.4.1	Anwendungsbereich.....	308
5.4.2	Normative Verweise.....	308
5.4.3	Begriffe.....	310
5.4.4	Nutzungsdauer (Dauerhaftigkeit).....	311
5.4.5	Allgemeine wesentliche Anforderungen.....	311
5.4.6	Baustoffe / Material.....	314
5.4.7	Allgemeine Anforderungen für die Planung und Ausführung	317
5.4.8	Planung und Ausführung von Lehmziegel.....	319
5.4.9	Planung und Ausführung von Stampflehm	323
5.4.10	Planung und Ausführung von Lehmputz.....	325
5.4.11	Inspektion, Wartung und Instandhaltung.....	325
5.4.12	Anhang A – Erdbebensicheres Bauen mit Lehm (normativ).....	326
5.4.13	Anhang B – Dimensionierung eines wirksamen Dachüberstand (informativ)	327
5.4.14	Anhang C – Bewertung der Dauerhaftigkeit von Lehmbauwerken nach NZS 4297 (informativ).....	328
5.4.15	Anhang D – Bewitterungstest einer Lehmwand nach NZS 4298 (informativ).....	328
5.4.16	Anhang E – Ermittlung Biegezugfestigkeit im Feld (informativ).....	329
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	332
7	VERZEICHNISSE.....	334
7.1	Abbildungsverzeichnis	334
7.2	Tabellenverzeichnis	337
7.3	339

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Bis heute wird noch oft als Argument gegen das Bauen mit Lehm angeführt, dass es sich dabei nur um eine alte, historische Bauweise handelt, die zwar in ökologischer und bauphysikalischer Sicht vielen modernen Baustoffen klar überlegen ist, jedoch ein wesentliches Manko seit jeher und das bis heute aufweist, nämlich das Fehlen von einheitlichen Regelwerken, Richtlinien oder gar Normen. Es wird dabei das Argument angeführt, dass es sich hierbei um eine Art „*anonyme Architektur*“ handelt.

Unter dem Begriff „*anonyme Architektur*“ wird in dieser Arbeit nicht wie von Rudofsky¹ definiert eine Architektur verstanden, bei der der Entwurfsverfasser nicht dokumentiert ist bzw. der Öffentlichkeit nicht bekannt ist, sondern wie es um den Wissenstransfer zur verwendeten Bautechnik steht. Die Fragestellung lautet, ob das Bauwissen öffentlich nachvollziehbar dokumentiert wurde oder nicht. Beim Lehmbau herrschte lange die Fachmeinung vor, dass das Wissen zu dieser Bautechnik ausschließlich mündlich von Generation zu Generation weitergegeben worden ist, ohne dass es schriftlich festgehaltene Festlegungen/Anforderungen je dazu gegeben hätte. Die Frage ist, ob das in der Form tatsächlich so stimmt.

Betrachtet man die Baugeschichte, so ist ja das Bauen mit Lehm eine der ältesten Bautechniken. Schon seit mehreren Jahrtausenden wird diese Technik erfolgreich angewendet und das weltweit bis heute. Da drängt sich die Frage auf, ob es nicht doch in dieser langen Baugeschichte von den diversen Baulehrten einmal die Überlegung gab, im Sinne der Dokumentierung bzw. Nachvollziehbarkeit diese vorherrschende Bautechnik schriftlich zu erfassen. Dazu sollen im ersten Teil der Arbeit u.a. folgende Fragestellung untersucht werden:

- Welche historischen Bauvorschriften oder Regelungen gab es früher.
- Und im Speziellen für den Lehmbau, welche Lehmbauregeln und -normen existierten.

¹ Vgl. Bernhard Rudofsky, *Eine Einführung in die anonyme Architektur*, Niederösterreichisches Pressehaus, 1989

Im zweiten Teil der Arbeit werden dann die heute weltweit gültigen Normen für den Lehm- bau zunächst nach den unterschiedlichen Regionen zusammengestellt. Denn gibt es zwar in Europa nur eine eher überschaubare geringe Anzahl von Regelwerken (u.a. Deutschland, Frankreich, Spanien), so verhält es sich in anderen Weltregionen durchaus anderes. Wohl eines der besten Regelwerke zum Lehm- bau stellt aktuell jenes aus Neuseeland dar. Diese Normen (NZS 429x) beschreiben in drei Teilen ausführlich die Planung, Bemessung, Prüfung und Ausführung von Lehm- bauwerken in den unterschiedlichsten Ausführungsformen. Aus Amerika sind vor allem viele Regelwerke aus Südamerika bekannt, die sich stark dem Thema rund um ein effektives Bauen mit Lehm bei Erdbebenbeanspruchung widmet. Und in Asien sind es im Wesentlichen die indischen Normen, die einen ausgezeichneten Standard zum Lehm- bau repräsentieren. Alle diese internationalen Normen werden in dieser Arbeit im nächsten Schritt untereinander verglichen. Im Zuge dieses Vergleiches soll geklärt werden, wie diese unterschiedlichen Standards auf deren spezifischen Regionalität reagieren, beispielsweise auf unterschiedliche Klimazonen (wie tropische und gemäßigte Klimazonen) oder Naturgefahren (z.B. erhöhter Erdbebengefahr in Südamerika). Dazu sollen u.a. folgende Fragestellungen untersucht werden:

- Welche Lehmbauregeln gibt es heute weltweit?
- Lässt sich unter Berücksichtigung der regionalen Besonderheiten ein weltweiter Standard zum Lehm- bau realisieren bzw. wäre ein solcher überhaupt sinnvoll?
- Welche allgemein gültigen Anforderungen wären weltweit für sämtliche Lehm- bauten von Relevanz und welche lassen sich sinnvollerweise etwa nur regional festlegen?
- Wäre es zielführend/sinnvoll einen internationalen Standard über Lehm- bau zu erstellen?

Neben dem Vergleich der internationalen Lehmbaunormen im Speziellen aus Amerika (Peru, Ecuador und USA), Asien (Indien) und Neuseeland werden parallel auch bestehende fachverwandten Normen, die in Österreich ihre Gültigkeit besitzen, mit diesen verglichen. Denn im Sinne der Kohärenz des Normenwesens ist es auch unerlässlich, die bestehenden Normen zu kennen und zu prüfen, wie zu diesen die Anforderungen für den Lehm- bau eingearbeitet werden können.

Als letzter und abschließender Schritt soll aus diesem Normenvergleich heraus versucht werden, nach erfolgter Analyse der bestehenden Lehmbaunormen sowie fachverwandten Baunormen, die Erstellung eines Normvorschlags zum Lehm- bau zu formulieren, der so für die unterschiedlichen Stakeholdergruppen wie Bauherrn, Behörde, Planer und Ausführenden zu mehr Rechtssicherheit führen könnte u. a. mit den Themen: Baustoffeigenschaften, Bemessung, Planung, Ausführung und

Instandhaltung von Lehmbauwerken. Dazu sollen u.a. folgende Forschungsfragen näher beleuchtet werden:

- Welche Argumente sprechen für die Einführung einer Lehmbaunorm in Österreich.
- Wie könnte der Anwendungsbereich für eine Lehmbaunorm für Österreich formuliert werden und welche normativen und informativen Anforderungen wären dafür sinnvoll.

1.2 Methode

Um die oben formulierten Forschungsfragen beantworten zu können, wurden im Rahmen dieser Arbeit im Wesentlichen umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt.

Für den ersten Teil der Arbeit, Untersuchung von historischen Texten für den Lehmbau, wurden neben Fachliteratur zu diesem Themenkomplex Originaltexte, sofern vorhanden, gesichtet und durchgearbeitet. Dies galt vor allem für die römischen Schriften und später für die ersten Fachbücher, die ab dem 16. Jahrhundert zumeist in Deutschland erschienen sind. Zur Untersuchung historischer Bautechnikgesetzen für Österreich wurden die ersten historischen Rechts- und Gesetzestexte ab 1740 bis heute auf Anforderungen, die den Lehmbau betreffen, studiert.²

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden zur Ermittlung der heute gültigen Lehmbaunormen die Normenlisten der wesentlichen Normungsinstitute von Europa über Amerika³, Afrika, Asien und Australien überprüft, ob diese Standards mit normativen Festlegungen zu diesem Thema enthalten. Dabei zeigte sich, dass tatsächlich aktuell eine Reihe von durchaus detaillierten Lehmbaunormen publiziert wurden. Als nächsten Schritt wurde untersucht, wie die für Österreich bestehenden Baunormen im Bezug zum Lehmbau zu sehen sind. Untersucht wurden dabei sämtliche für Österreich geltenden Normen, die Anforderungen zu den Themen Materialien, Bemessung, Planung und Ausführung von Bauwerken enthalten. Im Anschluss dieser Analyse wurden zum einen die bestehenden weltweit gültigen Lehmbaunormen untereinander verglichen und anschließend wurde dieser Vergleich auf die in Österreich geltenden Regelwerke ausgeweitet.

² Nachzulesen sind all diese Texte in der Österreichischen Nationalbibliothek.

³ Dabei wurde vor allem umfangreich das österreichische und deutsche Normenwerk für Europa überprüft und stellvertretend für Südamerika das ecuadorianische Regelwerk.

Auf Basis des durchgeführten Normenvergleiches (bestehende Lehmbaunormen mit Baunormen) wurde zum Abschluss dieser Arbeit ein für in Österreich geltender Normvorschlag auf Grundlage der Vorgaben des österreichischen Normungsinstitutes (Austrian Standards) erstellt.

1.3 Begriffe

Das Bauen mit Lehm ist wohl eine der ökologischsten Bauformen. Dies ist jedoch nur dann der Fall, solange der Baulehm nicht durch Zugabe von chemischen Stabilisierungsmitteln so weit verändert wird, dass er zwar bessere Materialeigenschaften beispielsweise für die Wasserbeständigkeit erhält, dafür dann aber seine hervorragende ökologische Eigenschaft verliert. In den unterschiedlichen Regelwerken wird jedoch oft solch ein stabilisierter Baulehm als Lehmbaustoff bezeichnet. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung bestehender elementarer Begriffsdefinitionen für den Lehmbau entnommen aus den deutschsprachigen Regelwerken.

Tabelle 1 – Gegenüberstellung Lehmbaubegriffe

Begriff	Definitionen		
	DIN 18942 ⁴	Lehmbau-Regeln ⁵	SIA D0111 ⁶
Baulehm	„zur Herstellung von Lehmbaustoffen geeigneter Lehm“	„ist zur Herstellung von Lehmbaustoffen geeigneter Lehm.“	„Natürlich vorkommender Erdstoff, der sich zum Bauen eignet.“
Lehmbaustoff	„aus Baulehm und ggf. Zusatzstoffen und Faserbewehrung hergestellter Baustoff“	„sind ungeformte oder geformte Baustoffe aus ungebranntem Lehm mit oder ohne Zuschläge.“	„aus Lehm (mit allfälligen Zuschlagstoffen und Zusätzen aufbereitetes Material, mit dem in einer Lehm-Bautechnik ein Bauteil ausgeführt wird.“
stabilisierte Lehmbaustoff	„Lehmbaustoff, dessen Eigenschaften durch andere Bindemittel als Ton oder Zugaben chemisch wirksamer Stoffe verändert werden“	„sind nicht Gegenstand dieser Regeln“	„eine Vermengung des Lehmmaterials mit Zuschlagstoffen oder Zusätzen mit dem Zweck, den Baustoff widerstandsfähiger zu machen, seine Stabilität zu erhöhen.“
Zusatzstoff	„fein verteilter organischer oder anorganischer Stoff, der im Baulehm verwendet wird, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder um bestimmte Eigenschaften zu erreichen“	„können organisch (pflanzlich) oder mineralisch sein“	„Beimischung in kleinen Mengen zur Verbesserung des Rohmaterials Lehm, vor allem in Bezug auf seine Widerstandsfähigkeit gegen Wasser.“

⁴ DIN 18942:2018, Begriffe 3.1.2, 3.1.5, 3.1.7 und 3.1.3

⁵ Volhard und Röhlen: *Lehmbau-Regeln* – Begriffe, Baustoffe, Bauteile, Springer Vieweg Verlag, 2009, Abschnitte 1.1, 2.1 und 3.1.1

⁶ SIA D 0111, *Regeln zum Bauen mit Lehm*, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1994

Bei näherer Betrachtung dieser Definitionen zeigt sich etwa, dass die neue DIN 18942 hier nicht eindeutig genug ist in Bezug auf einer Abgrenzung zu mit Zement stabilisierten Lehmstoffen. Obwohl im Anwendungsbereich etwa in der DIN 18945 „*stabilisierte Lehmstoffe*“ ausgeschlossen sind, ist trotzdem der Begriff in der DIN 18942 nicht eindeutig. Denn hier werden für den Lehmstoff auch Zusatzstoffe zugelassen, die ebenso anorganische Stoffe sein können. Nun ist gerade Zement solch ein anorganischer Stoff und somit bei strenger Auslegung wäre dieser dann auch für Lehmstoffe zulässig.

Um diesen Umstand auszuschließen, kann man zum einen für Zusatzstoffe diese auf natürliche mineralische Stoffe begrenzen und zum anderen das Bindemittel als Kriterium festlegen. Für Lehmstoffe soll nur Ton als Bindemittel eingesetzt werden. Aus dieser Überlegung heraus war es für diese Arbeit umso wichtiger, bereits zu Beginn der Arbeit eine klare Begriffsabgrenzung vorzunehmen. Es gelten daher folgende Begriffsdefinitionen:

Baulehm

„zur Herstellung von Lehmstoffen geeigneter Lehm“⁷

Lehmstoff

aus Baulehm und gegebenenfalls mit organischen oder natürlichen mineralischen Zusatzstoffen hergestellter Baustoff, dessen Bindemittel Ton ist

Erdbetonbaustoff

aus Erde, Zement und gegebenenfalls mit Zusatzstoffen hergestellter Baustoff, dessen Bindemittel Zement ist⁸

Erdbaustoff

sind Lehmstoffe und Erdbetonbaustoffe

Damit werden nach dieser Begriffsdefinition die Baustoffe wie folgt zugeordnet:

- zu den **Lehmstoffen** zählen u.a. Lehmziegel, Stampflehm, Lehmörtel und Lehmputz;
- zu den **Erdbetonbaustoffen** zählen Erdbetonziegel und Erdbetonwand.⁹

⁷ DIN 18942-1:2018, Begriff 3.1.2

⁸ In der DIN 18942-1:2018 ist hier der „*stabilisierte Lehmstoff*“ gemeint.

⁹ In der Literatur werden Erdbetonziegel oft als „*stabilisierter Lehmziegel*“ bezeichnet und Erdbetonwand als „*stabilisierte Stampflehmwand*“.

2 GESCHICHTE DES LEHMBAUS

2.1 Einführung¹⁰

Wohl kaum ein anderer Baustoff kann von sich aus behaupten, eine so lange Bautradition aufzuweisen, wie dies beim Lehmbau der Fall ist. Man kann annehmen, dass bereits vor der Sesshaftwerdung des Menschen, Lehm wohl eines der ersten Baumaterialien, das zur Anwendung kam und deren Verwendung bis heute erfolgt. Weltweit lebt auch heute noch rund ein Drittel der Bevölkerung in Lehmbauwerken und in manchen Regionen ist Lehm gar weiterhin der vorherrschende Baustoff.

Diese Tatsache wird durch zahlreiche weltweite archäologische Funde zum Lehmbau bezeugt wie etwa im Iran, wo man Lehmziegel aus der Zeit um 8000 v.Chr. fand. Später waren es dann die Ägypter, die es verstanden, dieses Material bereits als Massenbaustoff für deren Pyramidenbau einzusetzen, und daran gingen, erstmals den Herstellungsprozess für den Lehmziegel schriftlich festzuhalten. Im Grab des altägyptischen Wesirs Rehmire (1500 v.Chr.) wurden Hieroglyphen entdeckt, die vom Aufbereiten der Lehmmischung bis hin zum Einbau in das Bauwerk sämtliche Herstellungsschritte für einen Lehmziegel dokumentierten.

Später begannen die römischen Baumeister, erste umfangreiche und detaillierte Schriften zur Architektur und so auch zum Lehmbau zu verfassen. In diesem Zusammenhang ist vor allem der römische Architekt Marcus Vitruvius Pollio (80/70-15 v.Chr.) zu nennen, der in seinen Schriften „*De architectura libri decem*“, und da vor allem in seinem zweiten Buch, die Lehmbauweise ausführlich beschrieb. Cajus Plinius der Ältere (23-79 n.Chr.) übernahm diese Erkenntnisse dann auch in seiner bekannten Enzyklopädie über die Naturwissenschaften „*Naturalis historia*“.

Im Mittelalter fand vor allem außerhalb von Europa eine beeindruckende Entwicklung des Lehmbaus statt. Sei es das größte sakrale Lehmbauwerk in Djenné (Mali), die mächtige Stadtanlage in Aït-Ben-Haddou (Marokko), die Moscheen in Samarkand (Usbekistan) oder Jemens Hauptstadt Sana'a sowie die wahrscheinlich größte präkolumbianische Stadt Südamerikas, Chan Chan in Peru, alle diese

¹⁰ Die in dieser Einführung zitierten Quellen werden in den darauffolgenden Kapiteln detaillierter angegeben.

Bauwerke haben eines gemeinsam, es waren bereits hochwertig ausgereifte Lehmgebäude, die teilweise heute noch zu bewundern sind. Später drang aus Nordafrika vermehrt auch die maurische Baukunst über Andalusien nach Europa vor. So galt etwa die Stadt Kasbah (Algerien) als perfektes Beispiel für die damalige Stadtplanung. Die Entwicklung des „mudejaren“ Baustiles beeinflusste in spätere Folge nicht nur ganz Spanien, sondern sie wurde im Zuge der spanischen Kolonialisierung auch in Südamerika verbreitet. Und hier waren es im Wesentlichen die maurischen Baumeister, die all ihr profundes Wissen über Lehmgebäude zur Verbreitung brachten.

Für Mitteleuropa hielt sich lange die Behauptung, dass Lehmgebäude nur eine Art „anonyme Architektur“ darstellte und so das vorhandene Wissen zu dieser Bauform ausschließlich mündlich weitergegeben wurde und später, Mitte des 19. Jahrhunderts, mit dem vermehrten Einsatz von gebrannten Ziegeln dann immer mehr verloren ging. Doch stimmt diese Behauptung wirklich? Fand das schriftliche Wissen wie etwa die Bücher von Vitruvius, die 1796 von August Rode ins Deutsche übersetzt wurden, keinerlei Verbreitung im deutschsprachigen Raum? Bereits 1753 wurde über die „*Theresianischen Gesetzesbücher*“ die Verwendung von sogenannten ägyptischen oder ungebrannten Ziegeln für sämtliche Neubauten verordnet. Diese Verordnung galt für Wohnhäuser oder Wirtschaftsräume und wurde zum einen wegen der ständig latenten Brandgefahr und zum anderen, um die Wälder vor allzu großen Rodungen zu verschonen erlassen. Sie belegt damit eindeutig, dass dem damaligen Gesetzgeber sehr wohl Begriffe wie ägyptischer oder ungebrannter Ziegel geläufig waren.

Auf die „*Theresianischen Gesetzesbücher*“ folgten jene von Kaiser Joseph II. Auch hier fanden sich Anordnungen den Lehmgebäude betreffend. Die Feuerordnung aus 1781 etwa beschrieb, wie man Strohdächer durch Lehm brandsicher ausführen kann. Aus dieser Zeit stammen dann auch die ersten schriftlichen Fachabhandlungen, die sich nun sehr ausführlich der Lehmgebäude-technik widmeten. So behandelte François Cointeraux in seinem Buch „*Ecole d'architecture rurale*“ den Stampflehmgebäude und David Gilly beschrieb in seinen Abhandlungen „*Handbuch der Land-Bau-Kunst*“ bzw. „*Beschreibung der Feuer abhaltenden Lehmschindeldächer nebst gesammelten Nachrichten und Erfahrungen über die Bauart mit getrockneten Lehmziegeln*“ sehr genau die Herstellung von Lehmziegeln und Lehmschindeldächer. Mitte des 18. Jahrhunderts begannen immer mehr Baumeister ihre Erkenntnis über die Lehmgebäude-technik auch schriftlich festzuhalten. Einige Jahrzehnte später war es Wolfgang Steiner in seinem 1840 publizierten Buch „*Der Lehmgebäude auf dem Lande*“, in dem er sämtliche zur damaligen Zeit bekannten Erkenntnisse zum Lehmgebäude zusammenfasste. Beschrieben werden in diesem Werk in ausführlichster Art und Weise u.a. der Wellerbau, Wickel- oder Zopfbau, Patzen- oder Klumpenbau, Stampflehmgebäude und Lehmziegelbau. Die lang vorherrschende Behauptung, dass Lehmgebäude eine Art „anonyme Architektur“ darstellte, deren Wissen

nur mündlich von Generation zu Generation weitergeben wurde, kann damit wohl als falsch bezeichnet werden. Hatte bereits vor 2000 Jahren Vitruvius eine klare Vorstellung davon, wie Lehmbau auszuführen ist, so wurde spätestens mit Steiner endgültig durch seine schriftliche Abhandlung das Wissen zu dieser Bautechnik für die nachfolgende Generationen festgeschrieben und festgehalten. Und wieder war es natürlich nicht Steiner allein, der sich diesem Thema in seinen Büchern annahm. Um 1820 setzte tatsächlich im deutschsprachigen Raum eine rege Publikationstätigkeit zum Lehmbau ein, die im Werk von Steiner seinen Höhepunkt fand.

Die Entwicklung der Baugesetze liefert ebenfalls aufschlussreiche Aspekte für den Lehmbau. Nicht nur etwa das 1753 erlassene Gesetz zur Verwendung von ungebrannten Ziegeln, sondern auch die ersten Landes-Bauordnungen nach 1848 enthielten genaue Festlegungen zum Lehmbau und hatten teilweise ihre Gültigkeit bis Mitte des 20. Jahrhunderts. Als Beispiel kann dazu die Bauordnung von Oberösterreich angeführt werden, die 1875 erlassen wurde, und im Paragraf Nr. 33 Anforderungen für die Verwendung von lufttrockenen Ziegeln oder gestampfter Erde (Pisébau) enthielt. Dieser Paragraf galt dann immerhin bis 1976. Also auch auf der baugesetzlichen Ebene kann nur schwer von einer „*anonymen Architektur*“ gesprochen werden. Lehmbau war immer bekannt, und dies wurde nicht nur über mündliche Überlieferungen weitergeben, sondern auch durch schriftliche Aufzeichnungen bzw. Baugesetzen nachvollziehbar dokumentiert und festgehalten.

Wenn etwas mündlich überliefert wurde, dann wohl nur die subjektiven, negativen Behauptungen über die mangelhafte Qualität der Lehmbauten, das Suggestieren, dass diese Bauweise nur ein Baustoff der Armen darstellt, und die falsche Behauptung, dass es sich um eine vergessene Bautechnik handelt. Prachtbauten aus Nordafrika, Asien und Südamerika sowie umfangreiche, zum Teil jahrtausendalte, Literatur beweisen eindrucksvoll das genaue Gegenteil davon.

2.2 Weltweite historische Beispiele für den Lehmbau

2.2.1 Allgemeines

Im folgenden Abschnitt wird versucht die weltweit wichtigsten Zeugnisse der Lehmbauarchitektur für die einzelnen geschichtlichen Epochen zu rekonstruieren. Beginnend mit der Urgeschichte über das Altertum und Mittelalter bis hin zur Neuzeit werden die wesentlichsten Stationen der Lehmbaugeschichte nachgezeichnet, indem die wichtigsten Fundstätten bzw. bestehenden Bauwerke aufgelistet werden.

2.2.2 Urgeschichte (bis etwa 3000 v.Chr.)

Mit dem Sesshaft werden der Menschheit um 10000 v.Chr. begann auch eine Entwicklung der unterschiedlichen Bauweisen. Abhängig von den unterschiedlichen vorherrschenden Klimaten entstanden die diversen Baukonstruktionen. In den eher trockenen und heißen Klimazonen, wo auch in der Regel das Holzvorkommen gering ist, sind vor allem massive Bauweisen vorherrschend, wie etwa der Lehmbau. Hier besitzt der Lehm neben der Lastabtragung auch eine signifikante Funktion hinsichtlich des Raumklimas. Er wirkt ausgleichend gegenüber der starken Sonneneinstrahlung und ist so ein Puffer gegen die Hitze. Dort wo das Holzvorkommen zunimmt, verändert sich dann auch die Bauweise mit dem Lehm. Die massive Stampflehmabauweise wird abgelöst durch die leichtere Skelettbauweise. Das Skelett aus Holz übernimmt nun die statische lastabtragende Funktion und der Lehm dient nur noch als Ausfachungsmaterial.¹¹

Erste Siedlungen des Neolithikums (Jungsteinzeit) konnten in Vorderasien um 11000 bis 9500 v.Chr. nachgewiesen werden. Danach begann etwa von 9500 bis 8000 v.Chr. die Besiedelung von Anatolien. Über Griechenland mit den ersten Siedlungen von 8000 bis 6400 v.Chr. kam es schließlich ab etwa 6400 v.Chr. zu den ersten Besiedelungen im übrigen Europa.

Vorderasien

Die Geschichte des Lehmbaus kann weltweit einige Jahrtausende bis in die Urgeschichte hinein zurückverfolgt werden. Dabei stammen die ältesten Funde des Lehmbaus, die bis heute nachweislich festgestellt werden konnten, aus dem Mesolithikum. Aus der Region im Vorderasien sind Beispiele aus Jericho (siehe Abbildung 1) in der Südlevante, Jerf el-Amar am mittleren Euphrat und Çayönü bzw. Göbekli Tepe in Obermesopotamien bekannt.¹² Hier entstanden ab 9500 v.Chr. erste Orte mit Wohn- und Wirtschaftsgebäuden. Das dabei bestimmende Baumaterial war Lehm, der als Lehmziegel bzw. Lehmputz eingesetzt wurde. Flechtwerk mit Lehmwurf kennt man aus dem Epipaläolithikum sowie dem frühen Neolithikum. Reste einer solchen Technik konnten in Çayönü (Südosttürkei) freigelegt werden. Dabei war Lehm noch nicht Teil der tragenden Struktur. Die erste Massivlehmwand wurde mit freihändig modelliertem feuchtem Lehmmaterial, das sofort schichtweise als Wand aufgetragen wurde, hergestellt. Nach Fertigstellung einer Lehmlage musste

¹¹ Vgl. Horst Schröder: *Lehmbau*, Wiesbaden, Vieweg-Teubner, 2010, S. 2-7

¹² Vgl. Jürgen Renn, Wilhelm Osthus und Hermann Schlimme: *Wissensgeschichte der Architektur, Band I: Vom Neolithikum bis zum Alten Orient*, Berlin, Max Planck Institute for the History of Science, 2014, S. 60

die Wand für zwei bis drei Tage getrocknet werden, bevor mit dem Bau fortgesetzt werden konnte. Ein Nachweis für diese Bauweise (ca. 9000 v.Chr.) findet sich in Çayönü (Südosttürkei). Die ersten Lehmziegel entstanden etwa 9000 bis 8000 v.Chr., wobei deren Größen noch stark variierten. Aus Çafar Höyük (Südosttürkei) sind quaderförmige Lehmziegel bekannt, die zumindest einheitliche Höhen und Breiten aufwiesen.¹³ Auch im zentralanatolischen Catal Höyük konnten Lehmziegel aus der zweiten Hälfte des 8./7 Jahrtausend v.Chr. nachgewiesen werden (siehe Abbildung 1). Eine weitere Lehmbautechnik konnte in Aşıklı Höyük (Ende 9./erste Hälfte 8. Jahrtausend v.Chr.) sowie aus den Fundorten Ilıpınar und Menteşe in der Marmararegion (Ende 7./Anfang 6. Jahrtausend v.Chr.) dokumentiert werden, wo ganze Lehmstreifen aus der Lehmgrube geschnitten und anschließend verbaut wurden.¹⁴ Als weitere Bautechnik ist aus dem Neolithikum die Verwendung von Holzeinlagen in Lehmziegelwänden bekannt, um so einen besseren Wandverbund herstellen zu können.¹⁵ Ferner wurden in der Gegend um Teheran (Iran) Lehmsteine gefunden, die über 10000 Jahre alt sind.



Abbildung 1 – Links: Modellskizze eines Lehmziegelbaus aus Catal Höyük, Mitte: archäologische Grabungsstätte in Catal Höyük, Rechts: Lehmziegelwand aus Jericho ca. 4000 v.Chr.

Südamerika

In Ecuador konnten erste Besiedlungen um 10000 v.Chr. im Hochland von Ilaló, das sich in der Nähe von Quito befindet, und an der Küste in Santa Elena um 7000 v.Chr. belegt werden. Die Besiedlungen an der Küste werden der Kultur „Las Vegas“ zugeordnet, die erstmals daranging, Landwirtschaft zu betreiben. Von dieser Kultur drangen etwa 4400 v.Chr. Siedler in den Raum des heutigen Quitos vor, wie erst vor kurzen Archäologen der Universität von Quito (PUCE) in

¹³ Vgl. Renn (Band I) 2014, S. 75

¹⁴ Vgl. Renn (Band I) 2014, S. 72-77

¹⁵ Vgl. Ebda S. 84

aufwendigen Ausgrabungsarbeiten feststellen konnten.¹⁶ Man begann schon früh zunächst aus dem umliegenden Gestein des Vulkanes Pichincha erste Werkzeuge zu fertigen und später um 3500 v.Chr. erzeugte man diese aus Metall. Die Behausungen in dieser Zeit waren einfach und schlicht. Die ersten einfachen Hütten waren aus Lehmziegeln oder Lehmflechtwerk und mit Schilfdach gedeckt. Sie wurden in runder oder rechteckiger Form mit abgerundeten Ecken angelegt. Diese Hütten waren in der Regel gerade so groß, dass eine Familie von etwa zehn Personen darin Platz fand.

Europa

Bereits 30000 v.Chr. kann im Gebiet des heutigen Österreich nachgewiesen werden, dass erste Erdbauten für Wohnungszwecke kreiert wurden. So führte etwa Eppel in seinem Buch über das Waldviertel aus, dass Menschen um Langenlois, Gobelsburg und Kamegg damit begannen, sich in eingetieften Erdlöchern einfache Behausung zu schaffen. Dies kann wohl als der erste Nachweis von Besiedelungen im Waldviertel angeführt werden, und es waren gleichzeitig die ersten primitiven Erd-/Lehmbauten, die von der damaligen Bevölkerung errichtet wurden.¹⁷

Es dauerte dann bis zum Neolithikum, dass sich eine Weiterentwicklung der Lehmbauweise nachweisen lässt. Nun wurden Pfostenbauten mit lehmverputzten Flechtwänden errichtet, die später dann durch Lehmhütten ersetzt wurden. Dies konnte unter anderem in der Gegend um Znaim (Tschechien) dokumentiert werden.¹⁸ Gleiches kann auch für Österreich angenommen werden. Im Freilichtmuseum Asparn an der Zaya (Niederösterreich) wurde diese Skelettbauweise mit archäologischer Unterstützung rekonstruiert. So kann man heute in diesem Museum etwa ein Langhaus (siehe Abbildung 2) bewundern, das in Pfostenbauweise mit Schilfdach nachgebaut wurde. Die Wände wurden aus Flechtwerk mit anschließendem Lehmwurf errichtet.

¹⁶ El Comercio, *Indicios de los primeros Quiteños*, 10.11.2019, Quito

¹⁷ Vgl. Franz Eppel: *Das Waldviertel*, Salzburg, St. Peter, 1989, S. 11

¹⁸ Vgl. Jitka Matuszková: „Bericht über die Ergebnisse der Feldforschung zu traditionellen Lehmbautechniken.“ in *Lehmbau, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 155-158



Abbildung 2 – Langhaus aus Asparn an der Zaya

Ebenfalls aus Niederösterreich sind in den Ortschaften Friebritz, Gauderndorf, Glaubendorf, Kamegg, Rosenburg, Velm sowie Wilhelmsdorf kreisförmige Grabanlagen aus der Jungsteinzeit (4800 v.Chr.) belegt, die fast immer in der Nähe von Ansiedlungen erbaut wurden. In Ausgrabungen konnte rekonstruiert werden, dass die Menschen damals in länglichen Häusern aus Holz und Lehm wohnten. Oft waren dies Holzbauten, deren Wände mit Flechtwerk und Lehm ausgeführt wurden.¹⁹

Es kann somit angenommen werden, dass in der Region des pannonischen Beckens, ein Gebiet, das vom südlichen Teil von Tschechien bzw. Slowakei über den östlichen Teil Österreichs und Ungarn bis nach Rumänien reicht, Lehm- und Holzbau seit der Urgeschichte angewendet wurde.

2.2.3 Altertum (3000 v.Chr. bis 500 n.Chr.)

Vorderasien

In Mesopotamien war das dominierende Baumaterial im Altertum der Lehmziegel. Dieser wurde sowohl für Alltagsgebäude als auch für Monumentalbauten herangezogen. Das Wissen über das Ziegelbrennen war zwar zu jener Zeit bereits vorhanden, jedoch aufgrund der vorherrschenden Knappheit an dem Brennmaterial Holz war die Verwendung von gebrannten Ziegeln limitiert. Gebrannte Ziegel sowie Natursteine wurden demnach in der Regel nur für die Fundamentierung verwendet, da man schon damals erkannte, dass Lehm vor aufsteigender Feuchtigkeit zu schützen ist. Interessant ist, dass man auch schon in dieser Zeit begann, Lehmziegel für die Errichtung von Gewölben einzusetzen. Für die Lehmziegelherstellung fand schon in der damaligen Zeit eine Differenzierung von Bauberufen statt. So unterschied man im altorientalischen Mesopotamien beispielsweise zwischen dem sogenannten „Lehmstecher“, dem „Ziegelhersteller“ und dem

¹⁹ Vgl. Wolfgang Neubauer, Wolfgang: „Geheimnisvolle Kreisgräber, Rätselhafte Monumente der Steinzeit.“ Denkmalpflege in Niederösterreich, Band 33: *Weinviertel*, 2005, S. 25-27

„Korbhersteller“, der für die Fertigung von Körben, die für den Ziegeltransport gebraucht wurden, zuständig war.²⁰

Zeugnisse aus dieser Zeit für Lehmarchitektur in Vorderasien liefern die Städte Al Ain aus den Vereinigten Arabischen Emiraten und Shahr-i Sokhta bzw. Tschogha Zanbil, beide aus dem Iran. In allen diesen drei Städten konnte nachgewiesen werden, dass im Altertum das dominierende Baumaterial der Lehm darstellte. Im Rahmen von archäologischen Forschungsarbeiten konnten etwa in der Stadt Shahr-i Sokhta (siehe Abbildung 3), das übersetzt „verbrannte Stadt“ bedeutet und seit 2014 UNESCO Weltkulturerbe ist, bauliche Überreste nachgewiesen werden, die aus der Zeit von 3200 bis 2100 v.Chr. stammen. Diese prähistorische Fundstätte liefert dabei viele Erkenntnisse über die Besiedelungsart in der Bronzezeit. Gleiches konnte für die Wüstenstadt Al Ain (übersetzt „das Auge“ und seit 2011 UNESCO Weltkulturerbe, siehe Abbildung 3) belegt werden, die ebenfalls bereits zur Bronzezeit (2500 v.Chr.) besiedelt war und auf der wichtigen Handelsroute zwischen dem Oman, der arabischen Halbinsel, dem Persischen Golf und Mesopotamien lag. Aus 1250 v.Chr. stammt die Tempelanlage Tschogha Zanbil (seit 1979 UNESCO Weltkulturerbe, siehe Abbildung 3). Diese Anlage gehört zu den am besten erhaltenen Tempelanlagen im Iran. Sie wurde hauptsächlich aus Lehmziegeln hergestellt, die dann vermutlich mit gebrannten Ziegeln verkleidet wurden. Herzstück der Tempelanlage ist das für Mesopotamien typische „Zikkurat“, das ein gestufter Tempelturm darstellt. Dieser, errichtet mit Lehmziegeln, weist heute noch eine Höhe von 25m auf. Man nimmt jedoch an, dass er ursprünglich sogar 50m hoch war.²¹



Abbildung 3 – Links: Shahr-i Sokhta, Mitte: Al Ain, Rechts: Tschogha Zanbil

Ebenfalls aus der Bronzezeit stammt die Stadt Moenjodaro (übersetzt „Hügel der Toten“), die im östlich von Vorderasien angrenzenden Pakistan liegt und seit 1980 UNESCO Weltkulturerbe ist. Die

²⁰ Vgl. Renn (Band I), 2014, S. 40

²¹ Vgl. für Shahr-i Sokhta: <http://whc.unesco.org/en/list/1456>, für Al Ain: <http://whc.unesco.org/en/list/1343> und für Tschogha Zanbil: <http://whc.unesco.org/en/list/113> [Zugriff am 29.01.2020]

Stadt wurde größtenteils durch Lehmziegel mit dem Format 27x13x6 cm errichtet (siehe Abbildung 4). Aus der Jungsteinzeit sei noch die nördlich von Vorderasien liegende Stadt Merv in Turkmenistan erwähnt. Diese alte Oasenstadt hatte ihren ersten kulturellen Höhepunkt bereits im 2. Jahrtausend v.Chr. Der älteste in Resten noch erhaltene Teil Erk-Kala stammt jedoch aus der achämenidischen²² Zeit. Es handelt sich dabei um eine Befestigungsanlage, die etwa im 7. Jahrhundert v.Chr. aus Lehm erbaut wurde. Die 2000 Jahre alte Stadt Bukhara in Usbekistan (seit 1993 UNESCO Weltkulturerbe) liegt auf der historischen Seidenstraße, deren älteste Funde im Stadtgebiet aus dem 3. Jahrhundert v.Chr. stammen, und die bis heute Lehmgebäude aus dem 10. Jahrhundert aufweist. In Ostanatolien liegt die Festungsanlage Van Kalesi, die zwischen dem 9. und 7. Jahrhundert v.Chr. in der Zeit der Urartu errichtet wurde. Diese beinhaltet ebenfalls die unterschiedlichsten Lehmbautechniken (siehe Abbildung 4).²³



Abbildung 4 – Links und Mitte: Moenjodaro; Rechts: Festungsanlage in Van Kalesi

Altägyptische Architektur (2900 v.Chr. bis 1075 v.Chr.)

So wie in Mesopotamien galt auch in der altägyptischen Architektur der Lehmziegel als bestimmendes Baumaterial. Kannte man zwar auch in Ägypten bereits den gebrannten Ziegel, so wurde ebenfalls dieser nur für die Fundamente eingesetzt. Ferner war der Lehmziegel auch für den Pyramidenbau ein unerlässliches Baumaterial. Man gebrauchte diesen vor allem bei der Herstellung jener gewaltigen Rampen, die notwendig waren, um die großen Lasten der Steinblöcke, die für den

²² Das Achämenidenreich war das erste persische Großreich, dessen Blütezeit ins 6. Jahrhundert v.Chr. bis ins 4. Jahrhundert v.Chr. fällt, und dessen Reich die heutige Türkei, Iran, Irak, Zypern umfasste und im Osten bis Afghanistan und im Westen bis Ägypten reichte.

²³ Vgl. für Moenjodaro: <http://whc.unesco.org/en/list/138>; für Merv: <https://en.wikipedia.org/wiki/Merv>; für Bukhara: <http://whc.unesco.org/en/list/602>; für Van Kalesi: https://en.wikipedia.org/wiki/Van_Fortress [Zugriff am 29.01.2020]

Pyramidenbau gebraucht wurden, transportieren zu können. Die Archäologen nehmen dabei an, dass Lehmziegeln nicht nur für die Rampenherstellung verwendet wurden, sondern auch für die Errichtung der für den Pyramidenbau benötigten Arbeitersiedlungen. Im Zuge der Ausgrabungsarbeiten der Königinnenpyramide G I-c, die aus der Regierungszeit des Schepseskaf (2510 bis 2500 v.Chr.) stammt, konnten solche Siedlungsanlagen nachgewiesen werden, die vornehmlich aus Lehmziegeln bestanden. Ein weiteres Beispiel ist der Totentempel von Ramses II (1303-1213 v.Chr.) und Ramses III (1221-1156 v.Chr.). Diese Anlage weist eine Länge von 315m und eine Breite 205m auf und besitzt eine 18m hohe Umfassungsmauer. Auch hier war das vorherrschende Baumaterial der Lehmziegel.²⁴

China

Das berühmteste Beispiel einer Befestigungsanlage stellt die Chinesische Mauer dar. Diese 20000km lange Mauer, die sich an der Grenze von China befindet und das Land vor Eindringlingen schützen sollte, begann man vor 4000 Jahren vornehmlich aus Stampflehm zu errichten.²⁵

Europa

In Deutschland sind aus dem 6. Jahrhundert v.Chr. Befestigungsmauern der Heuneburg im Kreis Sigmaringen nachgewiesen, die aus Lehm errichtet wurden. Es wird vermutet, dass diese unter dem Einfluss von griechischen Handwerkern entstanden.²⁶ Zur Zeit der Römer kannte man bereits Stampflehmwände aus Spanien und Afrika, die unter Verwendung von Schalungsbrettern mit Lehm und Kieselsteinen hergestellt wurden und Jahrhunderte alt waren.²⁷ Der römische Gelehrte Cajus Plinius (23/24-79 n.Chr.) beschrieb diese Bauweise wie folgt:

„Halten sich nicht in Spanien und Afrika Wände aus Erde, welche geformte heißen [sic], weil sie, in einer Form auf beiden Flächen mit Brettern umgeben befindlich, mehr eingestopft [sic]

²⁴ Vgl. *Die Naturgeschichte des Cajus Plinius Secundus*. Ins Deutsche übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Georg Christoph Wittstein. 6 Bände, Gressner & Schramm, Leipzig 1881/82, 2. Band, S.198 sowie <https://de.wikipedia.org/wiki/Cheops-Pyramide> [Zugriff am 29.01.2020]

²⁵ Schröder 2010, S. 4

²⁶ Vgl. Ulrich Schneider, Mathias Schwimann und Heinrich Bruckner: *Lehmbau für Architekten und Ingenieure*, Düsseldorf, Werner-Verlag, 1996, S. 47

²⁷ Vgl. August Rode: *Des Marcus Vitruvius Pollio Baukunst*, Leipzig, Georg Joachim Göschen, 1796, Band II, S. 75

als eingemauert werden, Jahrhunderte lang, trotzen dem Regen, Wind, Feuer und sind dauerhafter als alles Gemäuer? Noch sieht man in Spanien Hannibals [247-183 v.Chr.] aus Erde errichteten Warten und Thürme [sic] auf den Spitzen der Berge.“²⁸

Solch eine Stampflehmwand ist bis heute in der spanischen Stadt Niebla (Andalusien) zu bewundern. Diese jahrhundertalte Stadtmauer besteht aus fünf Stadttoren und mehr als 30 Türmen. Die ältesten Teile dieser Mauer stammen aus dem 9. bis 5. Jahrhundert v. Chr.



Abbildung 5 – Stadtmauer von Niebla

Auf Sardinien wurde von Archäologen in mehreren Studien Lehmbauten nachgewiesen. Diese belegen, dass Lehm in Form von Lehmziegeln, Mörtel und Verputz ca. 1500 v.Chr. angewendet wurde.²⁹

Römische Bautätigkeiten

Die Römer setzten Stampflehm ebenso ein wie Lehmziegel und Fachwerke aus Holz mit Lehmbewurf. Gerade die beim Holzbau permanente hohe Brandgefahr führte in dieser Zeit auch dann dazu, dass vermehrt gebrannte Ziegel zum Einsatz kamen. Entscheidend für die römische Bautätigkeit war jedoch die Entwicklung einer ganz neuen Baumethode, nämlich der Einsatz von Beton. Dieses Baumaterial wurde nicht nur für die Mauern verwendet, sondern auch für Fundamente und Gewölbe. Des Weiteren erkannten die römischen Baumeister nicht nur, dass Stein und Beton in Bezug auf die Zugfestigkeiten ihre Grenzen haben, sondern sie fanden auch heraus, wie diese Schwäche durch die Verwendung von Eisenarmierung ausgeglichen werden konnte. Nach dem Untergang des römischen Reiches verschwand dieses umfangreiche römische Bauwissen im Westen

²⁸ Wittstein (2. Band) 1882, S. 164

²⁹ Vgl. Viola Toccafondi: *Neuinterpretation und zeitgenössische Anwendung der antiken Lehmbau-Tradition auf Sardinien*, Berlin, Dissertation TU Berlin, 2015, S. 20

komplett. Dies gilt jedoch nicht für das oströmische Reich, wo dieses weiter angewendet wurde und in der frühislamischen Architektur ihre Fortsetzung fand.

Über archäologische Ausgrabungen lassen sich Lehmbauten aus der Römerzeit belegen. So konnte nachgewiesen werden, dass zu dieser Zeit in der Umgebung von Lyon in Frankreich mit Lehm gebaut wurde. Es wird angenommen, dass dabei vor allem Lehmziegel und der Wellerbau zur Anwendung kamen. Diese Bauwerke wurden aber im Laufe der kriegerischen Wirren des Mittelalters zerstört und verschwanden.³⁰ In der Schweiz wurden im Kanton Genf ebenfalls im Zuge von archäologischen Arbeiten unterschiedliche Lehmbautechniken aus der Römerzeit nachgewiesen³¹ und in Deutschland wurde im archäologischen Park Xanten (Rheinland) Handwerkshäuser in der römischen Bautechnik aus Stampflehm rekonstruiert.³²

Amerika

Die Sonnenpyramide von Teotihuacan in Mexico (seit 1987 UNESCO Weltkulturerbe) wurde ca. 100 n.Chr. errichtet und weist eine Höhe von 63,4m mit einer Grundfläche von 225x225m auf. Der Kern besteht aus ungefähr zwei Millionen Tonnen Stampflehm. Es wird angenommen, dass diese Gegend zwischen 100 und 600 n.Chr. das politische Zentrum von Mesoamerika darstellte und auf ihrem Höhepunkt von an die 200000 Menschen bewohnt wurde.³³

2.2.4 Mittelalter (ca. 500 bis 1500)

Vorderasien

Ein exzellentes Beispiel für mittelalterliche Lehmarchitektur liefert die seit mehr als 2500 Jahren bewohnte Hauptstadt von Jemen, Sanaa, die seit 1986 UNESCO Weltkulturerbe ist und auf einer Seehöhe von 2200m liegt. Die Altstadt (siehe Abbildung 6) ist von einer mächtigen Stadtmauer umgeben und zählt an die tausend sogenannten Turmhäuser, die bis zu acht Geschoßen hoch sind

³⁰ Vgl. Roger Boltshauser: *Pisé - Stampflehm, Tradition und Potenzial*, Zürich, Triest Verlag GmbH, 2019, S. 56

³¹ Vgl. Boltshauser 2019, S. 83

³² Vgl. https://apx.lvr.de/de/lvr_archaeologischer_park/rekonstruktionsbauten/roemische_wohnhaeuser/roemische_wohnhaeuser.html [Zugriff am 29.01.2020]

³³ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/414/> und <https://de.wikipedia.org/wiki/Teotihuac%C3%A1n> [Zugriff am 29.01.2020]

und zumeist aus Stampflehm ausgebaut wurden. Viele davon sind dabei mehrere hundert Jahre alt. Durch die kriegerischen Wirren im Jahr 2015 wurde die Stadt jedoch schwer in Mitleidenschaft gezogen, wodurch sie seither auf der Roten Liste für gefährdetes Welterbe geführt wird.³⁴



Abbildung 6 – Links: Sanaa, Mitte: Bam, Rechts: Yazd

Das UNESCO Weltkulturerbe Bam, eine Stadt im Iran, deren Ursprung auf das 6. bis 4. Jahrhundert v. Chr. zurückgeht, mit Lehmgebäuden aus dem 7. bis 11. Jahrhundert und einer außergewöhnlichen Zitadelle, galt jahrelang als die einzigartigste mittelalterliche Stadt, die mit Lehm- und Ziegelbau errichtet wurde (siehe Abbildung 6). 2003 wurde sie durch ein verheerendes Erdbeben mit der Stärke 6,6 auf das Schwerste zerstört. Die Altstadt mit ihren Lehmhäusern als auch deren moderne Stadtteile aus gebrannten Ziegeln bzw. modernen Bautechniken wurden zu 90% vollkommen zerstört.

Wegen seiner herausragenden Lehmgebäuden und Wüstenarchitektur ist die im 7. Jahrhundert gegründete Stadt Yazd (Iran) seit 2017 ebenso UNESCO-Weltkulturerbe. Einige Mauern der heutigen Moschee stammen noch aus dieser Zeit. Die meisten historischen Bauten sind jedoch aus dem 14. und 15. Jahrhundert (siehe Abbildung 6).³⁵

Das an der Seidenstraße liegende Tal Bamiyan in Afghanistan (siehe Abbildung 7), seit 2003 UNESCO Weltkulturerbe, weist unzählige Lehmgebäuden aus dem ersten bis 13. Jahrhundert auf. Die Bauwerke sind zum Großteil mit einfachen Lehmziegeln geschaffen.³⁶

Die bereits im 7. Jahrhundert v. Chr. gegründete usbekische Oasenstadt Samarkand erlangte rasch durch ihre strategisch günstige Lage an der Seidenstraße an Wohlstand. Nachdem sie seit ihrer Gründung mehrere Male in die Hand unterschiedlicher Herrscher fiel, wurde sie 1220 durch die

³⁴ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/1208> [Zugriff am 29.01.2020]

³⁵ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/1544/> [Zugriff am 29.01.2020]

³⁶ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/208/> [Zugriff am 29.01.2020]

Truppen von Dschingis Kahn völlig zerstört. Erst im 14. Jahrhundert waren es die Mongolen, die die Stadt neu gründeten und sie so rasch wieder zu ihrem nächsten Höhepunkt führten. Aus dieser Zeit stammen eine Reihe von ein- bis zweigeschoßige Bauwerke, die aus Lehmziegel gebaut wurden und bis heute noch bestehen. Gleiches gilt für die Moschee und den daneben befindlichen Monumentalbauten am Registan-Platz, die ebenfalls mit Lehmziegeln errichtet und deren Fassade mit keramischen Fliesen dekoriert wurden (siehe Abbildung 7). Die Stadt Samarkand befindet sich seit 2001 auf der Liste für Weltkulturerbe der UNESCO.³⁷



Abbildung 7 – Links: Bamiyan; Rechts: Samarkand

Afrika

Die große Moschee von Djenné (Mali), seit 1988 UNESCO-Weltkulturerbe, ist eines der größten sakralen Lehmwerke und zählt zu den berühmtesten Bauwerken Afrikas. Die Errichtung der ersten Moschee stammt aus der Zeit zwischen 1180 und 1330. Diese wurde jedoch 1834 zerstört und verfiel anschließend. 1896 wurde zunächst begonnen, die Moschee ein zweites Mal zu errichten. Da der Bau dieser Moschee als zu schlicht und bescheiden ausfiel, wurde sie 1906 abgerissen und schließlich die heutige gebaut (siehe Abbildung 8). Die Wände bestehen aus mit Lehmputz versehenen Lehmziegeln, die anschließend mit Lehmputz versehen wurden, und weisen dabei eine Dicke von 40 bis 60cm auf. Die eingearbeiteten Palmenstämme sollen zum einen die Rissbildung in der Wand verhindern und zum anderen als eine Art Gerüst für die laufenden Wartungsarbeiten dienen. Diese jährlichen Wartungsarbeiten werden im Zuge eines im April stattfindenden Festes durchgeführt, an dem sämtliche Einwohner von Djenné beteiligt sind. So unterstreicht auch der Lehmbau, dass er eine wichtige soziale und kulturelle Funktion für die Gesellschaft darstellen kann.³⁸

³⁷ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/603/> [Zugriff am 29.01.2020]

³⁸ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/116/> [Zugriff am 29.01.2020]

Neben der Moschee in Djenné gibt es noch weitere Sakralbauten in Mali, die ebenfalls in Lehm errichtet wurden und Ähnlichkeiten zur Bauweise in Djenné aufweisen. So finden sich in der nördlich von Djenné liegenden Oasenstadt Timbuktu drei Moscheen (Djingeryber-Moschee, Sankóre-Moschee und Sidi-Yahia-Moschee), die allesamt aus dem 14. Jahrhundert stammen und ebenfalls ein herausragendes Beispiel für Lehmbau-Architektur darstellen (siehe Abbildung 8). Seit 1988 sind diese auch UNESCO Weltkulturerbe.³⁹

Weiter östlich von Timbuktu liegt das Grabmal von Askia. Es wird vermutet, dass es sich dabei um das Grab des ersten Königs des Songhaireiches Mohammed I. handelt und es somit gegen Ende des 15. Jahrhunderts erbaut wurde. Auch dieser Monumentalbau, der auf Grund seiner Höhe von 17 Meter als eines die größten Bauwerke aus dieser Zeit gilt, wurde ebenfalls mit Lehmziegeln ausgeführt. Das Grabmal befindet sich seit 2006 auf der Liste für Weltkulturerbe der UNESCO (siehe Abbildung 8).⁴⁰



Abbildung 8 – Links: Djenné, Mitte: Timbuktu, Rechts: Askia

Am Fuße des Hohen Atlas liegt im Südosten von Marokko die Stadt Aït-Ben-Haddou. Die Stadt, die an einer alten Karawanenstraße nach Marrakesch liegt, stammt aus dem 11. Jahrhundert und besteht aus eng aneinander gebauten Lehmhäusern aus Lehmziegel oder Stampflehm. Zumeist sind es bis zu dreigeschossige Wohnburgen (Tighremt) an deren Ecken Türme angeordnet sind. In der Regel besteht der untere Teil der Tighremt in Aït-Ben-Haddou aus Stampflehm und das obere Drittel aus Lehmziegel. Solch ein Tighremt stellt eine typische Bauform der Berber dar und findet sich noch heute zahlreich in der Bergregion des Hohen Atlas. Seit 1987 befindet sich Aït-Ben-Haddou auf der Liste des UNESCO Weltkulturerbes (siehe Abbildung 9).⁴¹

³⁹ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/119/> [Zugriff am 29.01.2020]

⁴⁰ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/1139> [Zugriff am 29.01.2020]

⁴¹ Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Tighremt> [Zugriff am 29.01.2020]



Abbildung 9 – Links: Tighremt in Ait-Ben-Haddou, Mitte: Tighremt in Timit, Rechts: Chan Chan

Amerika

Die archäologische Ausgrabungsstätte Joya de Ceren in El Salvador, seit 1993 UNESCO Weltkulturerbe, beinhaltet bäuerliche Dorfstrukturen aus dem 5. Jahrhundert, die durch einen Vulkanausbruch im 6. Jahrhundert verschüttet wurden. Im Jahr 1976 wurde diese präkolumbianische Stadt von Archäologen entdeckt und man begann mit den Ausgrabungsarbeiten. Dabei wurden Überreste von an die siebzig Gebäuden entdeckt, die in Stampflehm errichtet wurden.⁴²

Eine weitere präkolumbianische Ausgrabungsstätte existiert im Norden von Peru, und zwar handelt es sich um die ehemaligen Hauptstadt des Chimú Reiches, eine Kultur die von 1250 bis 1470 nördlich von Lima neben dem Inkareich bestand, Chan Chan (siehe Abbildung 9). Es wird angenommen, dass diese Stadt ihre Hochblüte um 1300 hatte und zu dieser Zeit wohl die größte Stadt Südamerikas war. Die etwa 60000 Stadtbewohner lebten damals in Lehmhäusern und für deren sakrale Monumentalbauten den beiden Moche-Tempel, Huaca del Sol und Huaca de la Luna, dessen Errichtung an die 600 Jahre dauerte, wurden an die 140 Millionen Lehmziegel verbaut. Seit 1986 befindet sich Chan Chan auf der Liste des UNESCO-Weltkulturerbes.⁴³

Europa

Für das Mittelalter gibt es in Europa nur vereinzelt Spuren, die den Lehmbau aus dieser Epoche nachweisen. Aus Deutschland konnte über erste archäologische Funde für das Weimarer Gebiet massiver Lehmbau vermutlich in der Form von Wellerlehmabau ab dem 9. Jahrhundert nachgewiesen

⁴² Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/675> [Zugriff am 29.01.2020]

⁴³ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/366/> [Zugriff am 29.01.2020]

werden. Ab dem 12. Jahrhundert finden sich die ersten eingeschossigen Stampflehmbauten in Deutschland.⁴⁴

Gleiches kann auch für andere Regionen in Europa angenommen werden. In der Periode der Völkerwanderung im 4. bis 7. Jahrhundert sind in Tschechien, Südmähren und Österreich Spuren von Lehmhütten bzw. mit Lehm verputzen Flechtwände nachgewiesen. Dies wird beispielsweise durch die archäologischen Forschungen aus Msténice (Tschechien) und aus Pfaffenschlag (Österreich) bestätigt.⁴⁵ Im Weinviertel sind Lehmgebäude bekannt, die aus dem 14. Jahrhundert stammen. Als Beispiel sei hier das historische Bauwerk „Brandlhof“ in Radlbrunn genannt, das erstmals 1209 urkundlich erwähnt wurde, und so den Nachweis für Lehmgebäude aus dem Mittelalter liefert. Dabei kamen die unterschiedlichsten Lehmgebäudeformen zur Anwendung. So wurden sogenannte Wuzelmauern (gerollte oder „gewuzelte“ Lehmklumpen), Lehmziegel (ab etwa dem 19. Jahrhundert), Lehmputz und Lehmmörtel verbaut.⁴⁶ Des Weiteren kann man im Weinviertel noch die unzähligen Kellergassen bewundern, die das Landschaftsbild dieser Region prägen. Diese Bauwerke sind vielfach mit Lehmziegeln errichtet und finden sich beispielsweise in Haugsdorf, Röschitz, Falkenstein oder Straning.⁴⁷

Eine für Irland typische Bauweise im Mittelalter war es, die Wände aus Flechtwänden, Ständerbauten, Torf oder Erdsoden sowie Steine und Lehmwänden zu gestalten. Der Außenputz, falls er zur Anwendung kam, wurde mit einem Kalkanstrich versehen.⁴⁸

⁴⁴ Vgl. Gernot Maurer. *Richtlinien und Entwurfsansätze für Architekten beim Bau eines Hauses aus ungebrannten Steinen*, Wien, Diplomarbeit TU Wien, 2005, S. 24; Jochen Güntzel. *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland*. Kassel: Dissertation, Gesamthochschule Kassel 1986, S.13-22, und Schröder 2010, S. 13

⁴⁵ Vgl. Matuszková 2014, S. 155-158; Vera Kováru: „Erfahrungen mit der Rettung, Instandhaltung und Renovierung von traditionellen Lehmgebäuden.“ in *Lehmgebäude, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 134-138

⁴⁶ Vgl. Edgar Niemeczek: „Der „Brandlhof“ in Radlbrunn, ein Baudenkmal von agrargeschichtlicher Bedeutung“, *Denkmalpflege in Niederösterreich*, Band 33, *Weinviertel*, 2005, S. 31-32

⁴⁷ Vgl. Axel Hubmann: „Kellergassen“, *Denkmalpflege in Niederösterreich*, Band 33, *Weinviertel*, 2005, S. 23

⁴⁸ Vgl. Alan Gailey: „Rural Houses of the North of Ireland“, *Österreichische Zeitschrift für Volkskunde*, 1988, XLII Ausg., S. 98-101

Einer der ältesten noch bestehenden Stampflehmbauten aus dem Mittelalter finden sich wiederum in Frankreich. So wurde etwa der Festsaal Salle de la Diana in Montbrison aus 1295 in Stampflehm errichtet und bei Renovierungsarbeit des Schlosses La Batie d'Urfé, das aus 1331 stammt, wurden ebenfalls Wände aus dieser Bautechnik entdeckt.⁴⁹

2.2.5 Neuzeit (ca. 1500 bis ca. 1900)

Vorderasien

Die „Lehm-Wolkenkratzer“ in der jemenitischen Stadt Shibam aus dem 16. Jahrhundert sind seit 1982 UNESCO-Weltkulturerbe (siehe Abbildung 10). Diese mehrstöckigen Wohnhäuser, die aus Lehmziegeln erbaut wurden, weisen dabei teilweise ein Alter von bis zu 500 Jahren auf. Bei diesen Bauwerken verringert sich die Mauerstärke konsequent nach oben hin und ferner sind die Mauern mit Holzträgern und Holzdecken miteinander verzahnt. Shibam zeigt damit, dass nicht nur Stampflehm- sondern auch Lehmziegelbau für den mehrgeschoßigen Wohnungsbau zur Anwendung kam.⁵⁰



Abbildung 10 – Links: Shibam; Mitte und rechts: Bahla

Vom 12. bis 17. Jahrhundert war die Oasenstadt Bahla im Oman die Hauptstadt des Königreiches der Nabhani-Dynastie. Inmitten der Stadtmauer befindet sich die Festung Hisn Tamah (seit 1987 UNESCO-Weltkulturerbe), die im 17. Jahrhundert aus Lehmziegeln erbaut wurde. Die Festung besteht dabei aus 15 Toren mit unglaublichen 132 Wehrtürme (siehe Abbildung 10).⁵¹

⁴⁹ Vgl. Boltshauser 2019, S. 19

⁵⁰ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/192> [Zugriff am 29.01.2020]

⁵¹ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/433/> [Zugriff am 29.01.2020]

Asien

Eine einzigartige Lehmarchitektur weisen die „Tulou-Rundhäuser“ in Fujian (China) auf. Diese sind seit 2008 UNESCO-Weltkulturerbe und stammen aus der Hakka-Kultur. Die Errichtung der ersten Rundhäuser begann ab dem 13. Jahrhundert. Die Außenmauern dieser Häuser wurden aus meterdicken Lehmwänden zum Schutz gegen Eindringlinge von außen erbaut und besitzen dabei in der Regel nur ein einziges Eingangstor. Diese mehrstöckigen Festungen mit einem Durchmesser von hundert Meter beherbergten in ihrer Hochblüte an die 800 Personen. Die Rundhäuser dienten dabei als eine Art Dorf und wurden vertikal unterteilt. Jeder Familie standen dabei zwischen zwei und drei Zimmern als Wohneinheit zur Verfügung. Zum Unterschied zur schlichten Außenwand war der Innenbereich dieser Rundhäuser oft reichhaltig dekoriert. Es handelt sich dabei um ein herausragendes Beispiel für eine Siedlungstätigkeit in Harmonie mit ihrer Umwelt (siehe Abbildung 11).⁵²

Die Burganlage Himeji-jo (Japan) aus dem 17. Jahrhundert ist seit 1993 UNESCO-Weltkulturerbe. Sie wurde auf einem 107ha großen Areal errichtet und besteht aus 83 einzelnen Gebäuden. Die Konstruktion besteht aus Holz mit weiß verputzten Lehmwänden. Dieser weiße Putz sorgt auch für seinen Beinamen „Shirasagijo“, das so viel wie „Weiße-Reiher-Burg“ bedeutet (siehe Abbildung 11).⁵³



Abbildung 11 – Links und Mitte: Fujian; Rechts: Himeji-jo

Afrika

Die alte an der Mittelmeerküste von Algerien gelegene karthagische Handelsstadt Kasbah ist seit 1992 UNESCO-Weltkulturerbe und stammt aus dem 6. Jahrhundert v.Chr. Seine Altstadt El Djazair beherbergt heute noch eine Vielzahl von Gebäuden aus dem 16. Jahrhundert, die zum Großteil aus Lehmziegeln, Steinen und Holz sowie Lehmputzen bestehen (siehe Abbildung 12). Diese Küstenstadt

⁵² Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/1113> [Zugriff am 29.01.2020]

⁵³ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/661> [Zugriff am 29.01.2020]

ist ein herausragendes Beispiel an muslimischer Baukunst, das die Stadtplanung von Nordafrika aus auch bis nach Andalusien beeinflusste.⁵⁴

Der Gebäudekomplex Kasbah Amerhidil im Süden von Marokko aus dem 18. Jahrhundert stellt einen aus Lehm hergestellten Bau dar, der von mehreren Berberfamilien bewohnt wurde (siehe Abbildung 12). Ebenfalls in Marokko liegt Meknes, dessen historisches Zentrum seit 1996 UNESCO Weltkulturerbe ist. Es besteht aus einer Reihe von Lehmbauwerken aus dem 17. bzw. 18. Jahrhundert, die aus der Zeit stammen, als Meknes die Hauptstadt des Reiches von Sultan Mulai Imail (regierte von 1672-1727) war.⁵⁵

Das historische Zentrum von Agadez (Niger), seit 2013 UNESCO-Weltkulturerbe, besticht durch seine Moschee, die aus dem 16. Jahrhundert stammt und seinem Minarett aus 1844. Dieses gilt mit seinen 27m Höhe, hergestellt aus Lehmziegeln, als einer der höchsten Lehmtürme südlich der Sahara. Die Altstadt beinhaltet mehrere Gebäude, die in Lehmbauweise errichtet wurden (siehe Abbildung 12).⁵⁶



Abbildung 12 – Links: Kasbah; Mitte: Kasbah Amerhidil; Rechts: Agadez

Amerika

Wegen ihrer herausragenden Architektur aus der spanischen Kolonialzeit stehen in Südamerika die Städte Santa Ana de los Ríos de Cuenca (seit 1999) und San Francisco de Quito (seit 1978) beide in Ecuador sowie Coro (seit 1993) in Venezuela auf der Liste des UNESCO-Weltkulturerbes. Sie repräsentieren dabei die typische Baukunst, die mit der spanischen Conquista Anfang des 16.

⁵⁴ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/565> [Zugriff am 29.01.2020]

⁵⁵ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/793> [Zugriff am 29.01.2020]

⁵⁶ Vgl. <http://whc.unesco.org/en/list/1268> [Zugriff am 29.01.2020]

Jahrhunderts in Südamerika ihre Ausbreitung fand. Die verwendeten Bautechniken, die zur Anwendung kamen, sind „Bahareque“ (Flechtwerk mit Lehm), Lehmziegel und Stampflehm. Diese sind zumeist bis heute noch in ihrer ursprünglichen Form vorhanden. Dabei kam es teilweise zu einer architektonischen Symbiose aus lokalem Baustil, dem typischen spanischen „Mudejar“ Baustil und, wie in der 1527 gegründeten Stadt Coro der Fall, dem niederländischen Baustil. In Coro stehen beispielsweise mehr als 600 Gebäude unter dem Schutz des UNESCO-Weltkulturerbes.⁵⁷

Stellvertretend für die südamerikanischen Städte wird im Folgenden die Baugeschichte von Quito kurz skizziert. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts waren es zunächst die Inkas, die von Peru kommend die Stadt Quito annektierten. Die Herrschaft der Inkas in Quito hatte jedoch nicht langen Bestand, denn schon wenige Jahrzehnte später waren es etwa zweihundert Spanier, die im Jahr 1534 Quito im Zuge deren Conquista eroberten und am 6. Dezember auf den Ruinen der damaligen Inkastadt die Stadt San Francisco de Quito gründeten. Mit Beginn der spanischen Kolonialisierung fand eine rege Bautätigkeit statt und Quito wurde zum politischen und religiösen Zentrum in der Region ausgebaut.

Wesentlicher Bestandteil dieser Bauarbeiten war die Errichtung von zahlreichen kirchlichen Bauwerken. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Monumentalbauten von Quito angeführt, die alle mit Lehm erbaut wurden. Bereits 1538 begann man mit dem Bau der Klosteranlage San Francisco. Diese Arbeiten zogen sich dann jedoch bis in die zweite Hälfte des 17. Jahrhunderts. Dabei wird angenommen, dass das Kloster auf den Ruinen des Wohnhauses des letzten Inkaherrschers Atahualpa gegründet wurde. Die Klosteranlage Santo Domingo, deren provisorische Konstruktion bereits 1541 entstand, stammt aus 1581. Das Frauenkloster La Merced wurde erstmals im 16. Jahrhundert gebaut. Diese Anlage litt jedoch immer wieder unter den Auswirkungen verschiedener Erdbeben. Daher blieb vom ursprünglichen Bau der Klosteranlage nur die Kapelle San Juan de Letrán erhalten. Der Rest musste zwischen 1700 bis 1740 wieder komplett neu aufgebaut werden. Das Kloster San Agustin, dessen Bau zwischen 1580 und 1669 erfolgte, beeindruckt im speziellen durch seine Kirche. Die Kirchenmauern aus Lehm weisen dabei im Erdgeschoss eine Breite von bis zu zwei Metern auf, die sich dann im folgenden Geschoß auf 1,5 Meter verjüngen. Das gotische Chorgewölbe überstand sämtliche Erdbeben und ist bis heute noch im Originalzustand zu bewundern.⁵⁸

⁵⁷ Vgl. für Cuenca: <http://whc.unesco.org/en/list/863>, für Quito: <http://whc.unesco.org/en/list/2>, für Coro: <http://whc.unesco.org/en/list/658> [Zugriff am 29.01.2020]

⁵⁸ Vgl. *Serie Quito – Quito, Guía Arquitectónica*. Quito: Municipio de Quito (Dirección de planificación), 1991

Weitere historische Sakralbauten sind: La Concepcion (Errichtung 1625-1636), El Carmen Bajo (Errichtung 1725-1745), El Carmen Alto (Baubeginn 1661), Santa Clara (Baubeginn 1657), Santa Catalina (Gründung 1592, Errichtung 17. Jahrhundert), San Juan (Errichtung 16. Jahrhundert) dessen Stampflehmwände teilweise eine Breite von 1,2 Metern aufweisen, La Inmaculada (Errichtung 1874), San Diego (Gründung 1569, Fertigstellung 1625), Recoleta el Tejar (Gründung 1754), El Buen Pastor (Gründung 1601). Neben diesen Klosteranlagen gibt es noch eine große Anzahl von Kirchen, die ebenfalls aus Lehmziegeln oder Stampflehm erbaut wurden: La Catetral (Errichtung der ersten Kirche um 1535, die heutige Kirche stammt aus 1562-1565), San Marcos (Errichtung 16. Jahrhundert), San Blas (aus 1568 bzw. Neuerrichtung 1713), Santa Barbara (Gründung 1550), San Sebastian (erstmalig 1573 urkundlich erwähnt). Von der ursprünglichen Kirche San Sebastian sind heute noch die breiten Grundmauern vorhanden.

Neben diesen zahlreichen kirchlichen Bauwerken entstand auch eine Reihe öffentlicher und privater Gebäude, die nun mehrere Jahrhunderte alt sind. Darunter ist insbesondere das Spital „San Juan de Dios“ hervorzuheben. Dieses wurde bereits am 9. März 1565 gegründet und funktioniert über 400 Jahre durchgehend als Krankenhaus von Quito. Auf Grund diverser Erdbeben wurden zwar immer wieder Renovierungsarbeiten am Gebäude vorgenommen, jedoch diente es über diese lange Zeit durchgehend immer ihrem ursprünglichen Nutzen nämlich der Krankenpflege. Erst im Jahr 1974 beschloss die Stadtverwaltung das Krankenhaus zu schließen. Danach war es möglich, das Gebäude auch hinsichtlich seiner archäologischen Bedeutung zu untersuchen. Diese Forschungsarbeiten brachten interessante Details zu Tage. So nimmt man heute an, dass das Gebäude auf Resten von präkolumbianischen Strukturen steht. So wurden Keramiken aus der Zeit der Inka gefunden, wodurch man annehmen kann, dass sich hier bereits Wohnungen aus dieser Zeit befanden. Des Weiteren wurde ein Gewölbe aus Lehmziegeln entdeckt, das möglicherweise aus der Zeit von Petro de Ruanes stammt. Petro de Ruanes war jener spanische Lebensmittelhändler, von dem die Stadt 1565 mehrere Häuser erstanden hatte, um eben darin das besagte Spital San Juan de Dios zu errichten. Das ist natürlich höchst erstaunlich. Damit würde man nachweisen, dass dieses Gewölbe aus Lehmziegeln mehr als 400 Jahre standhielt und so auch mehrere Naturkatastrophen unversehrt überstand.⁵⁹

⁵⁹ Vgl. „Centro Histórico de Quito, Problemática y perspectivas“ Serie Quito (Municipio de Quito, Dirección de planificación), 1990, S. 45-50



Abbildung 13 – Quito in Ecuador, von Links nach Rechts: La Merced, San Agustín; San Francisco

Der gängige Baustoff für die historischen Altstadtbauwerke war Lehm. Dieser wurde in der Regel in der Form von Lehmziegel bzw. Stampflehm für tragende Wände sowie Lehmflechtwerk für schlankere Zwischenwände verarbeitet. Die Fundamente wurden normalerweise aus Steinquader hergestellt. Der vorherrschende Baustil war der von den Spaniern importierte maurisch gotische Stil, der als „mudejare Baustil“ bezeichnet wird. Die Mudejaren waren jene Muslime, die im Zuge der Reconquista (ab 1085 bis 1492) weiterhin in Spanien unter der christlichen Herrschaft ihre Religion praktizieren durften. Dabei prägten sie Spanien und so in weiterer Folge später auch Südamerika nachhaltig mit ihrem Handwerk und ihrer Architektur. Viele dieser Mudejare waren nämlich hervorragende Baumeister, die sich darauf verstanden mit ihren Techniken wie Mauresken, Stalaktitengewölben und Kuppeln, die spanische Architektur nachhaltig zu beeinflussen, was schließlich auch dazu beitrug, dass durch die spanische Kolonialzeit diese auch in Südamerika ihre Spuren hinterließen.⁶⁰

Europa⁶¹

Aus Tschechien sind Lehmbauten aus dem 16. und 18. Jahrhundert belegbar, die heute noch bestehen, u.a. aus 1596 in Pouzdrany (Bezirk Breclav), 1538 in Vracovice (Bezirk Usti), 1550 in

⁶⁰ Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Mud%C3%A9jares#Mud%C3%A9jarstil> [Zugriff am 29.01.2020]

⁶¹ In diesem Zusammenhang sei auf den historischen Bericht *Terra Europae, Earthen Architecture in the European Union*. Terra Incognita Earthen Architecture in Europa, 2011 zum Europäischen Lehmbau verwiesen der sich unter https://issuu.com/dida-unifi/docs/terra_europae_2143ee449be7ab online lesen lässt. Dieser zeichnet sich durch umfangreiche Beispiele von Lehmbauten aus ganz Europa aus.

Cerekvice nad Loucnou (Bezirk Svitavy) sowie in Cista aus dem Jahre 1617⁶². Für das 18. Jahrhundert ist anzunehmen, dass in dieser Zeit Lehm der vorherrschende Baustoff war. Ähnliches gilt auch für die Slowakei. Auch hier wird seit 1750 nachweislich Lehm in Form von „gesetzten“ Lehmmauern und Stampflehm betrieben.⁶³ Des Weiteren baute man auch mit Lehmwuzeln, bis sich schließlich ab 1800 der Lehmziegelbau immer mehr in dieser Region durchsetzte.

In Ungarn nahm gegen Ende des Mittelalters die Anzahl an Lehmbauten kontinuierlich zu. Dabei konnten Lehmwände aus dem 18. Jahrhundert nachweislich festgestellt werden.⁶⁴ Die unterschiedlichen Lehmbauten wurden im 18. Jahrhundert in Ungarn über südslawische, slowakische und deutsche Ansiedler errichtete. So hatten etwa deutsche Ansiedler Ende des 18. Jahrhunderts 70 bis 100cm lange Lehmwalzen in ein Pfahlgerüst eingebracht (Lehmstakenbau) und diese dann glattgestrichen. Der Lehmwellerbau kam ebenfalls zur Anwendung. Dabei wurde feuchter Lehm mit Stroh vermischt und anschließend stufenweise bis zu einer bestimmten Höhe aufgetragen und danach mit Spaten glatt abgestochen. Ferner wurden Lehmbauten in Form von Lehmputzen, die eine Größe von 20cm Durchmesser aufwiesen, zu einer Lehmwand verbaut. Auch der Lehmstampfbau wurde angewendet. Zwischen zwei Brettern wurde feuchter Lehm, der mit Stroh vermischt wurde, eingebracht und stufenweise bis zu einer bestimmten Höhe verbaut. Die Bretter wurden je nach Notwendigkeit höhergestellt bzw. versetzt und anschließend entfernt.⁶⁵

Aus Frankreich gibt es mehrere Beispiele für Stampflehmbauten, die im 16. bzw. 17. Jahrhundert errichtet wurden. Dazu gehören z.B. die Schlösser Chateau de Montbriand aus dem 17. Jahrhundert,

⁶² Belege für das 16. Jahrhundert liefern vgl. Zuzana Syrová und Jirí Syrový. „Lehm in der historischer Bauforschung und Inventarisierung der SOVAMM“ in *Lehm, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 145-148 bzw. für das 18. Jahrhundert vgl. Jitka Matuszková: „Bericht über die Ergebnisse der Feldforschung zu traditionellen Lehmbautechniken“ in *Lehm, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 155-158;

⁶³ Vgl. Anna Kiripolská: „Geplante Lehmbauten im Freilichtmuseum "Museum des slowakischen Dorfes" in Martin/Sk“ in *Lehm, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 64-68

⁶⁴ Vgl. Zsuzsa Kovács und Zsolt Sári. „Lehmarchitektur im ungarischen Freilichtmuseum Szentendre.“ in *Lehm, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 76-79

⁶⁵ Vgl. István Sztrinkó: „Volksarchitektur zwischen Donau und Theiß“, *Österreichische Zeitschrift für Volkskunde*, 1988, XLII Ausg., S. 97-98

sowie das Chateau de Vaugirard aus der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts (siehe Abbildung 14).⁶⁶ Im 18. Jahrhundert fand vor allem durch die Schriften von François Cointeraux der Stampflehm in Frankreich seine verbreitete Anwendung.⁶⁷ So wurden in dieser Bautechnik Wohnhäuser, einfache Verwaltungsgebäude, Schulen und Kirchen erbaut. Aber auch landwirtschaftliche und industrielle Gewerbebauten wurden in dieser Bautechnik hergestellt. Dies gilt im speziellen für die Region Rhone-Alpen. Später wurden ab dem 18. Jahrhundert in der Gegend um Lyon große Industriebauwerke im Stampflehm ausgeführt, die teilweise noch bis heute bestehen. Neben Industriebauten finden sich aber in den Dörfern auch unzählige verputzte Stampflehmhäuser. Später mit der zunehmenden Urbanisierung im 19. Jahrhundert fand auch in Lyon der Stampflehm seinen Aufschwung. Als jedoch im Zuge eines Hochwassers an einem einzigen Tag an die siebenhundert Häuser zerstört wurden, beschloss die Stadtverwaltung Lehmbauten stark zu reglementieren bzw. durch die einsetzende Industrialisierung kam diese Bauweise in Lyon zu keiner weiteren Anwendung mehr. Trotzdem prägen auch heute noch Lehmbauten, die vor 1900 entstanden, das Stadtbild von Lyon.⁶⁸

In der Schweiz findet man in der Region um Genf ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zahlreiche gut dokumentierte Lehmbauten, die vor allem in der Stampflehmtechnik errichtet wurden. Jedoch wurde diese Bauweise scheinbar nur hundert Jahre angewendet. Denn ab 1850 sind keine Lehmhäuser mehr nachweisbar.⁶⁹ In der Deutschschweiz kam Mitte des 19. Jahrhunderts der Holzskelettbau mit Strohlehmwickeln und seit dem 17. Jahrhundert Stampflehm in der thurgauischen Stadt Hauptwil zur Anwendung⁷⁰. Ein weiteres Zentrum des historischen Lehmbaus in Deutschschweiz stellt der Ort Fislisbach in der Nähe von Baden dar. Hier wurde nach einem verheerenden Brand von 1848 der Wiederaufbau des Ortes mit Stampflehm durchgeführt.⁷¹

⁶⁶ Vgl. Boltshauser 2019, S. 19

⁶⁷ François Cointeraux: *Der Lehm, Pisé-Baukunst*, Leipzig, 1803

⁶⁸ Vgl. Boltshauser 2019, S. 31-69

⁶⁹ Vgl. Ebda S. 84

⁷⁰ Vgl. Ebda S. 101

⁷¹ Vgl. Ebda S. 139



Abbildung 14 – links: Chateau de Montbriand; rechts: Chateau de Vaugirard

In Österreich finden sich beispielsweise in den Dörfern des Weinviertels auch heute noch zahlreiche Lehmbauten deren Datierung teilweise bis in die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts zurückreicht. Erbaut wurden diese Häuser unter Verwendung der unterschiedlichen Lehmbautechniken. Anzutreffen sind dabei Lehmziegeln, Lehmwuzeln, Lehmquader, Lehmwellerbau und Lehmputz.⁷² Die Abbildung 15 enthält unterschiedliche Beispiele bestehender Lehmbauten aus dem Weinviertel, wobei das älteste Bauwerk ein Bauernhof aus dem 14. Jahrhundert darstellt.



Abbildung 15 – von links nach rechts: Wohnhaus aus dem 18. Jahrhundert (Oberravelsbach); Vierkanthof aus 1324 überwiegend Lehmziegel mit Lehmörtel und innen Lehmgrobputz (Olbersdorf), Wohnhaus aus 1830 mit Lehmziegel (Hollabrunn); Wohnhaus in Lehmwuzeltechnik (beide aus Raschala)

⁷² Vgl. Andrea Rieger Jandl, Gerold Esser, und Ulrike Herbig. „Warum, was, wie erhalten? Weinviertler Lehmbauten zwischen Musealisierung und Wiederbelebung“ in *Lehmbau, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 100-105

Im Waldviertel war das typische Baumaterial für die Bauernhäuser/Kleinhäuser bis ins 20. Jahrhundert der luftgetrocknete Lehmziegel. Beispiele dafür sind das Tuchmacherhaus in Horn (Mitte 17. Jahrhundert) und eine Kleinhaussiedlung in Groß-Sieghards (Mitte des 18. Jahrhunderts).⁷³ In Oberösterreich wurde für die Errichtung des für diese Region typischen Vierkanthofes oft der Lehmziegel eingesetzt. Eine weitverbreitete Bauweise war es den Lehmziegel abwechselnd schichtweise mit Flussschottersteinen zu verbauen.⁷⁴

In Deutschland errichtete man 1796 in der Stadt Weilburg den höchsten Stampflehmbau. Neben diesem Bauwerk finden sich noch einige Bauwerke aus dieser Zeit, die in dieser Technik geschaffen wurden. Dies lag vor allem an der Verbreitung der Schriften des in Weilburg ansässigen Fabrikbesitzers und Regierungsbeamten Wilhelm Jakob Wimpf, der in seiner 1836 erschienenen Lehrschrift detaillierte Anleitungen zum Lehmbau lieferte.⁷⁵

In Italien ist ebenfalls der Lehmbau weitverbreitet. Angewendet wird die „*terra battuta*“ Bauweise (Stampflehmbau) in Piemont, die „*massone*“-Technik (Wellerbau) in Zentralitalien sowie an der adriatischen Küste, und „*ladiri*“ Bauweise (Lehmziegel), die die häufigste in Italien darstellt, vor allem in Kalabrien und Sardinien.⁷⁶ Als Sardinien unter der spanischen Herrschaft (1326-1718) stand, wurde die Nutzung des Lehmbaus fest verankert. So finden sich viele typische spanische Ausdrücke aus dem Lehmbau noch im sardinischen Sprachgebrauch.⁷⁷

2.2.6 20. Jahrhundert

In den Nachbarländern von Österreich wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Lehmbauweise weiterhin aktiv angewendet. Zwischen 1918 und 1928 wurden etwa in Deutschland an die 2000 Lehmhäuser erbaut. Der „Deutsche Ausschuss zur Förderung der Lehmbauweise“ eröffnete eine eigene Beratungsstelle, die über die richtige Anwendung des Lehmbaus informierte und erste

⁷³ Vgl. Tamara Wenzel: *Die Bautypen der Waldviertler Textilstraße*, Diplomarbeit TU Wien, 2007, S. 31-33 und S. 43-46

⁷⁴ Vgl. Astrid Mitterlehner: *Eferdinger Wohnen*, Diplomarbeit TU Wien, 2008, S. 19-20

⁷⁵ Vgl. Maurer 2005, 26-31

⁷⁶ Vgl. Ebda S. 31-33

⁷⁷ Vgl. Toccafondi 2015, S. 22

wissenschaftliche Untersuchung etwa zu Druckfestigkeit und dem Brandverhalten von Lehm durchführte. Allein im Jahr 1928 fanden 29 Sachverständigentagungen zum Thema Lehmabbau statt.⁷⁸

Schließlich erschien im Oktober 1944 für Deutschland eine „Verordnung über Lehmabbauten (Lehmabbauordnung)“. Ergänzend zu dieser Lehmabbauordnung wurden 1947 die „Ausführungsbestimmungen zur Lehmabbauordnung“ erlassen und ebenfalls aus diesem Jahr stammt die DIN 1169 „Lehmmörtel für Mauerwerk und Putz“. Betreffend den Regelwerken verfolgten nach dem zweiten Weltkrieg die beiden deutschen Staaten dann eine unterschiedliche Vorgangsweise. In der Bundesrepublik Deutschland wurde mit der Publikation der DIN 18951 „Lehmabbauten Vorschriften für die Ausführung“ im Blatt 1 die Lehmabbauordnung wortwörtlich wiedergegeben und in Blatt 2 dieser Norm wurden die Regelungen zu den Ausführungsbestimmungen aus 1947 überführt. Ferner wurden die Normentwürfe DIN 18952 bis DIN 18957 erstellt, die jedoch nur einen Vornormenstatus erreichen sollten. Diese wurden somit nie bauaufsichtlich in der BRD eingeführt. In der Deutschen Demokratischen Republik wurden die Regelwerke aus 1951 zunächst noch anerkannt, jedoch bereits 1953 mit dem Regelwerk „Begriffe, Anwendungen und Verarbeitung des Baustoffs Lehm (Lehmabbauordnung)“ ersetzt sowie die „Anweisung zur Anordnung über die Anwendung der Lehmabbauweise“ publiziert. Vor allem in der DDR wurde die Lehmabbautätigkeit fortgesetzt. Es wurde nochmals über 17000 Gebäude geschaffen und eigene Lehmabbauschulen eingerichtet. Mit 1960 endete jedoch diese Tätigkeit in der DDR.⁷⁹

In Ungarn lebten zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch an die 80% der Bevölkerung in Lehmabbauten, die zumeist aus Lehmziegel hergestellt wurden. In den 1960er Jahren begann ihre Verwendung jedoch abzunehmen und bis 1990 sank die Zahl der Lehmabbauten auf 20%. Dies wurde auch durch die Propaganda des kommunistischen Regimes (1949-1989) über ein Hausbauprogramm beschleunigt, in dem die Behörden nur mehr Baugenehmigungen für Häuser aus gebrannten Ziegeln, Beton oder ähnlichen Baustoffen erteilten.⁸⁰ Ähnliches war aber auch in den westlichen Ländern bekannt, nur eben auf subtilere Art und Weise. Der Lehmabbau wurde kurzerhand zum nicht mehr standesgemäßen Baustoff degradiert, der nur Armut und Rückständigkeit suggeriert, und wer seinen neuen Wohlstand

⁷⁸ Vgl. Maurer 2005, S. 25

⁷⁹ Vgl. Ulrich Röhlen und Christof Ziegert. *Lehmabbau-Praxis: Planung und Ausführung*. Berlin: Beuth Verlag, 2020, S. 333, Maurer 2005, S. 25 und Güntzel 1986, S. 170

⁸⁰ Vgl. Kovács 2014, S. 76-79

entsprechend repräsentieren möchte, verwendete moderne Baustoffe wie Beton oder gebrannte Ziegel.

Dies führte in der BRD etwa dazu, dass 1971 die bestehenden DIN-Normen aus den 50er Jahren zurückgezogen wurden mit dem Argument, dass diese von keiner wirtschaftlichen Bedeutung mehr seien.⁸¹ Das Ende der rechtlichen Rahmenbedingungen der DDR ist hingegen unklar.⁸²

In den 1980er und frühen 1990er Jahren gab es in Deutschland für den Lehmbau unklare baurechtliche Grundlagen. Zumeist lief diese auf eine Prüfung für den Einzelfall hinaus. Dies änderte sich Ende der 1990er Jahren als das Deutsche Institut für Bautechnik den Dachverband Lehm e.V. (DIBt) mit der Erstellung einer bauaufsichtlichen Grundlage beauftragte und man begann ein allgemeines Regelwerk zum Lehmbau auszuarbeiten. Schließlich beschloss 1998 die Arbeitsgemeinschaft der Landesbauministerien (ARGE Bau) die neu entstandenen Lehmbau Regeln in die „Musterliste der Technischen Baubestimmungen des DIBt“ aufzunehmen.⁸³

2.3 Historische schriftlich belegbare Quellen für Regelungen zum Lehmbau

2.3.1 Keilschriften aus dem Neolithikum

Ab der Mitte des 3. Jahrtausends v.Chr. sind bereits schriftliche Aufzeichnungen aus dem Alten Orient bekannt. Die Texte wurden dabei zumeist in Tontafeln, Tonzylindern oder Steinstelen mit einem spitzen Griffel eingeritzt. In dieser Form wurde auch das Bauwissen in Mesopotamien überliefert.⁸⁴ Ton wurde dabei deshalb als Schriftträger gewählt, weil dieses Material zum einen günstig bzw. weitverbreitet war und zum anderen dauerhaft sowie witterungsbeständig ist. Es kann daher angenommen werden, dass man versuchte, bautechnisches und logistisches Wissen über die Aufzeichnungen auf Tontafeln für längere Zeiträume sicher zu stellen.⁸⁵

⁸¹ Vgl. Güntzel 1986, S. 170

⁸² Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 333

⁸³ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 334

⁸⁴ Vgl. Renn (Band I) 2014, S. 281-296 und 340

⁸⁵ Vgl. Ebda S. 342-343

Das altorientalische Bauwissen liegt derzeit nur fragmentarisch vor. Dazu gehören Keilschriften über Omen, Bauberichte, Baubeschreibungen, Bauinschriften bis hin zu Vertragstexten, Rechnungen und Bauzeichnungen.⁸⁶ Wichtige bauschriftliche Texte stellen dabei u.a. die Gesetzestexte von Hammurapi und die beiden Omina „*iqqur ipuš*“ und „*šumma ālu ina mēlê*“ dar. Ferner kann über die teils umfangreiche Korrespondenz von Bauprojekten nachvollzogen werden, dass es auch zu Finanzierung, Organisation und Bauaufsicht bereits schriftliche Regelungen gab.

Die Omina „*iqqur ipuš*“ (übersetzt: „*Er riss ein, er baute auf*“) wurde zu Beginn des 2. Jahrtausends v.Chr. in akkadischer Sprache verfasst. Es handelt sich dabei um eine kalendarische Omina, das zu Folge des babylonischen Kalenders, der in 12 Monaten mit je 30 Tagen (inklusive der Schaltmonate) unterteilt ist, Inhalte zu Bautätigkeiten festhielt. In den Abschnitten 1 bis 66 werden Themen zur Errichtung und Renovierung von Gebäuden sowie Tempelanlagen, Kultbauten und Kultobjekten behandelt.⁸⁷

Eine weitere bedeutende Schriftreihe bildete das terrestrische Omina „*šumma ālu ina mēlê šakin*“ (übersetzt „*Wenn eine Stadt auf einer Anhöhe liegt*“). Diese Serie besteht aus 120 Tontafeln und beschäftigt sich mit Siedlungsfragen zur damaligen Zeit. Viele von diesen Omen beginnen mit dem Worten „*Wenn zu viele Menschen vor Ort sind*“ und in der Folge wird beschrieben, welche negativen Konsequenzen damit verbunden sein können. Inhalte sind Ausführungen zur Fundamentierung von Gebäuden, Türen in Tempeln, Palästen und Häusern, Mauereinsturz sowie Grabstättenbau.⁸⁸

Ein weiterer Meilenstein betreffend baugesetzliche Regelungen stellte der „*Kodex Hammurapi*“ dar. Dabei handelt es sich um Rechtssprüche aus dem 18. Jahrhundert v.Chr., die vom babylonischen König Hammurapi (1792-1750 v.Chr.) verfasst wurden. Für den Baumeister wurde in den Paragraphen 228 bis 233 folgende Regelungen definiert:

„Ein Baumeister hat für einen Mann ein Haus gebaut und er hat es fertig hergestellt, so wird er ihm für je ein Sar des Hauses zwei Seqel Silber als Geschenk geben. Ein Baumeister hat für einen Mann ein Haus gebaut, sein Werk (aber) nicht fest gemacht, und das Haus, das er gemacht hat, ist eingefallen und hat den Eigentümer des Hauses getötet, so wird jener Baumeister getötet. Es hat ein Kind des Eigentümers des Hauses getötet, so wird man ein Kind

⁸⁶ Vgl. Ebda S. 336

⁸⁷ Vgl. Barbara Böck: *Divination (Alter Orient)*, *Das wissenschaftliche Bibellexikon im Internet (WiBiLex)*, 2016, <http://www.bibelwissenschaft.de/stichwort/16497> [Zugriff am 13.11.2019]

⁸⁸ Vgl. Renn (Band I) 2014, S. 288-289

jenes Baumeisters töten. Es hat einen Sklaven des Eigentümers des Hauses getötet, so wird er Sklaven für Sklaven dem Eigentümer des Hauses geben. Er hat Besitz zugrunde gerichtet, so wird er alles, was er zugrunde gerichtet hat, ersetzen, und weil er das Haus, das er gebaut hat, nicht festgemacht hat und es eingefallen ist, so wird er aus seinem eignen Vermögen das Haus, das eingefallen ist, (wieder) aufbauen. Ein Baumeister hat für einen Mann ein Haus gebaut, sein Werk aber nicht haltbar gemacht und eine Wand ist eingefallen, so wird selbiger Baumeister von seinem eignen Gelde selbige Wand befestigen.⁸⁹

Die verwendeten Baumaterialien zu dieser Zeit waren Lehm zur Ziegelherstellung, in der Regel luftgetrocknet und nur in besonderen Fällen gebrannt, Schilf und Bitumen. Der letztgenannte Baustoff stammte aus Zentralmesopotamien und diente vor allem als Abdichtungsprodukt bzw. Klebemittel. Über mathematische Texte kann man auch genormte Ziegelmaße rekonstruieren, die zu dieser Zeit festgelegt wurden. So finden sich hier Bezeichnungen für den luftgetrockneten oder gebrannten Ziegel mit sieben unterschiedlichen Ziegelmaßen. Für den luftgetrockneten Ziegel wurden beispielsweise die Maße 25x17x8cm, 30x20x8cm und 33x33x10cm als Standardmaß definiert. Mathematische Texte aus dieser Zeit reflektieren auch sehr anschaulich, dass bereits fundiertes Wissen über Planungstätigkeiten vorlag. So wurde etwa dokumentiert, dass durch die Trocknung des Ziegels in der Sonne sich das Ziegelgewicht um 20% reduziert und beim Brennen um ein Drittel. Festgehalten wurde das Arbeitspensum für Ziegelherstellung und –transport sowie Abschätzung für die benötigten Ziegelmenge für das jeweilige Bauprojekt. Auch der Arbeitsvorgang für die Herstellung von gebrannten Ziegeln wurde bereits genau beschrieben.⁹⁰

Des Weiteren belegen Funde von Keilzeichnungen, dass für diverse Bauwerke bereits Bauzeichnungen angefertigt wurden. Abbildung 16 zeigt etwa ein Beispiel für solch einen Bauplan für ein Wohnhaus in Umma.⁹¹ Diese Skizzen, die zumeist aus Grundrissen und Ansichten bestanden, wurden über das Einritzen in Tontafeln erstellt. Diese waren zumeist nicht maßstäbliche Zeichnungen, sondern stellten vielmehr den Versuch einer richtigen Proportionswiedergabe dar. Maßangaben wurden neben der Zeichnung angegeben oder auf separaten Tafeln schriftlich aufgezeichnet. Diese Tafeln wurden zumeist zur Baukontrolle auf der Baustelle herangezogen. Dies lässt sich durch die in den Tafeln eingetragenen Korrekturinträge nachvollziehen. Sie dienten aber

⁸⁹ Vgl.: Edition Alpha et Omega: Deutsche Übersetzung nach Hugo Gressmann, Berlin, 1926, S. 380ff.

⁹⁰ Vgl. Renn (Band I) 2014, S. 325-326

⁹¹ Umma war eine sumerische Stadt in Süd-Mesopotamien. Von dieser Stadt sind nur noch Ruinen vorhanden, die im heutigen Irak liegen.

auch zur Überlieferung von Bauinformationen vor allem von staatlichen Monumentalbauten, um den Erhalt dieser sicherzustellen.⁹²



Abbildung 16 – Tontafel eines Hauses aus Umma (links: Vorderseite der Tafel, rechts: Rückseite)⁹³

2.3.2 Ägyptische Quellen

Neben Mesopotamien und China stellt Ägypten eine der ältesten Hochkulturen dar. Zu den wichtigsten Baumaterialien der Ägypter zählte neben den Natursteinen (Sand- und Kalkstein) luftgetrocknete Lehmziegel, die aus Nilschlamm hergestellt wurden. Der Nilschlamm hatte generell einen wesentlichen Anteil für den Bauerfolg der Ägypter. Zum einen wurde er massenhaft für die Lehmziegelherstellung verwendet (z.B. wurde die Ziegelpyramide von Seostris III in Dahschur mit geschätzten 24,5 Millionen Lehmziegeln erbaut)⁹⁴ und zum anderen weist der Schlamm eine ausgezeichnete Gleiteigenschaft auf, mit der der Weitertransport von Steinen wesentlich erleichtert

⁹² Vgl. Renn (Band I) 2014, S. 361

⁹³ Renn (Band I) 2014, Abbildung 6.3

⁹⁴ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 70

wurde.⁹⁵ Zudem waren es die Ägypter, die den Lehmziegel erstmals für den Gewölbebau einsetzten. Diese wurden ohne Verwendung eines Lehrgerüsts hergestellt.⁹⁶

Die Kenntnisse über das Bauen der Ägypter lassen sich heute über zahlreiche Quellen aus dieser Zeit nachvollziehen. So findet man noch Verwaltungstexte, Briefe, autobiografische Schriften von Beamten, Bauinschriften am Bauwerk selbst bis hin zu Schultexten über mathematische Aufgaben zur Architektur. Baupläne sind weniger vorhanden, jedoch war es bei den Ägyptern auch typisch, für Bauwerke Detailmodelle (siehe Abbildung 17) anzufertigen, die sich wiederum bis heute erhielten. Diese Architekturmodelle weisen nicht nur einen hohen Grad an Form und Proportionen auf, sondern es wurden in diesen auch einzelne Arbeitsschritte festgehalten. Neben diesen Modellen verwendeten die Ägypter bereits Papyrus als Schreibunterlage, das wahrscheinlich auch für die Herstellung von Bauplänen verwendet wurde. Mit ein Grund, warum angenommen werden kann, warum Baupläne heute weniger vorhanden sind, da Papier nicht so dauerhaft ist.⁹⁷



Abbildung 17 – Kalksteinmodell für die Pyramide des Königs Amenemhet III⁹⁸

Für die Lehmziegelherstellung kann angenommen werden, dass das praktische Handwerkswissen im Wesentlichen von Generation zu Generation mündlich weitergegeben wurde. Dennoch finden sich auch schriftliche Überlieferungen, die die einzelnen Arbeitsschritte für die Lehmziegelherstellung anschaulich darstellen.

⁹⁵ Experimente ergaben, dass ein Stein mit einem Gewicht von fünf Tonnen auf Grund der Gleiteigenschaften des Nilschlammes bei einer Steigung von 0% von sechs Mann bewegt werden konnte (vgl. Renn (Band II) 2014, S. 79).

⁹⁶ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 85

⁹⁷ Vgl. Ebda S. 101-102

⁹⁸ Ebda Abbildung 1.9

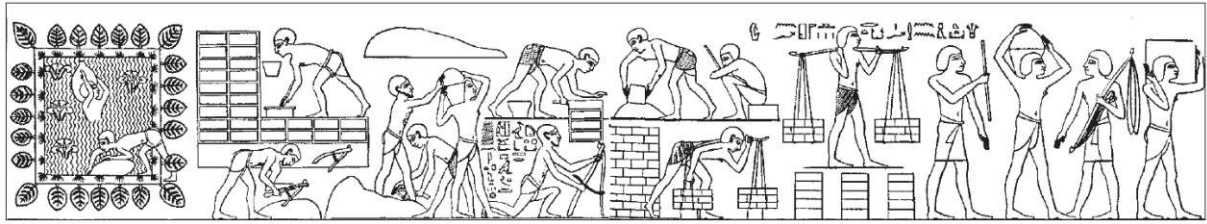


Abbildung 18 – Lehmziegelherstellung zur Zeit des Wesir Rechmire (1500 v.Chr.)⁹⁹

Im Grab des altägyptischen Wesir Rechmire (1500 v.Chr.) wurden Hieroglyphen gefunden, die zeigen, wie die Ziegelherstellung damals funktionierte. Die Abbildung 18 stellt einen kleinen Ausschnitt dar, der die Aufbereitung des Lehmes und die Ziegelherstellung illustriert. Es handelt sich dabei wohl um die ersten Aufzeichnungen zur Lehmziegelherstellung. Zu Beginn des Bildes werden zwei Arbeiter dargestellt, die den Lehm aus dem Nil aufbereiten. Anschließend wird dieser Lehm von zwei anderen Arbeitern mittels Hacken aufbereitet und mit Stroh durchmischt. In Körben wird der Lehm zum sogenannten Ziegelstreicher getragen, der dann den Baulehm in Holzformen einarbeitet und anschließend zur Trocknung in der Sonne lagert. Von diesem Lehmziegelstapel werden dann durch einen Arbeiter die Ziegel an die Baustelle getragen. Die Arbeiter, die auf diesen Hieroglyphen dargestellt sind, waren zumeist Israeliten, wie dies auch in der Bibel beschrieben wird: *„Darum zwangen sie die Israeliten erbarmungslos zu harter Arbeit und machten ihnen das Leben schwer: Sie mussten aus Lehm Ziegel herstellen und auf den Feldern arbeiten.“* (2. Mose 1, 13-14) und weiter heißt es im 2. Mose 5,7-8 als Moses und Aaron vom Pharao um drei Tage Urlaub baten, um ihren Gott zu huldigen, und dieser sie dann folgendermaßen bestrafte: *„Ab sofort wird den Israeliten kein Stroh mehr für die Herstellung von Lehmziegeln geliefert! Schickt sie los, sie sollen selber Stroh sammeln! Trotzdem müssen sie täglich genauso viele Ziegel abliefern wie bisher. Diese Leute sind faul geworden, nur deshalb jammern sie nach einem Opferfest für ihren Gott!“*

Ebenfalls aus dieser Zeit, 1500 v.Chr., stammt die Darstellung der Königin Hatschepsut (Regierungszeit von 1479-1458 v.Chr.), in der sie bei der Lehmziegelherstellung gezeigt wird (siehe Abbildung 19). Diese Darstellung unterstreicht die Bedeutung, die dem Lehmziegel in dieser Zeit angedacht wurde.¹⁰⁰

⁹⁹ Willi Bender: *Vom Ziegelgott zum Industrieelektroniker*, Herausgeber: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. Bonn, 2004, Abbildung 3.2



Abbildung 19 – Königin Hatschepsut bei der Lehmziegelherstellung¹⁰⁰

2.3.3 Griechische Quellen

Zur Zeit der griechischen Antike wurde das Wissen zur Bautechnik auf unterschiedliche Weise dokumentiert. Zum einen wurden Texte in Form von Inschriften festgehalten und zum anderen gab es bereits damals mehrere Architekten, die ihr Wissen in Büchern festhielten. Leider sind von den Büchern die meisten nicht mehr vorhanden. Doch über die beiden römischen Schriftsteller Vitruvius und Plinius die in ihren Büchern immer wieder auf griechische Quellen verweisen und über das „*Handbuch der Mechanik*“ von Philon von Byzanz, kann die Existenz dieser Schriften als sicher angenommen werden.

Als Baumaterialien wurden in dieser Zeit vor allem Holz, Stein, Lehm, Ton und Kalkmilch verwendet. Die Fundamente bestanden in der Regel aus Bruchsteinen, die im Lehmbett verlegt wurden. Für das aufgehende Mauerwerk wurden Lehmziegel mit oder ohne Holzfachwerk verwendet. Neben dem Lehmziegel, der als wichtigstes Wandmaterial galt, kam auch Stampflehm zur Anwendung. Diese Bauweise wurde sowohl für Wohn- und Nutzbauten als auch für Stadtmauern und Sakralbauten herangezogen. Gebrannte Ziegel bzw. Backsteine spielten in der griechischen Antike noch keine Rolle. Die Außenwand wurde mit Kalkmilch bzw. Kalkputz vor den äußeren Witterungseinflüssen geschützt. Die Dachbedeckung erfolgte durch Dachziegel aus gebranntem Ton.¹⁰¹

In jener Zeit wurden Verwaltungstexte in Steininschriften festgehalten, die auch Angaben über Bauorganisation und Bauverwaltung enthielten. In diesen Inschriften finden sich Informationen über Baubeschlüsse, Beschreibungen der Projektdurchführung, Stücklisten inkl. technischer

¹⁰⁰ Schröder 2010, Bild 1.8

¹⁰¹ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 190-196

Spezifikationen, Leistungsverträge zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer, periodische Rechenschaftsberichte und teilweise auch schon allgemeine gesetzlichen Regelungen für den Bau (Art Bauvertrag).¹⁰²

Neben den Inschriften gab es in der griechischen Antike bereits Sachtexte über das Bauen, die auf das Ende des 6. Jahrhunderts v.Chr. zurückgehen. Ein Beispiel solcher Texte stellt das spätere Werk von Philon von Byzanz¹⁰³ dar. In seinem „*Handbuch der Mechanik*“, das insgesamt aus neuen Büchern besteht, beschrieb er unter anderem in seinem siebten Buch, wie ein Festungsbau zu erfolgen hat. In diesem finden sich Textpassagen über Konstruktionsdetails von Bauwerken bzw. Bauteilen sowie Maßangaben, die für die Stabilität einer Konstruktion von Relevanz sind. So beschreibt Philon beispielsweise wie ein Kragsteingewölbe auszuführen ist unter der Mitverwendung von Lehmziegeln. Dieses siebente Buch ist wie das vierte, fünfte und achte noch heute vorhanden. Die restlichen Bücher sind im Laufe der Zeit verloren gegangen.¹⁰⁴

Die Arbeiten der römischen Schriftsteller Vitruvius und Plinius beweisen jedoch, dass zu deren Lebzeiten noch weitere griechische Architekturschriften zur Verfügung standen. Vitruvius gibt dazu in seinem Buch „*Baukunst*“ eine umfangreiche Liste von griechischen Architekten an, die ihr Wissen in Büchern festhielten. Für die meisten von Vitruvius genannten griechischen Schriftsteller, nennt er auch Bauwerke, die diese errichteten. Festzustellen ist, dass die beiden römischen Autoren Angaben zum Bauprozess machten, die man nachträglich am fertiggestellten Bauwerk nicht gewinnen hätte können. Dies beweist, dass es diese griechischen Schriften tatsächlich gab und dass sie zur Römerzeit noch verfügbar waren.¹⁰⁵ Vitruvius nannte dabei folgende griechische Autoren: „*Nexaris, Theocydes, Demophilos, Pollis, Leonides, Silanion, Melampus, Sarnacus, Euphranor; ingleichen haben viele über die Mechanik geschrieben, z. B. Kliades, Architas, Archimedes, Ktesibios, Nymphodorus, Philo aus Byzanz, Diphilos, Demokles, Charidas, Polyidos, Phyros, Agesistrates.*“¹⁰⁶ Ferner liefert Vitruvius typische Lehmziegelabmessungen, die die Griechen verwendeten, und Angaben über deren Mauerwerke.

¹⁰² Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 134

¹⁰³ Philon von Byzanz (280-220 v. Chr.) war ein griechischer Erfinder und Konstrukteur.

¹⁰⁴ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 240

¹⁰⁵ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 236-238

¹⁰⁶ Rode 1796, Vorrede zum siebten Buch, S. 90

2.3.4 Römische Quellen

Für die römische Baukunst dienten vor allem die Kenntnisse des hellenistischen Ostens als eine der wichtigsten Grundlagen. Es waren griechische Architekten, die zu Beginn des 2. Jahrhunderts v.Chr. von Osten nach Rom kamen, um hier ihr Wissen an den Römern weiterzugeben. Dieser Wissenstransfer erfolgte nicht nur praktisch durch griechische Baumeister, sondern auch durch das Studium griechischer Schriften, wie in Abschnitt 2.3.3 bereits ausgeführt wurde. Dies kann etwa durch die Schriften von Vitruvius nachgewiesen werden, der sich in seiner Arbeit immer wieder auf griechische Schriftsteller berief.¹⁰⁷ Neben den Griechen erlernten die Römer auch von den Etruskern diverse Bautechniken, so etwa die Holz-Lehmziegel-Technik, die anfangs im römischen Tempelbau zur Anwendung kam, noch bevor die Griechen nach Rom gelangten.¹⁰⁸

Mitte des zweiten Jahrhunderts v.Chr. begannen erste römische Fachschriftsteller sich in ihren Werken auch indirekt mit dem Thema des Bauens auseinanderzusetzen. In diesem Zusammenhang sind folgende Schriften zu nennen, die sich zwar vor allem dem Thema der Landwirtschaft widmeten, jedoch auch am Rande Hinweise auf das vorhandene Bauwissen liefern:

- Marcus Porcius Cato der Ältere (234-149 v.Chr.): *De agri cultura* (ca. 150 v. Chr.)
- Marcus Terentius Varro (116-27 v.Chr.): *De re rustica* (37 v.Chr.)
- Lucius Iunius Moderatus Columella (4-70 n.Chr.): *De re rustica* (erste Hälfte des 1. Jahrhunderts n.Chr.)

So liefert das Buch „*De agri cultura*“ von Cato im Abschnitt über die Errichtung eines Gutshofes (*villa rustica*) bauhandwerkliche Angaben für den Bau von Mauern z.B. Kalkanteil des Mörtels, notwendige Tiefe des Fundaments, Wandstärke oder Putz bei Verwendung von Natursteinen oder Lehmziegeln. Des Weiteren finden sich in diesem Buch Ausführungen, wie ein Bauvertrag auszusehen hat, der in der Forschung als „*catonisches Bauformular*“ eingegangen ist.¹⁰⁹

Welche Baumaterialien verwendet wurden lässt sich zum einen über die noch vorhandenen Bauobjekte ableiten und zum anderen über die Bücher von Vitruvius und Plinius. Holz spielte eine wichtige Rolle.

¹⁰⁷ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 380-381

¹⁰⁸ Vgl. Ebda S. 387

¹⁰⁹ Vgl. http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cato/De_Agricultura/A*.html [Zugriff am 29.01.2020]

Dieser Baustoff wurde für den Fachwerkbau, Decken und Dachstühle und für den Innenausbau eingesetzt. Plinius widmete in seiner „*Naturalis historia*“ nicht weniger als sechs Bücher (12. bis 17. Buch) diesem Baustoff. Er nannte in diesem Zusammenhang den griechischen Philosophen und Naturforscher Theophrast von Eresos (371-287 v.Chr.) ein bedeutender Schüler des Aristoteles (384-322 v.Chr.), dessen Schriften er u.a. für seine Abhandlung heranzog. Für den in Rom üblichen mehrgeschoßigen Wohnungsbau wurde lange vor allem das Fachwerk aus Holz, Lehm und Stein eingesetzt. Neben dem Lehmziegel kam auch das mit Lehm beworfene Flechtwerk zur Anwendung. Natursteine der unterschiedlichsten Gesteinsarten wurden von den Römern ebenfalls als Baustoff eingesetzt. Der gebrannte Ziegel kam erste relativ spät ab der Regierungszeit des Tiberius (42 v.Chr.-37 n.Chr.) vermehrt zum Einsatz, was erstaunlich ist, da die Technik bekannt war und die dafür erforderlichen Materialien immer vorhanden waren. Als eine der größten Errungenschaften der römischen Baumeister gilt jedoch die Entdeckung des Betons und der Einsatz dieses Baustoffes für den Gewölbebau.¹¹⁰ In der Zeit nach der Antike wurde dann nie wieder bis ins 19. Jahrhundert mit dieser Bautechnik gebaut.

Als das Hauptwerk über das Bauwissen zur römischen Baukunst sind die Bücher von Vitruvius „*De architectura libri decem*“ zu nennen und das enzyklopädische Werk von Plinius dem Älteren „*Naturalis historia*“. Neben den genannten Publikationen liefern auch Bauinschriften Angaben zum Bauentwurf, Baumaterial und Bautechnik.¹¹¹ Ferner waren Architekturzeichnungen zur Zeit der Römer ebenfalls bekannt und wurden für die Planungen eingesetzt.¹¹²

„*De architectura libri decem*“ von Vitruvius

Der römische Architekt Marcus Vitruvius Pollio (zw. 80 und 70 - 15 v.Chr.) erlangte vor allem als Architekturtheoretiker bereits zu Lebzeiten Bekanntheit. Er verfasste unter dem Titel: „*De architectura libri decem*“ (übersetzt: die zehn Bücher über die Architektur) eine universale Schriftenreihe über die Architektur der Antike. Diese Bücher entstanden zwischen 33 und 22 v.Chr.

In der antiken Literatur stieß das Werk von Vitruvius noch auf kein großes Echo. Bekannt sind nur die Erwähnungen von Sextus Julius Frontinus (römischer Schriftsteller im ersten Jahrhundert), Marcus

¹¹⁰ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 300-322

¹¹¹ Vgl. Ebda S. 276

¹¹² Vgl. Ebda S. 286-289

Cetius Faventinus (3. Jahrhundert) und eben Plinius in deren Werken. Ab der Spätantike und dem Mittelalter wurde der Text jedoch immer wieder aufgegriffen. So sind etwa achtzig mittelalterliche Manuskripte über Vitruvius bekannt. Erwähnung fand sein Werk etwa durch Einhard (770-840) einem fränkischen Gelehrten und Autor der karolingischen Renaissance zurzeit von Karl dem Großen. Spätestens ab der Renaissance stieg die Bekanntheit von Vitruvius Werk. Der italienische Humanist Poggio Bracciolini (1380-1459) fand 1416 in der St. Galler Klosterbibliothek eine Handschrift von Vitruvius, die 1486 als Buch zum ersten Mal durch Giovanni Sulpicio abgedruckt wurde. Ab diesem Zeitpunkt begann man auch das Werk vom Lateinischen in die jeweiligen Landessprachen zu übersetzen.¹¹³ Die ersten Übersetzungen waren:

- 1521: Cesare Cesariano (1477-1543) ins Italienische
- 1524: Francesco Lucio Durantino (Ende 15 Jh. - Mitte 16. Jh.) ins Italienische
- 1536: Giovan Battista Caporali (1476-1560) ins Italienische
- 1556: Daniele Barbaro (1513-1570) ins Italienische
- 1548: Walther Hermann Ryff (1500-1548) ins Deutsche
- 1547: Jean Martin ins Französische
- 1624: Henry Wotton (1568-1639) ins Englische
- 1684: Claude Perrault (1613-1688) ins Französische
- 1711 bzw. 1791: William Newton (1735-1790) ins Englische
- 1787: Joseph Ortiz y Sanz (1739-1822) ins Spanische¹¹⁴

Diese umfangreichen Übersetzungen beweisen, dass das Werk ab der Renaissance bekannt war und angewendet wurde. Schließlich war es August von Rode (1751-1837), der das Werk von Vitruvius erneut komplett ins Deutsche übersetzte, und 1796 in Leipzig unter dem Titel „*Des Marcus Vitruvius Pollio Baukunst*“ veröffentlichte. Diese Übersetzung stellte für den deutschsprachigen Raum bis ins 20. Jahrhundert das Standardwerk für die Übersetzung von Vitruvius dar und wird im Rahmen dieser Arbeit für die deutschen Texte von Vitruvius herangezogen.

Das Werk von Vitruvius umfasst zehn Bücher, die folgende Bereiche abdecken:

1. Buch: Eigenschaften und Typen der Baukunst, Bauplatzwahl und städtebauliche Elemente
2. Buch: Baumaterialien: Lehmziegel, Sand, Kalk, Puzzolan, Steinbrüche, Mauerwerk, Bauholz

¹¹³ Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Vitruv#Rezeption> [Zugriff am 29.01.2020]

¹¹⁴ Vgl. Rode 1796, VII-XVI

3. Buch: Bau von Tempelanlagen
4. Buch: Säulenarten, Gebälk, dorische Bauart, Anordnung von Tempelanlagen
5. Buch: Öffentlichen Gebäuden (u.a. Basiliken, Rathaus, Theater, Häfen)
6. Buch: Private und landwirtschaftliche Gebäude
7. Buch: Innenausbau von Gebäuden betreffend Estrich, Malerei, Feuchträume etc.
8. Buch: Siedlungswasserbau wie Wasserleitungen, Zisternen, Aufsuchen von Wasser etc.
9. Buch: Astronomie wie Lauf der Sonne, Sternbilder etc.
10. Buch: Maschinenbau: Hebezeug, Ziehmaschine, Schöpfräder, Wassermühlen, etc.

Vitruvius hatte das Ziel, das vorhandene praktische Bauwissen nicht nur für die Architekten in schriftlicher Form zusammenzufassen, sondern auch für die privaten und öffentlichen Bauherrn erklärbar zu machen. Er lieferte dabei unter anderem Angaben über die zu verwendenden Baustoffe und Baukonstruktionen. Dabei ist sein Buch im richtigen geschichtlichen Kontext zu lesen. Eine wesentliche Grundlage für sein Werk waren die Aussagen der hellenistischen Architekten, auf die er immer wieder verwies. Des Weiteren war zu seiner Zeit etwa der gebrannte Ziegel zwar bereits bekannt, jedoch wurde er noch nicht in der Form angewendet, wie dies in den späteren Jahren der Fall war. Dazu kam, dass er zwar im zweiten Buch die Puzzolanerde nennt, aber noch nicht die spätere einzigartige Entwicklung des römischen Betons für die Verwendung zum Mauer- und Gewölbebau erahnen konnte.

Diese Tatsache sei es dann aber auch geschuldet bzw. reichte zum Vorteil für den Lehmbau, dass das zweite Buch, in dem die Baumaterialien zurzeit von Vitruvius beschrieben werden, Vitruvius ein eigenes Kapitel dem Lehmziegel widmete. Als Einleitung zu seinem zweiten Buch machte sich Vitruvius zunächst Gedanken über den Ursprung der Häuser und wie es dazu kam, dass der Mensch begann sich erste, schlichte Wohnräume zu schaffen:

„[...] die Einen aus Laube Obdächer [sic] zu machen, die Andern Höhlen unter Bergen zu graben, und noch andere, in Nachahmung der Schwalben in dem Baue ihrer Nester, aus Lehm oder Reiseren Hütten zu ihrer Wohnung zu verfertigen. [...] Zuerst errichtete man Gabelhölzer [...] flocht Reiser [...] darzwischen [sic] und bekleidete die Wände mit Lehm. Darauf trockneten einige Lehmstücke und erbaueten [sic] davon, vermitteltst Fachwerks [...] Wände, welche sie zum Schutz vor Regen und Sonnenhitze mit Schilf [...] und Laube bedeckten. Als aber nachmals während des Winters dieses flache Dach den Regen nicht abhielt, errichteten sie Giebel [...] überzogen diese mit Lehm, und leiteten, indem sie die Dächer schräg machten, die Traufe ab.“¹¹⁵

¹¹⁵ Rode 1796, S. 64

Als Beweis für seine Schilderung zum Lehmbau führte Vitruvius nachfolgend an, dass dies die gängige Bauart für Gallien, Spanien, Lusitanien (eine römische Provinz, das ungefähr das heutige Portugal umfasste), Aquitanien (eine römische Provinz im Südwesten von Frankreich) sei und weiterhin diese Bauweisen angewendet wird. Ferner führte er aus: „*Nicht minder sieht man zu Massilien¹¹⁶ [sic] Häuser, welche mit Lehm, worein Spreu geknetet, gedeckt sind. Zu Athen ist als Denkmal des Alterthums [sic] noch bis auf den heutigen Tag das lehmerne [sic] Dach des Areopagus vorhanden.*“¹¹⁷

Im dritten Kapitel des zweiten Buches befasste sich nun Vitruvius ausführlich mit dem Lehmziegel, in dem er Aussagen betreffend Zusammensetzung, Herstellung, Abmessung und Verarbeitung liefert.

Lehmzusammensetzung zur Ziegelherstellung:

„[...] Man muß [sic] die Ziegel weder aus sandigem, noch steinigem [...] noch griesigem [sic] [...] Lehme verfertigen; denn, wenn sie aus irgend einer dieser Lehmarten gestrichen werden, so sind sie erstlich [sic] schwer, und dann werden sie, wenn sie der Regen in den Mauern benetzt, abgewaschen und aufgelöst [sic]; auch verbinden sich diese Lehmarten, wegen ihrer Magerkeit [...] nicht mit der hineingemengten Spreu [...]. Man verfertige sie aus weißlicher, kreidiger [sic], oder rother [sic] Erde; oder allenfalls auch aus männlichem Sande [...] denn diese Erdarten haben, ihrer Fettigkeit [...] wegen, viel Festigkeit, drücken die Gebäude nicht durch ihre Last, und lassen sich gut kneten [...].“¹¹⁸

Unter dem „*männlichem Sande*“ verstand man laut Rode einen groben, hartkörnigen Sand, der mit Ton vermischt ist, und durch das Reiben nicht mehr kleiner gemacht werden kann. Für die Herstellung der Lehmziegel verwendeten die Römer Lehm und Zuschlagsstoffe wie Sand und Stroh.¹¹⁹ Auch Vitruvius erwähnt die Verwendung von Stroh in der Form von „*hineingemengten Spreu*“.

Herstellung von Lehmziegel:

„Man streiche sie im Frühjahr und Herbste, damit sie gleich mäßig [...] trockenen; denn die, so in der Sonnenwende gestrichen werden, haben den Fehler, daß [sic] sie von der heftigen Sonnenhitze äußerlich eine Kruste bekommen und trocken scheinen, wann sie innerlich noch feucht sind; daher sie denn bey [sic] fernerem Trockenen schwinden, wodurch dasjenige, so bereits trocken war, springt, sie Risse bekommen, und unbrauchbar werden.

¹¹⁶ Gemeint ist hier die französische Hafenstadt Marseille.

¹¹⁷ Rode 1796, S. 66

¹¹⁸ Ebda S. 69-70

¹¹⁹ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 307

Am allerbrauchbarsten sind die Ziegel, welche zwey [sic] Jahr zuvor gestrichen worden sind; denn eher können sie nicht durchaus trocken seyn [sic]. Vermauert man sie aber, wenn sie noch weich und nicht ganz trocken sind, so können sie, während daß [sic] die Bekleidung [...] womit sie überzogen worden, fest stehen bleibt, sie selbst aber sich setzen [...], nicht die nehmliche [sic] Höhe als die Bekleidung behalten; sie lassen also von derselben durch die Bewegung bey[m] [sic] Schwinden ab, und trennen sich davon. Die Bekleidung aber ist zu dünn, als daß [sic] sie für sich selbst bestehen könnte, wenn sie von der Mauer abgesondert ist; sie zerspringt also; auch bekommt die Mauer selbst Risse, indem sich ein Theil [sic] derselben mehr senkt als der andere. Aus diesem Grunde dürfen zu Utika¹²⁰ die Ziegel nicht eher vermauert werden, als bis sie von einer Obrigkeitlichen Person besichtigt und, als vor fünf Jahren gestrichen, trocken befunden worden sind.¹²¹

Nach Vitruvius erfolgt die Herstellung des Lehmziegels am besten im Frühjahr oder im Herbst. Der aufbereitete Lehm soll dabei in Holzrahmen eingebracht und abgestrichen werden. Lehmziegel, die im Sommer hergestellt werden, haben nach Vitruvius den Nachteil, dass sie außen rasch abtrocknen und so eine ausreichende Trocknung im Inneren behindern. Dies hat zur Folge, dass der Ziegel auf Grund von Schwindrissen unbrauchbar wird. Als Trocknungszeit gibt Vitruvius zwei Jahre an, um sicherzugehen zu können, dass der Schwindungsprozess abgeschlossen ist und es zu keiner Rissbildung des Putzes kommen kann. Strengere Regeln gab es zurzeit von Vitruvius scheinbar in der nordafrikanischen Stadt Utika, wo die Trocknungszeit mit fünf Jahren angegeben wurde und eine behördliche Prüfung vorgeschrieben war.

Ziegelarten:

„Es giebt drey [sic] Arten der Ziegel. Die erste, welche die Griechen Lydion¹²² nennen, ist die bey [sic] uns übliche, anderthalb Fuß lang und Einen Fuß breit. Der beyden [sic] übrigen Arten bedienen die Griechen sich zu ihren Gebäuden. Eine derselben heißt Pentadoron und die andere Tetradoron. Doron nennen die Griechen die flache Hand, die Querhand [sic]; und dieserhalb [sic] auch ein Geschenk, weil solches gewöhnlich auf der flachen Hand dargebracht wird. Der Ziegel nun, welcher fünf Querhände ins Gevierte hat, heißt Pentadoron; und der, welcher vier hat, Tetradoron. Aus Pentadoron werden öffentliche, aus Tetradoron aber Privatgebäude erbaut.

Von jeder dieser Arten werden auch Halbziegel [...] gestrichen.¹²³

¹²⁰ Utika war eine römische Stadt in Tunesien und hatte zurzeit von Vitruvius den Rang einer freien Stadt mit gewissen Sonderrechten. Seine Blütezeit erlebte Utika im 2. Jahrhundert n. Chr.

¹²¹ Rode 1796, S. 70-71

¹²² Lydion oder auch Lydischer Ziegel genannt aus Griechenland hatte die Abmessungen von 44,4x29,6cm.

¹²³ Ebda S. 71

Die Abmessung der Lehmziegel war mit den Maßen 1x1,5 Fuß (30x45cm) bereits standardisiert. Zur Höhe des Lehmziegels lieferte hingegen Vitruvius keine Angaben. Des Weiteren liefert Vitruvius noch Angaben für das in Griechenland verwendete Ziegelmaß. Diese beiden Ziegeltypen dürfte er der griechischen Literatur entnommen haben und wurden von den römischen Baumeistern üblicherweise nicht mehr verwendet.

Verlegung:

Zur Verlegung der Lehmziegel liefert Vitruvius zum richtigen Ziegelversatz ebenfalls Angaben:

„In den Mauern legt man diese wechselsweise [sic] mit den ganzen Ziegeln zum Anfange der Steinreihen [...]. Da man die Reihen genau nach der Schnur [...] legt, so entsteht durch diese wechselnden Lagen [...] die Verbindung der Mauer [...]; denn der Steine Mittel trifft allemal auf eine Fuge [...], wodurch das Ganze nicht allein Festigkeit, sondern auch gefälliges Ansehen gewinnt.“¹²⁴

Sonderform eines Ziegels

„Die Ziegel, welche zu Calentum und Maxilua¹²⁵ im jenseitigen Spanien, und zu Pitana in Asien gestrichen werden, schwimmen, wenn sie trocken sind [...] auf dem Wasser. Wahrscheinlich schwimmen sie darum, weil die Erde, woraus sie gemacht werden, bimssteinartig ist; da diese nun leicht ist, so läßt [sic] sie weder, noch zieht sie, wenn sie an der Luft getrocknet ist, Feuchtigkeit ein, und muß [sic] also, vermöge dieser leichten und löcherigen Beschaffenheit, und vermöge der Eigenschaft, daß [sic] sie keine Feuchtigkeit in sich eindringen läßt [sic], der Natur der Dinge nach nothwendig [sic], von welchem Gewichte sie auch immer seyn [sic] möge, gleich wie der Bimsstein, vom Wasser empor gehalten werden. Dergleichen Ziegel sind von großem Nutzen, weil sie weder durch Schwere die Gebäude drücken, noch bey [sic] der Verfertigung durch die Witterung aufgelöst [sic] werden.“¹²⁶

Interessant ist die Erwähnung von Vitruvius betreffend den Lehmziegeln, die dem Bimsstein gleichen, und dass diese bereits in Andalusien zur Anwendung kamen und auch den römischen Baumeistern bekannt waren. Diese Ziegelart ermöglichte es auch, Gewölbe mit Lehm herzustellen, das etwa von den mudejaren Baumeistern in Südamerika Jahrhunderte später bei den kolonialen Sakralbauten erfolgreich angewendet wurde.

¹²⁴ Ebda S. 71-72

¹²⁵ Beides sind Städte im heutigen Andalusien.

¹²⁶ Ebda S. 72-74

Mauerwerk

Die Römer kannten mehrere unterschiedliche Arten von Mauerwerken. Im Wesentlichen können diese nach folgenden Typen unterschieden werden, wobei es noch regional unterschiedliche Sonderformen gab:

- Opus incertum: Die Schalen bestehen aus Natursteinen (meist Kalkstein).
- Opus reticulatum: Dieses Verblendungsmauerwerk besteht aus relativ kleinen regelmäßig verlegten Natursteinen, deren Fugen diagonal angeordnet sind. Für die Gussmasse wurden grob zugespitzten Steine verwendet.
- Opus quadratum und opus vittatum: Dafür wurden regelmäßig behauene Natursteine verlegt.
- Opus testaceum (opus latericium): für die gebrannten Ziegel bzw. Lehmziegel
- Opus mixtum: gebrannte Ziegel in Kombinationen mit allen anderen Arten von Mauerwerk, zB Naturstein mit gebrannten Ziegel¹²⁷

Von Vitruvius wurden in seinem achten Kapitel des zweiten Buches für das Errichten eines Mauerwerkes aus Natursteinen nur das opus reticulatum und opus incertum behandelt. Diese beiden Mauertypen werden in der Regel mehrschalig ausgeführt. Für das einschalige Mauerwerk aus Natursteinen hält Vitruvius fest, dass dieses nicht länger als achtzig Jahre standhält und das in Bezug auf die Wertermittlung wie folgt vorzugehen ist:

„Das Mauerwerk hingegen, so aus einem weichen, glatt gearbeiteten Steine verfertiget ist, hat zwar ein schönes Ansehen, ist aber keinesweges [sic] dauerhaft; wenn daher dergleichen - gemeinschaftliche Wände durch Schiedsrichter besichtigt werden, so werden sie nicht so hoch taxirt [sic], als sie zu erbauen gekostet haben; sondern, nachdem man aus den Baukontrakte die Errichtung derselben erörtert hat, so zieht man von den Baukosten für jedes verflossene Jahr ein Achtzigtheil [sic] ab, und bestimmt ihren Werth nach dem Reste, indem als entschieden angenommen wird, daß [sic] eine solche Mauer nicht länger als achtzig Jahre stehen könne.“¹²⁸

Anders verhält es sich nach Vitruvius für Mauern aus Lehmziegeln. Hier wird kein Abschlag wie oben ausgeführt verrechnet, da man hier von einer langen Dauerhaftigkeit ausgehen kann. „[...] sie werden zu jeder Zeit eben so viel werth [sic] gehalten, als sie zu erbauen gekostet haben. Dieserhalb [sic] sieht man auch in einigen Städten sowohl öffentliche, als privat, ja auch königliche Gebäude, welche aus

¹²⁷ Vgl. Renn (Band II) 2014, S. 324-332

Ziegeln erbauet sind“.¹²⁸ Als Nachweis dafür führte Vitruvius Bauanlagen an, die zu seiner Zeit bestanden: die Stadtmauer und Tempelanlagen aus Athen, die Stadtmauer zu Aretium (Italien), den Palast der Attalischen Könige aus Tralles (Türkei) und die Paläste des Crösus aus Sardes (Türkei) bzw. Halikarnas (Türkei). Anhand dieser Beispiele folgerte Vitruvius, dass Mauerwerke, die aus Lehmziegel hergestellt wurden, von langer Dauerhaftigkeit sind.

In Rom selbst wurden dennoch in der Regel nicht Mauern aus Lehmziegeln errichtet. Dies lag an den für Rom damals geltenden gesetzlichen Bestimmungen. Auf Grund von Bauplatzmangel (*„bey dieser ungeheuren Bevölkerung, werden auch unzählige Wohnungen erfordert“*¹²⁹) war es untersagt, Mauern breiter als *„anderthalb Fuß“*¹²⁹ (45cm) zu errichten. Da solche breiten Mauern aus Lehmziegeln nicht mehr als ein Stockwerk tragen können, kam diese Bauweise in Rom nicht zur Ausführung. Dazu hält Vitruvius fest, dass *„Ziegelmauern aber, wenn sie nicht zwey oder drey Ziegel dick sondern bloß anderthalb Fuß stark sind, vermögen nicht mehr, als ein einziges Stockwerk zu tragen.“*¹²⁹ Daraus lassen sich auch die damals geltenden Vorgaben ableiten, die hinsichtlich notwendiger Mauerstärken für ein Lehmmauerwerk bestanden. Außerhalb der Stadt wurde jedoch sehr wohl diese Bauweise erfolgreich eingesetzt. Dazu hält Vitruvius noch weitere Anforderungen für das Mauerwerk hergestellt aus Lehmziegeln fest:

*„Ganz oben auf der Mauer führe man unter dem Dache ein Mauerwerk aus Brandsteinen, ohngefähr anderthalb Fuß hoch, auf, welches mit einer auslaufenden Kranzleiste versehen: und die dabey gewöhnlichen Gebrechen sind verhütet! Denn zerbricht etwa ein Dachstein, oder wird vom Winde herabgeworfen, so daß es durchregnet: so läßt diese Brandsteinerne Schutzmauer die Ziegel vom Regenwasser nicht verderben, sondern die ausgeladene Kranzleiste läßt solches schräg abtropfen, und erhält also die Ziegelmauer unversehrt.“*¹³⁰

Für den Wohnungsbau wurden zwar wie zuvor erwähnt auf Grund der angestrebten Gebäudehöhe in Rom keine Lehmziegel eingesetzt, jedoch verwendete man für die Ausfachung des Fachwerkes Lehm. Die Wohnhäuser dürften dabei eine Höhe von über zwanzig Meter erreicht haben. Denn unter dem Kaiser Augustus (63 v.Chr. - 14 n.Chr.) wurde für den Wohnungsbau erstmals eine gesetzliche Einschränkung für die Gebäudehöhe von siebenzig Fuß (ca. 21m) fixiert, und später unter Traian (53-117) wurde diese nochmals auf sechzig Fuß reduziert. Gerade zurzeit von Augustus wurde im Wohnungsbau weder mit römischem Beton noch gebrannten Ziegeln gebaut. Die vorherrschende

¹²⁸ Rode 1796, S. 89

¹²⁹ Ebda S. 94

¹³⁰ Rode 1796, S. 95

Bauweise war das Fachwerk. Die Qualität dieser Hochhäuser war aber offenbar problematisch. Denn nicht nur Strabon¹³¹ (63 v.Chr.-23 n.Chr.) berichtet in seinem Buch über die Geografie über die permanent Einsturzgefahr, die diese Bauweise herbeiführte,¹³² sondern auch Vitruvius äußerte sich in seinem Kapitel über das Mauerwerk sehr kritisch zu dieser Bauweise: „[...] möcht' ich wünschen, wäre nie erfunden worden! denn je vortheilhafter [sic] es in Ansehung der Geschwindigkeit und des Raums ist, um desto mehr ist es in Rücksicht der Feuersgefahr dem gemeinen Wesen nachtheilig, [sic] da es sich gleich Fakkeln [sic] entzündet.“¹³³

Daher empfiehlt Vitruvius nur im Notfall diese Bautechnik anzuwenden und liefert nur bezüglich der Ausführung der Holzschwellen Angaben in seinem Buch: „Man mauere den Grund hoch auf, damit die Schwellen weder verschüttet werden, noch mit dem Fußboden [sic] [...] gleich zu liegen kommen; sonst verfaulen sie mit der Zeit, senken und neigen sich und zersprengen die Bekleidung.“¹³³

„Naturalis historia“ von Plinius

Gaius Plinius Secundus Maior, auch Plinius der Ältere genannt, (23 oder 24 - 79 n.Chr.) erwähnte in seiner Schrift „Naturalis historia“ ebenfalls mehrmals den Lehm- und Fachwerkbau. Die „Naturalis historia“ (deutsch „Naturforschung“ oder „Naturgeschichte“), die 77 n.Chr. entstand, ist eine Enzyklopädie über die Naturwissenschaft und gliedert sich in 37 Büchern mit insgesamt 2493 Kapiteln. Die behandelten Themen reichen dabei von Kosmologie, Astronomie, Geografie und Ethnologie, Anthropologie über Zoologie, Botanik, Acker- und Gartenbau. Auch die Medizin und Metallurgie, Mineralogie bis bildende Kunst finden hier ihren Platz.

Das Werk von Plinius wurde bereits von seinen römischen Zeitgenossen regelmäßig zitiert. Im Mittelalter wurde die „Naturalis historia“ immer wieder gerade in unterschiedlichen enzyklopädischen Werken als Grundlage herangezogen. Dies galt vor allem für die Kleriker in den Klöstern sowie den Gelehrten des Mittelalters. Der Text von Plinius wurde dabei immer wieder als Lehrbuch verwendet. Die erste deutschsprachige Übersetzung erfolgte 1543 durch Heinrich von

¹³¹ Strabon war ein griechischer Geograph. Sein wichtigstes Werk stellte das aus 17 Bänden bestehende Buch „Geographie“ dar, das geografische und historische Inhalte aufweist.

¹³² Vgl. Renn (Band II) S. 303

¹³³ Rode 1796, S. 96

Eppendorff. In der vorliegenden Arbeit wird die Übersetzung von Georg Christoph Wittstein, die 1881/82 veröffentlicht wurde, herangezogen.¹³⁴

In seinem siebten Buch „*Von der Entstehung und Beschaffenheit der Menschen, und von der Erfindung der Künste*“ berichtete Plinius über die Trispithamer¹³⁵ und Pygmäer, laut Plinius eines der ältesten Völker der Erde, wie folgt: „*ihre Wohnungen bereiten sie aus Lehm, Federn und Eierschalen.*“¹³⁶ Nach Plinius lebte dieses Volk in Indien „*in einer sehr gesunden, stets grünenden und durch Berge gegen Norden geschützten Gegend.*“¹³⁶ Etwas später führte Plinius weiter aus: „*Nach Gellius¹³⁷ ist Toxius, ein Sohn des Cälus¹³⁸, der Erfinder der Lehmgebäude; er richtete sich dabei nach den Nestern der Schwalben.*“¹³⁹

Im 35. Buch mit dem Titel „*Von der Malerei und den Farben*“ behandelt das Kapitel 48 „*Von den geformten Wänden*“ die Herstellung von Stampflehmwänden:

„Aber wie? Halten sich nicht in Spanien und Afrika Wände aus Erde, welche geformte heißen [sic], weil sie, in einer Form auf beiden Flächen mit Brettern umgeben befindlich, mehr eingestopft [sic] als eingemauert werden, Jahrhunderte lang, trotz dem Regen, Wind, Feuer und sind dauerhafter als alles Gemäuer? Noch sieht man in Spanien Hannibals aus Erde errichteten Warten und Thürme [sic] auf den Spitzen der Berge. Hieher [sic] gehört auch die Eigenschaft der Rasen, die Fluthen [sic] abzuhalten, was sie zu Wällen um Lager und Dämmen so geeignet macht. Wem ist es nicht bekannt, dass die Hürden der Wände mit Lehm überzogen und mit rohen Ziegeln ausgemauert werden?“¹⁴⁰

Und ebenfalls im 35. Buch beschreibt Plinius im Kapitel 49 „*Ziegelsteine*“ den Lehmziegel. In seiner Ausführung bediente sich Plinius zur Gänze dem Werk von Vitruvius. Neben römischen Schriftsteller

¹³⁴ Vgl. Wikipedia https://de.wikipedia.org/wiki/Naturalis_historia#Rezeption (Zugriff am 29.01.2020)

¹³⁵ Trispithamoi (griechisch) bedeutet „drei Spannen“, das eine Größenangabe darstellt. Gemeint ist dabei die Länge zwischen Daumen- und Kleinfingerspitze, etwa 23 Zentimeter.

¹³⁶ Wittstein (2. Band) 1882, S. 10

¹³⁷ Gnaeus Gellius (2. Jahrhundert v. Chr.) war ein römischer Geschichtsschreiber.

¹³⁸ Cälus ist der römische Himmelsgott.

¹³⁹ Wittstein (2. Band) 1881, S.70

¹⁴⁰ Wittstein (6. Band) 1881, S. 163-164

griff Plinius in dieser Abhandlung so wie es auch schon Vitruvius tat auf eine Reihe von griechischen Autoren zurück.

„Ziegelsteine soll man nicht aus grob- oder feinsandigem, noch weniger aus einem steinigem, sondern aus einem thonigem [sic] [...] und weisslichem [sic] [...] Boden oder aus Röthel [sic] [...], und wenn ja aus einem sandigem, wenigstens doch aus einem hartsandigem Boden formen. Man macht sie am besten im Frühjahre, denn im Sommer bekommen sie Risse. Für Gebäude wählt man nur solche, welche zwei Jahre alt sind. Die Masse aus welcher sie gestrichen werden, erfordert zuvor eine sorgfältige Durcharbeitung. Man hat drei Arten: lydische, welche wir gebrauchen, 1 1/2 Fuss [sic] [...] lang und 1 Fuss [sic] breit, 4 Querhände lange und 5 Querhände breite. Die alten Griechen nannten die flache Hand Doros [sic] und Geschenke Dora, weil sie mit der Hand gegeben werden; nach dem Quermaasse [sic] der flachen Hand führen dann jene beiden letztern [sic] Ziegel-Arten den Namen, und ihre Breite ist der Länge gleich. In Griechenland bedient man sich der kleinern [sic] bei Privat-, der grössern [sic] bei öffentlichen Gebäuden. Zu Pitana in Asien, in Maxilua und Calentum, Städten des jenseitigen Spaniens, macht man Ziegelsteine, welche getrocknet nicht im Wasser untersinken; das Material dazu ist nämlich eine Art Bimsstein und sehr empfehlenswerth[sic]. Die Griechen haben, ausser [sic] wenn der Bau mit harten Kieselsteinen aufgeführt werden konnte, immer Ziegelsteinwände vorgezogen, denn diese dauern ewig, wenn sie nach dem Bleiloth [sic] errichtet sind. Die Ziegelsteine waren daher das Material zur Erbauung der öffentlichen und königlichen Paläste [...]. [...] In Rom bauet man die Häuser nicht damit, weil eine anderthalb Fuss [sic] dicke Wand nur ein Stockwerk trägt.“¹⁴¹

Plinius beschrieb noch im 36. Buch „Von den Steinen“ im Kapitel 17 „Von der ägyptischen Sphinx“ den Bau der ägyptischen Pyramiden. Dabei, so Plinius, wurden für deren Errichtung Rampen aus Lehmsteinen verwendet und anschließend nach Fertigstellung der Pyramiden wurden die Lehmsteine für den Hausbau wiederverwendet: *„Andere sagen, man habe aus Lehmsteinen Brücken gebauet [sic], und, nachdem der Bau fertig gewesen, die Lehmsteine zum Bau von Privathäusern verwendet,“¹⁴².*

„Germania“ von Tacitus

Der römische Historiker und Senator Gaius Cornelius Tacitus (55-115 n.Chr.) beschrieb in seiner Abhandlung über die Germanen „Germania“ im Abschnitt 16 deren Haus- und Wohnungsbau. Die Übersetzung von *"materia"* mit Bauholz, könnte genauso aber auch auf ein Material wie Lehm hinweisen, vielleicht ein Flechtwerk aus Holz, das mit Lehm verschmiert ist, wäre dabei auch denkbar.¹⁴³ Das würde aber bedeuten, dass Tacitus nicht die Schriften von Plinius und Vitruvius

¹⁴¹ Ebda S. 164-165

¹⁴² Vgl. Ebda S. 198

¹⁴³ Vgl. Roland Meingast: „Nachweis historischer Lehmbautechniken in Ostösterreich“ in *Lehmbau, Tradition und Moderne*, Atzenbrugg, 2014, S. 21-27

kannte. Denn beide bezeichneten Lehm mit „*lutum*“¹⁴⁴. Feststeht, dass Lehm als Baustoff bei den Germanen seine Verwendung fand.

Original:

(16,3) *ne caementorum quidem apud illos aut tegularum usus: materia ad omnia utuntur informi et citra speciem aut delectationem. quaedam loca diligentius inlinunt terra ita pura ac splendente, ut picturam ac lineamenta colorum imitetur.*

Übersetzung

(16,3) *Nicht einmal Bausteine oder Ziegeln sind bei ihnen im Gebrauch: Unförmiges Bauholz verwenden sie zu allem, ohne Ansehen und Anmut. Einige Stellen bestreichen sie besonders sorgfältig mit einer Erdart von solcher Reinheit und solchem Glanz, dass es wie Malerei und Farbzeichnung aussieht.*

2.3.5 Mittelalterliche Quellen

Im Mittelalter lassen sich keine Quellen über schriftliche Dokumente zum Lehmbau belegen. Dies gilt vor allem für Europa. Es werden zwar die Werke etwa von Vitruvius studiert (siehe Abschnitt 2.3.4) aber eigenständige Schriften lassen sich kaum nachweisen.

Einer dieser wenigen europäischen Baumeister, die schriftliche Aufzeichnungen verfassten, war Villard de Honnecourt (1200-1235). Honnecourt war ein französischer Künstler und erlangte durch sein Skizzenbuch an Bedeutung, das im 19. Jahrhundert entdeckt wurde. Es handelt sich dabei um eine der frühesten Zeichnungen zur Architektur aus dem Mittelalter und stellt ein außerordentliches Werk über das architektonische und technische Wissen aus der Zeit der gotischen Kathedralen dar. Sein Buch beinhaltet im Wesentlichen Informationen zu den Steinbauten, die diese Zeit bestimmten.

Zu Beginn des Mittelalters gab es weder allgemein anerkannte Gesetze noch Regelungen betreffend dem Bauwesen. Mit Gründung der ersten europäischen Städte ab dem 11. Jahrhundert änderte sich das dann. Erste Bauvorschriften wurden wieder verfasst, die vor allem Maßnahmen zum Brandschutz bzw. Qualitätssicherung der verwendeten Baumaterialien enthielten.

2.3.6 Neuzeitliche Gesetzestexte bis 1848

Mit Beginn des 16. Jahrhunderts bedeutete der Anstieg einer vermehrten Bautätigkeit, dass sich für die einzelnen Arbeitsvorgänge immer mehr Spezialisierungen herauskristallisierten. Dies führte in

¹⁴⁴ Vgl. Rode 1796, S. 27 (Wörterbuch)

weiterer Konsequenz dazu, dass es notwendig wurde für die unterschiedlichen Bereiche Vorschriften und Standards zu definieren. Dies betraf insbesondere auch den Bausektor. So begann man Bestimmungen nicht nur für den gebrannten Ziegel zu erstellen, sondern auch für die unterschiedlichen Lehmbautechniken, und es entstanden in Europa erste vereinfachte Bauordnungen, die zumeist auch die gebrannten Ziegel bzw. den Lehmziegel betrafen.

Zu dieser Zeit wurde in Deutschland in der Herrschaft zu Burkheim am Kaiserstuhl die erste Ziegelordnung herausgegeben.¹⁴⁵ Etwa zeitgleich dazu entstand auch die erste Bauordnung für Württemberg. Die unter dem Herzog Christoph von Württemberg stattfindende rege Bautätigkeit führte dazu, dass man begann eine erste Bauordnung für das Herzogtum zu erstellen. Deren Ausarbeitung nahm über zwölf Jahre in Anspruch und wurde schlussendlich 1568 als die erste Württembergische Bauordnung erlassen. Zu dieser Zeit ist auch eine Kundmachung für den Lehm aus Sachsen bekannt. 1575 wurde diese „*Generalbestellung für Forstbedienten*“ für Sachsen beschlossen, in der das Verbauen von Holz nur dann erlaubt wurde, wenn die Verwendung von Steinen oder Lehm für das untere Geschoss unmöglich ist.¹⁴⁶ 1764 forderte der preußische König Friedrich II (1712-1786) in einem Erlass die Einführung des Massivlehmbaus in Preußen und gleiches passierte 1786 in Sachsen. Hier erfolgte neben dem Massivlehm auch die Einführung des Fachwerkbau.¹⁴⁷

Ähnliches passierte auch in Österreich. In die Regierungszeit Leopold I. (1640–1705) fiel ein kaiserliches Patent, das die Ziegelabmessungen bestimmte. Einige Jahre später erweiterte Karl VI. (1685-1740) die Bestimmungen für gebrannte Ziegel, indem er am 13. April 1715 ein Patent betreffend Ziegelherstellung erließ. Darin war u.a. die Ziegelabmessung, dessen Verkaufspreis aber auch eine Kennzeichnungspflicht für jeden Ziegel geregelt: „*die Ziegel mit einem eigenen gewissen und kennbaren Zeichen bei Vermeidung schwerer und wohl empfindlicher Bestrafung gewiss und unfehlbar gezeichnet werden*“.¹⁴⁸ Auf die Regentschaft von Karl VI. folgte dessen Tochter Maria Theresia (1717-1780) als Kaiserin. In ihrer Regierungszeit fiel die Verfassung des ersten

¹⁴⁵ Quelle: https://www2.landesarchiv-bw.de/ofs21/bild_zoom/zoom.php (Zugriff am 03.01.2020)

¹⁴⁶ Vgl. Maurer 2005, S. 24

¹⁴⁷ Vgl. Maurer 2005, S. 24

¹⁴⁸ Gerhard Zsutty: *Ziegelstempel - Ziegelzeichen, Beispiele aus dem Ziegelmuseum*, Bonn, Bundesverband Deutscher Ziegelindustrie, 2005, S. 5 und vgl. Bender 2004, S. 394

Gesetzbuches, dem „Theresianischen Gesetzbuch“, das auch einige Baubestimmungen für das damalige Kaiserreich beinhaltet. So finden sich darin auch wichtige Bestimmungen zum Lehmbau wie auch den gebrannten Ziegeln.

Theresianisches Gesetzbuch (1740 – 1780)

Mitte des 18. Jahrhunderts unter der Herrschaft der damaligen Kaiserin Maria Theresia von Österreich fand eine erste umfassende Reformpolitik statt, in der die Staatsorganisation und so auch das Justizwesen einer Vereinheitlichung unterworfen wurde. In jener Zeit des aufgeklärten Absolutismus und einer Wirtschaftspolitik im Sinne des Merkantilismus wurde erstmalig versucht, das Gerichtswesen und so auch die Gesetzgebung für die damalige Habsburger-Monarchie zu vereinheitlichen. Es waren dies die ersten Vorläufer für das Allgemeine Bürgerliche Gesetzbuch. Und so erschienen unter dem Titel „*Theresianisches Gesetzbuch*“ (1740–1780) in acht Bänden eine Sammlung aller k. k. Verordnungen und Gesetze.

Auch Regelungen zum Bau fanden sich in diesen ersten Gesetzesbüchern. So regelte die Verordnung Nr. 47 vom 2. Mai 1748 für Wien die Herstellung von gebrannten Ziegeln: *„Die Ziegelöfeninnhaber [sic] sind dahin zu verhalten, daß [sic] sie jede [sic] Sorte Ziegel nach den zimentirten [sic] Modellen verfertigen, und unter nicht theuern [sic] als um den gesetzten Preis bei schwerer Bestrafung verkaufen.“*¹⁴⁹

Mit dem Hofreskript Nr. 280 (für Böhmen bzw. Österreich vom 21. bzw. 26. Juli 1753) wurde per Gesetz verordnet, dass künftig auf dem Land die Gebäude nicht gänzlich aus Holz auszuführen sind. Dies hatte zwei Gründe, zum einen aus dem auftretenden Mangel an Bauholz und zum anderen an der zunehmenden Brandgefahr von Holzbauwerken.¹⁵⁰ In diesem Dekret wurde für Neubauten gefordert, dass wenigsten das Erdgeschoss aus Lehmziegeln („*egiptischen [sic] oder ungebrannten [sic] Ziegeln*“) zu errichten sind:

„Zur Verschonung und Erhaltung der Wälder wird künftig in den Landstädten, Marktflecken und Dörfern wenigstens der untere Stock an den neuaufzuführenden Häusern, wie auch die

¹⁴⁹ Joseph Kropatschek: Hrsg. *K. k. Theresianisches Gesetzbuch, enthaltend die Gesetze von den Jahren 1740 bis 1780 in einer chronologischen Ordnung und sistematischen Verbindung*, 8 Bde, Wien, 1789, 1. Band, S. 43

¹⁵⁰ Vgl. Güntzel 1986, S. 55-59

Stadel oder Scheuern und Stallungen nach und nach von Steinen, oder sogenannten egyptischen [sic] oder ungebrannten [sic] Ziegeln aufzubauen anbefohlen".¹⁵¹

Unter dem Aspekt der Brandgefahr ist auch die „*Hofentschliessung*“ Nr. 1310 vom 11. Juni 1771 zu verstehen: „*Es soll kein einziges neues Gebäude in Wien es sei so gering als es wolle, wieder mit Schindeln, sondern alles mit Ziegeln gedeckt werden.*“¹⁵²

In die Regierungszeit der Kaiserin Maria Theresia wurde auch 1750 das Ziegelbrenn-Privileg, das das Brennen von Ziegeln nur auf den Adel, Klerus und Städte erlaubte, aufgehoben, sodass ab diesem Zeitpunkt jedermann Ziegel brennen durfte. Diese Aufhebung wurde 1773 durch ein kaiserliches Patent nochmals bestätigt.¹⁵³ Dieser Umstand wurde auch durch die von Ferdinand Ramml durchgeführte Untersuchung an Ziegelöfen im Bezirk Mistelbach und Gänserndorf bestätigt. In dieser Arbeit wurde nachgewiesen, dass die Errichtung und der Betrieb von Ziegeleien schon vor 1848 auch für die Bauern gestattet war und nicht nur alleiniges Recht für den Adel, Klerus und die Städte darstellte, was lange Zeit angenommen wurde. So findet man in den Bezirken Mistelbach und Gänserndorf unzählige rustikale Ziegelöfen, die bereits ab 1750 durch Bauern betrieben wurden. Jedoch räumte Ramml ein, dass es oft für den Bauern bei der Einreichung zur Errichtung einer Ziegelei auch vorkam, dass diese mit der Begründung des Verlustes an Ackerboden manchmal abgelehnt wurde. Ein weiterer Grund, warum die Errichtung von Häusern aus gebrannten Ziegeln selten vorkam, war, dass es für die Mehrzahl der Bevölkerung dieser Baustoff oft einfach nicht finanzierbar war. Daher gab es vielmehr in kleineren Ortschaften öffentliche Lehmgruben, aus denen die Gemeindebewohner Lehm für den Eigenbedarf an Lehmziegelherstellung entnehmen durften.¹⁵⁴

Josefinische Gesetzbuch (1780 – 1789)

Auf Maria Theresia folgte deren Sohn Joseph II (1741-1790), der alsbald mit der neuerlichen Ausarbeitung seines Gesetzesbuches begann, das dann als „*Josefinisches Gesetzbuch*“ in die Geschichte einging. Ziel war es, das „*Theresianische Gesetzbuch*“ zu vereinfachen und so begann er bereits 1772 mit der Umsetzung seines Vorhabens. Es dauerte dann jedoch an die fünfzehn Jahre, bis

¹⁵¹ Kropatschek (2. Band) 1789, S. 179

¹⁵² Kropatschek (6. Band), S. 347

¹⁵³ Zsutty 2005, S. 6

¹⁵⁴ Vgl. Ferdinand Ramml: *Ziegelöfen und Lehmabbau der politischen Bezirke Mistelbach und Gänserndorf (Niederösterreich): Geschichte und Geologie*, Wien, 2014, S. 4-5

dieses mit 1. Jänner 1787 zu seiner Veröffentlichung als Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch kam. Dieses bestand nun aus insgesamt 18. Bänden und beinhaltete auch wieder zahlreiche Anordnungen für das Bauwesen.

Die Verordnung vom 4. Jänner 1781 enthielt unter dem Titel „Feuer“ folgende bauliche Anordnung gegen Brandgefahr: *„Um den auf dem Lande in den Dörfern wegen der so schlecht gebauten Küchen und Rauchfängen entstandenen Feuersbrünsten vorzubeugen, sind in Zukunft, wenigstens in allen neu erbaut werdenden Häusern die Rauchfänge von Ziegeln oder Steinen zu bauen, [..].“*¹⁵⁵

Etwas später erschien am 7. September 1782 eine eigene „Feuerordnung für das Land“. Diese beinhaltete auch Anforderungen an das Bauwerk im Hinblick auf den Brandschutz. Im §8 dieser Verordnung hieß es etwa: *„In Küchen, Waschhäusern und andern zu Feuerstätten bestimmten Örtern [sic] müssen die Fußböden nicht von Holze, sondern wenigstens bloß von Erde oder Laim [sic] geschlagen sein, wenn sie nicht von Steinen, Ziegeln und dergleichen bedeckt sein können.“*¹⁵⁶

Diese permanente Feuergefahr in besiedelten Gebieten führte unter Josef II dann auch dazu, dass sehr detaillierte Anforderungen an unterschiedliche Bauteile erstellt wurden. So wurde am 28. September 1781 eine Belehrung herausgegeben, die beschrieb, wie man Strohdächer brandhemmender ausführen könnte. Eine ähnliche Belehrung wurde auch für Böhmen¹⁵⁷ am 7. Mai 1783 publiziert.

„Um allen Stroh- und Rohrdächern die Feuerfänglichkeit [sic] zu benehmen, und eine vierfache Dauer in Ansehung der bisherigen zu verschaffen, nimmt man auf ein jedes [sic] viereckigtes [sic] Stück seines Strohdaches, das 6 Schuhe lang, und 6 Schuhe breit ist, oder auf eine Quadratklaster [sic] 6 Achtel oder $\frac{3}{4}$ Metzen trockenen Laim [sic], und 2 $\frac{1}{2}$ Pfund Kochsalz. Den Laim [sic] lässt man an einem bedeckten Orte von der Luft gut austrocknen. Da die nassen und feuchten Stücke desselben immer einige Zähigkeit haben, und grosse [sic] Stücke innerlich feucht bleiben: so muß [sic] man ihn oft nach und nach bis auf kleine Stücke zerschlagen. Darauf thut [sic] man das nöthige [sic] Salz in einen Handeimer oder Schaff, gießt anfangs nur so viel Wasser daran, als das Salz zur Auflösung brauchet, und mit dieser Lauge benetzt und durchwirkt man den wohl getrockneten Laim [sic] in einem Gefässe [sic], bis er so dünn wie ein Brei oder Koch wird. Ist die Salzlauge zu wenig dazu, so gießt man

¹⁵⁵ Joseph Kropatschek: Hrsg. *Handbuch aller unter der Regierung des Kaisers Joseph des II. für die K. K. Erbländer ergangenen Verordnungen und Gesetze in einer Systematischen Verbindung.* 18 Bde. Wien, 1785-1790, 1. Band, S. 285

¹⁵⁶ Kropatschek (1. Band) 1785, S. 325

¹⁵⁷ Ebda S 299-301

blösses [sic] Wasser dazu. Wenn gerade so viel Laim [sic] auf einmal angemacht worden ist, als zu einer Quadratklaster [sic], bis 6 Schuhe lang und eben so breit ist, vorgeschrieben wurde: so wird ein solches Stück des Strohdaches mit dem befeuchteten Laim [sic] auf einen Zoll oder starken Daumen hoch bedeckt. Es versteht sich, dass der Laim [sic] nicht so naß [sic] gemacht sei, dass er abfließen [sic] kann. Nach dieser Bedeckung nimmt man ein gerades Stück Holz, das einem Metzenstreicher [sic] ähnlich ist, und drückt durch das Auf- und Niederfahren mit dem selben den Laim [sic] so weit in das Dach hinein, bis sich das Stroh oder Rohr wieder sehen läßt [sic]. Und so verfährt man mit dem ganzen Dache. Uibrigens [sic] hat es auch diesen Nutzen, daß [sic] der Regen den Laim [sic] nicht abspülen kann; dass ein solches den Strumwinden [sic] widersteht, und wenn es abgenommen wird, zum Dunge gebracht werden kann. Daher wird niemand die geringen Kosten achten, die darauf mit so vielfältigen Nutzen verwendet werden. Endlich ist noch zu merken, daß [sic] der Laim [sic] zu diesem Gebrauche um so besser ist, ie [sic] fetter er ist.“¹⁵⁸

Interessant ist eine Verordnung, die am 9. August 1784 in Lemberg herausgegeben wurde. Diese sah im ersten Teil eine Belohnung für diejenigen vor, die ihre Häuser aus Lehmziegeln errichteten:

„Jene Bauern, die in Gallizien [sic] ein hölzernes Haus mit zwoen [sic] mit Oefen [sic] versehenen Stuben, mit einem über das Dach hinausgeführten Rauchfange, und mit einem für ein gesatteltes Kavalleriepferd [sic] hinlänglich hohen Stalle erbauen, erhalten eine fünfjährige, eine [sic], die eines von ägyptischen [sic] Ziegeln bauen, eine zehnjährige [sic] Befreiung vom Quartiersbeitrage, und der Militärbequartierung [sic].“¹⁵⁹

Ferner wird in dieser Verordnung folgendermaßen fortgesetzt: *„Die Juden sollen in Städten gemauerte Häuser, und in Dörfern von ägitischen [sic] Ziegeln bauen.“¹⁵⁹*

Für die Errichtung der Lehmhäuser gab es in der Regel im Dorf eine öffentliche für alle zugängliche Lehmgrube, aus der der Lehm zur Lehmziegelherstellung entnommen werden durfte. Scheinbar ist es dabei immer wieder durch unsachgemäßen Abbau zu Unfällen gekommen, das schlussendlich zur Verordnung vom 11. August 1784 führte, die für Böhmen und Graz galt. Darin wurde für Schotter- und Lehmgruben folgendes festgehalten:

„Um allem Unglücke - das sich bei Grabung der Schotter und Laimgruben [sic] bisher [...] ereignet hat [...] vorzugbeugen, wird auf ausdrücklich allerhöchsten Befehl allen Inhabern oder Pächtern solcher Gruben, auf das schärfeste aufgetragen, daß [sic] die Grabung derselben [sic] die Erde immer oben herunter weggeräumt [sic], und solchergestalt abdachungsweise bis auf den Schotter oder Laim [sic] gegraben werden soll. Und nach dieser Verordnung haben sich die Inhaber, oder Pächter solcher Gruben genau zu achten, die Richter und Gemeinden auf deren Beobachtung zu wachen [...]“.¹⁶⁰

¹⁵⁸ Ebda S. 298-299

¹⁵⁹ Kropatschek (8. Band) 1787, S 233 bzw. Kropatschek (6. Band) 1786, S. 147-148

¹⁶⁰ Kropatschek (6. Band) 1786, S 325-326

Am 29. März 1787 wurde eine Verordnung veröffentlicht, die für den öffentlichen Verkauf von Ziegeln heranzuziehen war. Hintergrund dieser Verordnung scheint eine Flut von Klagen gewesen zu sein über die schlechte Beschaffenheit der Ziegel und deren unterschiedlichen Größen. Bereits am 3. Juni 1773 wurde ein Patent zu dieser Problematik publiziert. Dieses wurde dann 1787 nochmals in einer neuen Verordnung veröffentlicht. Dabei sollen die gebrannten Ziegel, die für den Verkauf vorgesehen waren, folgende Abmessungen aufweisen:

Tabelle 2 – Ziegelmaße aus 1787

Typ	Länge [Zoll]	Breite [Zoll]	Höhe [Zoll]
Mauerziegel	11	5,5	2,5
Gewölbeziegel	9	6	2,5
Pflasterziegel	10	6	1,5
Dachziegel	17	7	0,5

Bei nicht Einhaltung dieser Verordnung, die auch die Beschaffenheit des Ziegels beschrieb, wurde für den Ziegelbrenner empfindliche Strafen vorgesehen. Mit in die Pflicht genommen wurden dabei auch der Bauausführende, Polier bzw. Maurer, denen ein Prüf- und Warnpflicht über die Ziegelqualität übertragen wurde. Sollte diesem ein ordnungswidriger Ziegel auffallen, so hatte er die Verpflichtung eine Anzeige des betreffenden Ziegelbrenners bei der Grundobrigkeit vorzunehmen. In dieser Verordnung wird jeder Privatperson das Brennen von Ziegeln erlaubt. Auch individuelle Ziegelgrößen, Formen und Typen sind zulässig, solange diese dann nicht für den öffentlichen Verkauf bestimmt sind und nur für den Eigenbedarf hergestellt werden.¹⁶¹

Leopoldinische Gesetzbuch (1790 – 1792)

Auf Josef II. folgte Leopold II. (1747-1792), der die „*Leopoldinischen Gesetze*“ herausgab. Auch in dieser Gesetzessammlung fand zunächst der Streit betreffend unsachgemäßer Herstellung von gebrannten Ziegeln seine Fortsetzung. Am 10. März 1790 erschien hierzu das Hofdekret Nr. 9 betreffend einer kompletten Neuordnung der Ziegelherstellung. Dies erfolgte wiederum auf Grund von zahlreichen Klagen, der nicht Einhaltung der „*bisherigen Vorschrift einer bestimmten Länge,*

¹⁶¹ Vgl. Kropatschek (13. Band) 1789, S. 329-331.

*Breite und Dicke, dann der guten Eigenschaften der verschiedenen Gattungen der Ziegel [...] Die Maassen der künftigen Ziegelmodel sollen folgende sein:*¹⁶²

Tabelle 3 – Ziegelmaße aus 1790

Typ	Länge [Zoll]	Breite [Zoll]	Höhe [Zoll]
Mauerziegel	12	6	3
Gewölbeziegel	9,5	7,5	3
Dachziegel	16,5	8,25	0,75
Hohlziegel	16,5	11,75 oben 9,75 unten	0,75
Pflasterziegel	12	12	2,5

Dieses Hofdekret bezieht sich auf gebrannte Ziegel. Neben den Maßen werden auch Festlegungen zur Lehmaufbereitung für den Ziegel und dessen sorgfältiges Ausbrennen definiert. Für die beiden Bestimmungen zu den Abmessungen und Materialaufbereitung wurden bei dessen nicht Beachtung genaue Strafen festgelegt. Nach Ablauf einer Übergangsregelung bis Ende 1791 hielt das Leopoldinische Gesetz fest *„Wenn im künftigen 1791sten Jahre und späterhin ein das vorgeschriebene Maaß nicht haltender Model bei einer Ziegelstätte gefunden wird, so hat der Inhaber für einen ieden [sic] solchen unächten [sic] Model eine Strafe von 6 Reichsthalern zu bezahlen.*¹⁶² Auch in dieser Verordnung werden explizit „Private“ als Ziegelproduzenten genannt.

Das Hofdekret Nr. 88 vom 6. Mai 1790 legte die Ausführung von Schornsteinen fest. Dabei wurde gestattet,

*„daß [sic] die Schorsteine [sic] in den kleinen Landstädten und Marktflecken, von Flechtwerk, welches jedoch [sic] mit Leim in- und auswendig gut zu überstreichen ist, erbauet werden können, und daher anbefohlen, daß [sic] die Hauseigenthümer [sic] zur Herstellung solcher Schornsteine, da diese Bauart nicht kostspielig ist, und ieder [sic] Hauswirth die meiste Arbeit dabei selbst verrichten kann, mit Ernst angehalten werden sollen.“*¹⁶³

Interessant ist die Verordnung Nr. 719 vom 2. Juli 1791, die einen unmittelbaren Bezug zur Verordnung über Schotter- und Lehmgruben aus 1784 darstellte. In dieser wird berichtet, dass es im Landkreis Leitmeritz (Litoměřice, Tschechien) in der Dorfgemeinde Koudera ein *„Unglücksfall*

¹⁶² Joseph Kropatschek: Hrsg. *Sammlung der Gesetze, welche unter der glorreichsten Regierung des (König) Kaisers Leopold des II. in den sämmtlichen (k.) k. k. Erblanden erschienen sind*, 5 Bde. Wien, 1791–1792, Band 1, S. 25-29

¹⁶³ Kropatschek (1. Band) 1790, S. 205

ergeben, daß [sic] durch den Einsturz einer zu sehr ausgehöhlten Laimgrube [sic] 2 Personen sehr beschädigt wurden, eine dritte aber schon das Leben einbüßt.“¹⁶⁴ Wie in der Verordnung von 1784 vorgesehen, wurden dann auch die Verantwortlichen zur Rechenschaft gezogen. Der Dorfrichter wurde „mit einem Arreste von zweimal 24 Stunden in Eisen bei Wasser und Brod“ verurteilt und der Lehmgrubenbesitzer „mit einer 8 tägigen öffentlichen Arbeit in Eisen“.¹⁶⁴ In dieser Verordnung wird nochmals darauf hingewiesen, wie der sachgemäße Materialabbau bei Lehmgruben in Hinblick auf die Gefahr einer Grubenaushöhlung zu erfolgen hat.

Politische Gesetze und Verordnungen (1792 – 1848)

Nach der relativ kurzen Regierungszeit von Leopold II. folgte von 1792 bis 1835 die Regentschaft von Franz I. (1768-1835). In dieser Zeit fielen noch einige Erlässe für Lehmziegel. Bemerkenswert ist auch für diese Zeit, dass nun die erste Bauordnung für Wien erlassen wurde.

Am 20 Juni 1794 wurde das Verbot Nr. 47 für Galizien mit dem Titel „*Verboth [sic] den Kalk bei Führung der Gebäude mit Lehm zu mengen*“ verordnete, das bei Errichtung von Gebäuden mit Lehm galt. Diese gleiche Verordnung wurde mit 29. April 1795 auch in der Steiermark mit der Nr. 47 übernommen.

*„Man hat beobachtet, daß [sic] bei Bauführungen nicht selten der Kalk mit Lehm gemischt wird; da jedoch diese Mischung für die Gebäude höchst schädlich ist, weil besagte zwei Baumaterialien sich mit einander nie fest verbinden können, folglich ihre Mischung eine frühzeitige Wandelbarkeit und Baufälligigkeit der Gebäude nach sich zieht, so wird diese schädliche Bauart allgemein mit dem Beisatze verbothen, [sic]“.*¹⁶⁵

1795 wurde die „*Feuerordnung für das offene Land in Krain [sic]*“ herausgegeben. Darin wird im ersten Abschnitt „*Die Verhinderung des Feuers*“ auch folgendes im §8 vorgeschrieben: „*In Küchen, Waschhäusern und andern zu Feuerstätten bestimmten Oertern [sic] müssen die Fußböden nicht von Holz, sondern wenigsten bloß von Erde oder Leim geschlagen seyn [sic], wenn sie nicht von Stein, Ziegeln, Estriche oder dergleichen sein können.*“¹⁶⁶

¹⁶⁴ Kropatschek (4. Band) 1791, S. 181-183

¹⁶⁵ Staatsdruckerei, Hrsg. *Sr. k.k. Majestät Franz des Zweiten politische Gesetze und Verordnungen*. Wien, 1817, 4. Band, S. 65

¹⁶⁶ Staatsdruckerei, Hrsg. *Sr. k.k. Majestät Franz des Ersten politische Gesetze und Verordnungen*. Wien, 1816, 6. Band, S. 48

Am 20. Juni 1798 erfolgte die Kundmachung Nr. 40 für Niederösterreich betreffend Maß- und Preisbestimmung von gebrannten Ziegeln. Das Dekret wurde erlassen, da wieder vermehrt Klagen über die Qualität und Maßabweichungen der Ziegel auftraten. Damit wurden neuerlich die Ziegelmaße, -preise und -beschaffenheit definiert. Bei Abweichungen wurde auch gleich das Strafausmaß sowie Strafen für den Schwarzhandel festgelegt, der sich scheinbar bestens etabliert haben dürfte. In die Pflicht genommen wurde im Rahmen dieses Dekretes nicht nur der Ziegelproduzent, sondern auch der Bauausführer wie „*Bauführer, Maurermeister und Polierer*“. Gleiches galt auch für den Ziegeltransport, wo scheinbar auch eine willkürliche Festlegung des Fuhrlohnes stattfand. Auch dazu wurde nun ein Fuhrlohn für die unterschiedlichen Distanzen bestimmt.¹⁶⁷ Nach und nach wurde diese Verordnung in der Habsburgermonarchie umgesetzt. So wurde diese in ähnlicher Form am 30 November 1799 der Stadt Graz eingeführt mit der Nr. 79¹⁶⁸, am 13. April 1803 in Galizien mit der Nr. 50¹⁶⁹.

Am 15. Februar 1816 wurde von der böhmischen Landesgubernium in der Verordnung Nr. 9 das Verbot erneuert, dass in Böhmen die Aufstellung von hölzernen Wohngebäuden bei Strafe untersagte. Dabei wird nicht nur Bauherr in die Pflicht genommen, sondern auch die Zimmermänner, Dorfrichter, Ortsvorsteher, Bürgermeister in den freien Städten und Herrschafts-Vorsteher. In dieser Verordnung wird festgehalten, dass

„die in Böhmen, besonders auf dem Lande von Zeit zu Zeit häufig ausbrechenden Feuersbrünste, wodurch nicht selten ganze Ortschaften, oder wenigstens ein großer Theil derselben ein Raub der Flammen werden, [...] Jedes neue Wohngebäude muß von Stein oder Ziegeln, somit feuerfest erbauet, und das ohne Bewilligung der Landesstelle dennoch von Holz aufgestellte Gebäude muß binnen Jahr und Tag wieder abgetragen und feuerfest überbauet werden;“¹⁷⁰

Mit 19. Jänner 1825 wurde per Erlass (Nr. 18) festgemacht, dass Ziegeln wie folgt zu bezeichnen sind: „*alle diejenigen, die [...] Ziegel (Backsteine) zum Verkaufe erzeugen, werden hiermit verpflichtet, vom*

¹⁶⁷ Vgl. Staatsdruckerei, Hrsg. *Sr. k.k. Majestät Franz des Zweiten politische Gesetze und Verordnungen*. Wien, 1816, 12. Band, S. 118

¹⁶⁸ Staatsdruckerei (14. Band) 1816, S. 211

¹⁶⁹ Staatsdruckerei (21. Band) 1806, S. 117

¹⁷⁰ Staatsdruckerei (44. Band) 1818, S. 6-8

1. Mai 1825 angefangen, ihre Ziegel mit den Anfangsbuchstaben ihres Tauf- und Geschlechtsnamens kennbar [sic] zu bezeichnen.“¹⁷¹

Am 14. September 1826 wurde eine Regierungsverordnung (Nr. 217) publiziert mit dem Titel „Verhütung der Feuersbrünste und ihrer Verbreitung“. Dabei wurde unter dem Punkt 2) erlassen, „daß [sic], wo möglich, die Böden der Dachstühle mit einem Estricht [sic] von Thon oder einem anderen unverbrennbaren Materiale belegt werden, was mit sehr geringen Kosten geschehen kann, und den Uebergang [sic] der Flammen von dem Dache auf das Haus ungemein erschwert;“¹⁷²

Mit 13. Dezember 1829 wurde für Wien und seine Vorstädte eine Bauordnung (Nr. 307) erlassen. Dies war die erste Bauordnung für Wien in der Habsburgermonarchie. Im Einleitungstext wurde sehr schön die Notwendigkeit einer solchen Verordnung beschrieben:

„Das Bedürfnis einer klaren und bündigen Zusammenstellung aller für Privat-Bauführungen inner [sic] den Linien Wiens bestehenden, theils [sic] auf ausdrücklichen Normal-Verordnungen älterer und neuerer Zeit beruhenden, theils [sic] in einer vieljährigen Observanz gegründeten Vorschriften, hat sich vorzüglich in der neuern Zeit, wo die Baulust bedeutend zunahm, so dringend ausgesprochen, daß [sic] die Regierung, um demselben abzuhelfen, sich bestimmt fand, alle zerstreuten Bauvorschriften unter dem Titel einer Bauordnung für Wien zusammen zu fassen.“¹⁷³

Diese gliederte sich in folgende Abschnitte:

- I. Notwendigen Schritte für die Durchführung einer Bauverhandlung (§§ 1 bis 13)
- II. Vorschriften für die Bauausführung (§§14 bis 26)
- III. Nach dem Bau zu beachteten Vorschriften (§§27 bis 29)

Der §21 enthält dabei die Angaben zum verwendeten Baumaterial „Die Bauführer sind streng gehalten, nur vollkommen gute Materialien, nämlich: gehörig ausgebrannte Ziegel, reinen Sand, und unvermischten Kalk zu verwenden.“¹⁷⁴ und der §24 Angaben zur Mauerstärke.¹⁷⁵

¹⁷¹ Staatsdruckerei, Hrsg. *Sammlung der Gesetze für das Erzherzogthum Österreich unter der Ens.* Wien, 1828, 7. Teil, S. 38-39

¹⁷² Staatsdruckerei (8.Teil) 1826, S. 480-481

¹⁷³ Staatsdruckerei (11. Teil) 1833, S. 898

¹⁷⁴ Staatsdruckerei (11. Teil) 1833, S. 908

¹⁷⁵ Vgl. Ebda S. 898-914

2.3.7 Publikationen zum Lehmbau bis 1848

Mitte des 18. Jahrhunderts wurden nicht nur verschiedene gesetzliche Regelungen zum Lehmbau in Österreich und Deutschland erlassen, sondern es setzte auch eine rege Publikationstätigkeit zu diesem Thema ein. Die bekanntesten und nachhaltigsten Werke waren die von Cointeraux zum Stampflehm- und Gilly, der sich sämtlichen zur damaligen Zeit angewendeten Lehmbautechniken widmete. Doch waren es nicht nur die beiden, die sich diesem Thema annahmen. In Deutschland wurden noch mehrere Bücher zum Lehmbau publiziert, dazu zählen unter anderem folgende Werke, die nachfolgend in chronologischer Reihenfolge aufgelistet sind:

- Lange: *Zufällige Gedanken über die nothwendige und bequeme wirthschaftliche Bauart auf dem Lande*, Breslau 1779
- Manger: *In der ökonomischen Bauwissenschaft zum Unterricht für den Landmann*, Leipzig 1785
- Carl von Dalberg: *Versuch einiger Beiträge über die Baukunst*, Erfurt 1792
- Goldfuß: *Feuersicherer und dauerhafter Häuserbau von wohlfeilem Lehmputzen*, Dresden 1794
- Salomo Sachs: *Anleitung zur Erd-Bau-Kunst (Pisé-Baue)*, 1825
- O. Günther: *Ausführliche Beschreibung des Pise-Baues mit allen dabei vorkommenden Arbeiten und den vielen wesentlichen Verbesserungen neuerer Zeit*, Leipzig, 1826
- Marius Wölfer: *Der verbesserte Pisé - und Wellerwandbau nach den neusten Erfindungen*, Weimar, 1836
- Wilhelm Jacob Wimpf: *Der Pisé-Bau, oder vollständige Anweisung, äußerst wohlfeile, dauerhafte, warme und feuerfeste Wohnungen aus bloßer gestampfter Erde, Pisé-Bau genannt, zu erbauen*, Weilburg, 1837
- T. Lehmann: *Der Pise-Bau und die neuen flachen Lehmdächer*, 1837
- Friedrich Teichmann: *Die Lehmzopfesse, ein Beitrag zum Lehm- und Pisebau*. Leipzig, 1839.
- Programm der k. Gewerb- und Baugewerke-Schule zu Chemnitz, Nebst einer Abhandlung über den Pise-Bau, Chemnitz, 1840.
- Wolfgang Steiner: *Der Lehm- und Pisebau auf dem Lande*. Weimar, 1840
- Salomo Sachs: *Der Lehm- und Pisebau, nebst der doppelten Harzplattendeckung flacher Dächer*, Berlin, 1841.

Neben den erfolgten Buchpublikationen fand sich das Thema Lehm- und Pisebau auch in den zur damaligen Zeit wichtigsten Bauzeitungen. In diesen wurden nicht nur die oben genannten Publikationen

beworben, sondern auch diverse kurze Abhandlungen lieferten einen wesentlichen Beitrag, dass das Thema für die damaligen Baumeistern und Maurern fachgerecht aufbereitet wurde. Untersucht man etwa die österreichischen historischen Zeitungen so finden sich mit dem Schlagwort „Lehmbau“ im Zeitraum von 1768 bis 1948 nicht weniger als 168 Treffer.¹⁷⁶

In der Folge wird nun kurz das Werk von Cointeraux und Gilly beleuchtet und danach das Buch von Steiner, dem es gelang in seinem Werk kurz die wichtigsten Lehmbautechniken klar zu beschreiben. Allen ist dabei gemeinsam, dass sie nicht nur neben den zu ihrer Zeit publizierenden Autorenschaft zurückgriffen, sondern auch bestens mit den Werken von Vitruvius und Plinius vertraut waren und deren Errungenschaften zu würdigen wussten.

François Cointeraux (1741–1830)

Im Jahr 1784 war es der französische Maurermeister und spätere Professor an der ökonomischen Bauschule von Paris François Cointeraux (1740-1830) der 1791 ein Buch zur Pisé-Technik¹⁷⁷ (Stampflehm) veröffentlichte, das auch relativ rasch und zwar 1793 vom Französischen durch Christian Ludwig Seebaß (Professor der Philosophie an der Universität von Leipzig) ins Deutsche übersetzt wurde.¹⁷⁸ In diesem Werk beschrieb Cointeraux sehr ausführlich wie diese Lehmbautechnik für das einfache Wohnhaus bis hin zu groß angelegten Bauwerke bzw. auch Industriebauten eingesetzt werden kann. Schritt für Schritt wird die Aufbereitung des Baulehmes beschrieben, die dafür notwendigen Bauwerkzeuge sowie die sachgemäße Ausführung eines solchen Bauwerkes.

Das Buch trägt folgenden Titel: *„Die Pisé-Baukunst, in ihrem ganzen Umfang, oder vollständige und faßliche Beschreibung des Verfahrens, aus blosser gestampfter Erde, ohne weitere Zuthat, Gebäude und Mauerwerk von aller Art wohlfeil, dauerhaft, feuerfest, und sicher gegen Einbruch aufzuführen“* und gliedert sich in zwei Teilen, in denen Cointeraux sein Wissen zur Stampflehmtechnik erklärte. Der erste Teil, der eine sehr anschauliche Abhandlung zur Stampflehmtechnik liefert, unterteilt sich dabei in folgende Abhandlungen:

¹⁷⁶ Quelle: <http://anno.onb.ac.at/anno-suche#searchMode=simple&query=lehmbau&from=1&sort=date+asc> (Abfrage: 11. Dezember 2019)

¹⁷⁷ Das Wort Pisé bedeutet laut Cointeraux soviel wie „massiv“, aus einer Masse errichtet.

¹⁷⁸ Die erste Übersetzung des Buches von Cointeraux erfolgte in Wien zwischen 1792 bis 1794 unter dem Titel *„Praktischer Lehrbegriff der Baukunst auf dem Lande“*, vgl. Güntzel 1986, S. 64 und Gilly S. 37-38

- Notwendige Werkzeuge für den Pisébau
- Vom richtigen Stampfen der Erde
- Eigenschaften der unterschiedlichen Erdenarten
- Bauzeit, die für die Errichtung eines Gebäudes oder Einfassungsmauer
- Baukosten des Pisébaus
- Verkleidung und Malerei am Pisébaus

Der zweite Teil besteht aus folgenden Abhandlungen:

- Gewölbe aus Pisé
- Anwendung des Pisébaus bei großen Bauwerken wie Manufakturen, Landhäusern Fabriken.

Das Verfahren zur Herstellung der Stampflehmwand, das Cointeraux in seinem Buch detailliert beschreibt, basiert auf ein Verfahren, das laut seiner Aussage seit Jahrhunderten in Frankreich in der Region um Lyon erfolgreich praktiziert wurde. Neben diesem Verfahren erwähnt er noch eines aus der Gegend von Savoyen, das sich vor allem dadurch auszeichnet, dass man am fertigen Werk auch bei näherer Betrachtung keine Fugen entdecken kann. Es scheint als wären die Häuser „aus einem einzigen Stück gemacht“. Beide Verfahren werden im ersten Teil ausführlich beschrieben und durch detaillierte Schautafeln noch veranschaulicht.

David Gilly (1748–1808)

Wenig später war es der deutsche Architekt David Gilly (1748-1808), der Ende des 18. Jahrhunderts umfangreiche Werke zum Thema Lehmbau publizierte. Zurzeit von Gilly waren Lehmhäuser sehr verbreitet. Gilly führt dazu wie folgt aus:

„Jetzt, da sich diese Bauart bei uns schon ziemlich ausgebreitet hat, kann ich einen jeden, der Gelegenheit dazu hat, ersuchen, sich in seiner Provinz an irgend einen Ort zu begeben, wo Lehmhäuser erbauet worden, um sich von der Dauerhaftigkeit, Feuersicherheit und Trockenheit der Lehmwände, in Rücksicht auf die Gesundheit, und von der leichten Erwärmung derselben im Winter, Überzeugung zu verschaffen, wenn anders diese Lehmhäuser recht gemacht sind, wozu es einer Anweisung, die weiter unten erfolgt, bedarf.“¹⁷⁹

In seinem ersten Buch „Beschreibung der Feuer abhaltenden Lehmschindeldächer nebst Nachrichten und Erfahrungen über die Bauart mit getrockneten Lehmziegeln“ aus 1794 beschreibt Gilly

¹⁷⁹ David Gilly: *Beschreibung der Feuer abhaltenden Lehmschindeldächer nebst gesammelten Nachrichten und Erfahrungen über die Bauart mit getrockneten Lehmziegeln*. Berlin, 1794, S. 30

ausführlich die Technik der Lehmschindeldächer. Eben genau jene Maßnahme die 1781 bzw. 1782 Josef II (siehe 2.3.6) bereits über Verordnungen empfohlen hatte. Gilly griff dieses Thema auf und verfasste dazu ein Fachbuch mit detaillierten Skizzen und Erfahrungsberichten. Zur Feuergefahr und richtige Wahl des Baumaterials hielt Gilly folgenden Erfahrungsbericht fest:

„Die Erfahrung lehrt, [...] daß [sic] die Maurn [sic] von Leimen, (nach hiesiger Mundart, von Lehm) dem Feuer am besten widerstehen. Mittlerweile, daß [sic] kostbare Riegelwände ausbrennen, und mit ihren ausgemauerten Fächer in Schutt zusammen stürzen; daß [sic] sogar in steinernen Mauern der Kalk in dem Feuer seine Bindekraft verliert [sic], daß thonartige [sic] Steine zerspringen und kalkartige mürber werde, sieht man oft alte Leimenwände [sic] der ärmsten Hütten ganz unversehrt da stehen,“¹⁸⁰

Demzufolge liegt es nahe, so die Schlussfolgerung von Gilly, dass auch das Dach in der gleichen Art zu schützen wäre, nämlich durch die Ausführung von sogenannten Lehmschindeln. Neben den in diesem Buch aufgezeigten Ausführungen über das Lehmschindeldacht erscheint jedoch viel wichtiger seine in diesem Buch erfolgten Analysen zum Lehmziegel. Bereits 1790 publizierte Gilly eine erste kurze Abhandlung über den Lehmziegel, den er nun eben nochmals in seinem Buch 1794 vertiefender untersuchte. Ausführlich beschrieb er dabei wie die Herstellung von Lehmziegeln zu erfolgen hat. In dieser Abhandlung widmete er sich unter anderem detailliert folgenden Themen, die auch mit Erfahrungsberichten und Verweisen auf andere Fachbücher abgerundet wurde:

- Herstellung eines Lehmziegels (Lehmaufbereitung, Abmessungen, sachgemäße Lagerung bis zum Einbau)
- Ausführung des Fundaments
- Mauerstärken für Außenwände, Scheidewände und Mittelwände
- Tür- und Fensteröffnungen sowie Wandabschluss durch Herstellung einer Mauerlatte
- Verputz- bzw. Anstricharbeiten ¹⁸¹

Interessant ist, dass Gilly auch die Schriften von Vitruvius und Plinius kannte und auf diese zurückgriff bzw. sich auch auf die Abhandlung von Cointeraux stützte. Ferner erwähnte Gilly in seinem Buch den

¹⁸⁰ Gilly 1794, S. 10

¹⁸¹ Vgl. Ebda S. 23-68

Franzosen Jean-Baptiste Tavernier¹⁸², der in seinen Berichten über Persien von alten Lehmbauwerken aus ungebrannten Lehmsteinen, die teilweise auch Lehmgewölben aufwiesen, berichtete.¹⁸³

Der gewaltige Beitrag für die rurale Architektur der damaligen Zeit von David Gilly wird einem erst durch das Studium seiner drei Teile zur „*Landbaukunst*“ bewusst, die er ab 1797 publizierte. Auf insgesamt über tausend Seiten, die noch zusätzlich mit 74 Kupfertafeln versehen sind, auf denen sich 700 Skizzen befinden, widmete sich Gilly hier fundiert sämtlichen Aspekten der damaligen Bautechnik. Das in drei Teilen publizierte Werk gliedert sich dabei in folgende Abschnitte:¹⁸⁴

1. Teil, publiziert 1797 mit 26 Kupfertafeln, beinhaltet

- Baumaterialien (S. 13-172): u.a. Lehmziegel (S. 22-25), Lehmpatzen oder ägyptischer Ziegel (S.27-28), Stampflehm (S.29-37)
- Baugrund (S. 173-190);
- Grund- und Fundamentmauern, Keller (S. 191-224),
- Mauern und Wände (S. 225-297): u.a. Lehmmauern (S. 274-277)

2. Teil, publiziert 1798 mit 23 Kupfertafeln, beinhaltet

- Decken und Balken (S. 1-56),
- Dächern (S. 57-134),
- Dacheindeckung (S. 135-201): u.a. Lehmschindeldächer (S. 152-162)
- Innenausbau (Fenster, Türen, Fußboden, Treppen, Ofen, Anstrich) (S. 226-300),
- Zusatz bzw. Nachtrag zu beiden Teilen (S. 301-325)

3. Teil, Erste Abhandlung, publiziert 1811, beinhaltet

- Nachträge zu den ersten beiden Teilen
- Pisébau und anderen Lehmarten (S. 14-55)
- Dachbedeckung und zwar besonders von Lehmschindeldächer (S. 55-99)

¹⁸² Jean-Baptiste Tavernier (1605-1689) war ein französischer Handelsreisender der unter anderem auch Persien und Indien bereiste. Siehe auch <https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-13087> (Zugriff am 03.01.2020=)

¹⁸³ Vgl Gilly 1794, S. 26

¹⁸⁴ Vgl. David Gilly: *Handbuch der Land-Bau-Kunst*, Berlin, Friedrich Vieweg, 1. Band 1797, 2. Band 1798 und 3. Band 1811.

- Besondere Gebäudetypen wie Scheunen, Reitbahnen, Schuppen, Magazine und Ställe (S. 100-228)

3. Teil, Zweite Abhandlung, publiziert 1811 mit 25 Kupfertafeln, beinhaltet

- Unterschiedliche Stalltypen (S. 1-122),
- Brauerei (S. 123-228)

Ausführlich werden in diesen drei Teilen sämtliche Aspekte für den Lehmbau beleuchtet, und zwar über Lehmziegel, Lehmputzen oder ägyptischen Ziegel, Stampflehm und der damaligen Anwendung von Lehmschindeldächern. Es finden sich dabei genau Anleitungen für die Herstellung der unterschiedlichen Lehmbautechniken inklusive detaillierten konstruktiver Vorgaben.

Wolfgang Steiner

Oft wird in Bezug auf historische Publikationen des 18./19. Jahrhunderts zum Lehmbau nur auf die beiden durchaus verdienstvollen Architekten Gilly und Cointeraux hingewiesen, ohne zu berücksichtigen, dass es neben diesen beiden gerade in dieser Zeit viele weitere Baukundige gab, die sich der Weiterentwicklung des Lehmbaus annahmen und ihre Erkenntnisse auch publizierten. Einer aus dieser Reihe nicht so bekannter Autoren ist Wolfgang Steiner, dessen Werk es sich durchaus lohnt näher zu betrachten. Der Baurat und Ritter Wolfgang Steiner publizierte 1840 ein, wie von ihm selbst bezeichnet, „*Handbuch für Alle*“ mit folgendem Titel: „*Der Lehmbau auf dem Lande oder die Kunst, Landgebäude aller Art möglichst feuersicher aus Lehm und andern Erdarten zu errichten. Ein Noth- und Hilfsbuch für alle Baubedürftige auf dem Lande und ein Handbuch für alle, in deren Beruf die Förderung und fernere Ausbildung des Lehmbaus gelegt ist, namentlich auch für landwirtschaftliche und Gewerbevereine.*“

Steiner ist mit diesem Handbuch etwas Spezielles gelungen. Er verstand es, die unterschiedlichen Lehmbautechniken in kurzer und präziser Form darzustellen und zusätzlich mit Schautafeln auch bildlich zu erläutern. So liest sich sein Buch als eine Art erster Lehmbaustandard, das auch mit Erscheinen in den unterschiedlichen fachkundigen Zeitungen über Anzeigen in der österreichischen Monarchie beworben wurde. So erschien etwa im Jänner 1841 in der Wiener Bauzeitung eine kompakte Zusammenfassung seines Werkes¹⁸⁵ und in den darauffolgenden Jahren wurde immer wieder auf sein Buch in der Presse hingewiesen.¹⁸⁶

¹⁸⁵ Vgl. Literatur- und Anzeigeblatt für das Baufach, als Beilage zur allgemeinen Bauzeitung, Jänner 1841, No. 38, Literaturblatt S. 364-366

Das Buch von Steiner beschreibt auf schlanken 31 Seiten, unterteilt in 43 Paragraphen, in einer kurzen und präzisen Sprache die unterschiedlichen Lehmbautechniken. Dabei gliedert sich das Buch wie folgt:

- (§1 bis 24) unterschiedlichen Lehmbautechniken, Tauwasserausfall, Sockelausführung (siehe Abbildung 20)
- (§25 bis 27) Beispiele von Lehmgebäuden ohne hölzernen Dachstuhl: Bauernhaus, Scheune und Kuhstall werden detailliert beschrieben und grafisch inkl. genauer Maßangaben dargestellt.
- (§28 bis 43) zusätzliche Erklärungen für den privaten Hausbau: Bauhölzer (deren Eigenschaften und Behandlung), Lehmschindeldach, Lehmdecken, Maßnahmen zum Schutz gegen Feuer für das Mauerwerk und Dach,

Im Folgenden werden die wichtigsten Inhalte für die unterschiedlichen Lehmbautechniken der Paragraphen 1 bis 21 kurz angeschrieben.

(§1) Lehmbauarten: Zu Beginn seiner Abhandlung listet Steiner die verschiedenen Lehmbauarten auf; „die nützlichsten und gebräuchlichsten sind folgende:

- *Wellerbau aus freier Hand,*
- *Wellerbau in Formen,*
- *Wickel- oder Zopfbau,*
- *Patzen- oder Klumpenbau,*
- *Stampfbau aus ganzer Masse und aus Quadern und*
- *Lehmstein- oder Lehmziegelbau.*¹⁸⁷

(§2) Lehmaufbereitung: Zur Vorbereitung des Baulehmes sind ein Ausreichendes Auswittern und Mauken des Lehmes notwendig. Das Auswittern soll über eine längere Zeit, im Freien und im Idealfall

¹⁸⁶ Beispiele für die Nennung von Steiner in diversen historischen Zeitungen: Allgemeine Bauzeitung, Wien: 1840 (S338), 1843 (S. 130); Linzer Zeitung: 1843 (S. 398); Vereinigte Ofner-Pester Zeitung: 1844 (S. 11); Die Neue Zeit: Olmüzer politische Zeitung: 1860 (S. 4)

¹⁸⁷ Wolfgang Steiner: *Der Lehmbau auf dem Lande*, Weimar, Verlag, Druck und Lithographie von Bernhard Friedrich Voigt, 1840, S. 1

über einen Winter hinweg erfolgen. Für das Mauken empfiehlt Steiner, dass die Lehmmischung zumindest 48 Stunden vor dem Einbau eingesumpft wird.

(§3-§5) Wellerbau: Hier finden sich Angaben zur idealen Zusammensetzung des Lehms, dessen Aufbereitung und Ausführung sowie detaillierte konstruktive Vorgaben zum Sockel bzw. Fundament, Festlegungen zur Fußbodenoberkante. Ferner warnt Steiner davor, dass es bei dieser Bauweise im Laufe der Jahre zu Setzungen kommt, die u.a. auch für die Tür- und Fensterrahmen Auswirkungen zeigt. Ergänzt werden diese Ausführungen auch durch Darstellungen etwa für den Wellerbau in Formen, siehe Abbildung 20 (Fig. 15).

(§6) Wickel- und Zopfbau: Für diese Bauweise werden zopfförmige Würste hergestellt, deren Dicke vier bis fünf Zoll beträgt und eine Länge hat, die der künftigen Wandbreite entspricht. Danach werden diese dann wie Abbildung 20 (Fig. 3) gezeigt verbaut.

(§7) Lehmpatzen werden mit einer Länge von zwölf Zoll bzw. eine Breite und Höhe von je sechs Zoll verbaut. Wichtig ist dabei, dass die notwendigen Trocknungszeiten berücksichtigt werden. Denn werden diese außer Acht gelassen, kann es später zu erheblichen Bauschäden resultierend aus der Schwindung des Lehms kommen. Steiner empfiehlt sogar eine Trocknung von einigen Jahren und liefert dazu auch Zahlenangaben. So setzt sich eine zehn Fuß hohe Lehmpatzenwand im Laufe von einigen Jahren um drei bis zu vier Zoll.

(§8) Stampflehm wird entweder in Schalung oder in Formen (Erdquader) ausgeführt. Angaben über die dafür benötigte Lehmbeschaffenheit werden hier angeführt sowie auf die Publikationen von Cointeraux und Wölfer verwiesen.

(§9-§12) Lehmsteine: werden von Steiner auch als ägyptischen Ziegeln oder Luftziegel bezeichnet. Die Lehmbeschaffenheit wird wieder genau beschrieben, wobei speziell die Verwendung von Schweinsborsten als Bindemittel für den Lehm empfohlen wird. Auch hier findet sich wieder der Hinweis auf das Mauken, das zumindest 48 Stunden dauern soll. Ferner listet Steiner Angaben für Zusätze und Zuschläge auf und beschreibt eine eigene Rezeptur bei Verwendung von Löschkalk, das aus seiner Sicht einen speziellen Witterungsschutz darstellt. Zur Ausführung fehlt auch hier abermals nicht der Hinweis auf die Setzungen der ersten Jahre, die besonders in der Konstruktion zu berücksichtigen wären. Dies gilt vor allem dann, wenn keine ausreichende Trocknung der Lehmsteine erfolgte. Unter Ausreichend versteht Steiner in diesem Zusammenhang eine Dauer von drei bis fünf Jahren und verweist dabei auf altes Wissen zu dieser Bautechnik (siehe Vitruvius Abschnitt 2.3.4). Abbildung 20 zeigt in Figur 2, wie ein frisch hergestellter Lehmziegel nicht gelagert werden dürfte. Es

fehlen hier die Durchlüftungsquerschnitte. Wie die richtige Lagerung zu erfolgen hat, veranschaulichen die Figuren 4 und 5 der Abbildung 20. Ferner wird die sachgemäße Bauausführung mit entsprechendem Schutz vor Feuchtigkeit, Bauablauf des Lehmziegels sowie dessen Verputz beschrieben, siehe Abbildung 20 (Fig. 6 bis Fig. 14). Die typischen Abmessungen eines Lehmziegels sind nach Steiner 12 x 6 x 2,5 Zoll.

(§13-§14) Kalktünchen: Damit der Kalktünch auch an der Lehmaußenwand haftet sind spezielle konstruktive Maßnahmen durchzuführen. Wie diese aussehen, wird von Steiner beschrieben bzw. gezeigt. Analoges gilt es auch für die Innenwände zu berücksichtigen, wo ebenfalls eine spezielle Oberflächenbehandlung der Wand notwendig ist.

(§15-§19) Allgemeines zum Lehmbau: Schwindvorgänge und deren Auswirkungen auf den Putz sowie Fenster- und Türrahmen werden u.a. hier nochmals von Steiner vertiefend erläutert und durch Abbildungen illustriert (siehe dazu Abbildung 20 die Fig. 17 bis Fig. 20).

(§20-§21) Feldversuche: Steiner führte zu den unterschiedlichen Lehmbauarten auch eigene Feldversuche durch. Deren Resultate fasste er in diesen Abschnitt zusammen. Für diese Feldversuche stellte Steiner Lehmwände mit den oben beschriebenen Techniken für Wellerbau, Pisébau und Lehmziegelbau her und ließ diese dann jahrelang frei bewittern. Über die Jahre wurden die Wände augenscheinlich auf deren Zustand geprüft und insbesondere deren auftretenden Zerstörungen infolge von Witterung überprüft. Am besten schnitt nach Steiner bei dieser Untersuchung der Wellerbau ab.

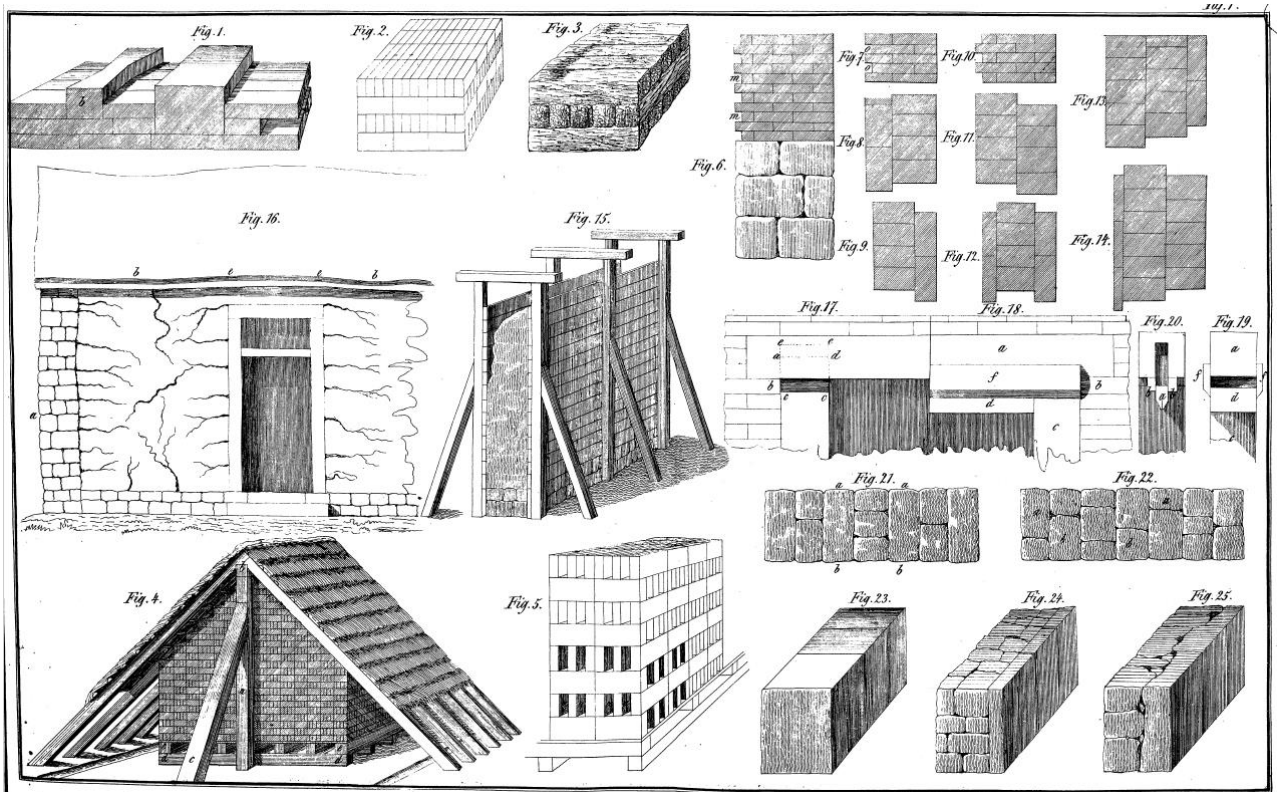
Abbildung 20 – Allgemeine Darstellungen zum Lehmbau von Steiner¹⁸⁸

Fig. 1: Holzbinder b; Fig. 2: Falsche Lagerung der Lehmsteine zur Trocknung, Fig. 3: Verlegung bei Wickel- und Zopfbau; Fig. 4: Schutzdach zur Trocknung der Lehmsteine; Fig. 5: Richtige Lagerung der Lehmsteine zur Trocknung; Fig. 6 bis Fig. 14: Verlegung von Lehmsteinen; die entstandenen Streifen m-m bzw. o-o dienen zur Befestigung des Putzes; Fig. 15: Wellerbau in Formen, Fig. 16: Ecken sind aus natürlichen Steinen ausgeführt, durch Schwindung der Lehmwand kommt es nach und nach zu Rissen und das Gebäude wird baufällig; Fig. 17 bis Fig. 20: Tür- und Fensteröffnungen; Fig. 21: Ausführungsart von Druchbindesteine a-a und b-b, die zu Kältebrücken führen, wie dies zu vermeiden wäre zeigt Fig. 22; Fig. 23: Sockel aus großen Quadersteinen, Fig. 24 Sockel aus gebrannten Ziegeln, Fig. 25: nachteilige Sockelausführung wegen möglichem Eindringen der Erdfeuchtigkeit durch die offenen Fugen

2.3.8 Beispiele für Zeitungsartikeln zum Lehmbau im 19. Jahrhundert

Wiener Zeitung

Am 26. März 1838 berichtet die Wiener Zeitung in einem Zeitungsartikel mit dem Titel „*Neuversuchte Baustoffe in Schweden*“ über den Trollhätte-Kanal in Schweden (Provinz Västergötland), wo man Abfallprodukte aus der Holzproduktion einer neuen Verwendung zuführte. Durch die vermehrten industriellen Tätigkeiten türmten sich Berge von Sägespänen auf, sodass die Einwohner zuerst nicht wussten, was sie damit anfangen sollten. Denn hätte man diese einfach in das Strombett des Kanals geworfen, wäre dieser rasch eingeeengt worden. Schon allein aus dieser Schilderung heraus lässt sich erahnen von welcher Menge an Spänen hier berichtet wurde. Durch einen glücklichen Zufall hat man

¹⁸⁸ Vgl. Steiner 1840, Tafel 1

dann entdeckt, dass man Sägespäne bloß mit Lehmerde vermengen und daraus Quaderstein für den Mauerwerksbau herstellen könnte. Diese wurde dann einfach an der Sonne getrocknet. In der Nähe des Trollhättafalles entstanden aus diesen Steinen dann Häuser und so der Autor des Zeitungsartikels weiter, die nicht nur zweckmäßig waren, sondern auch elegant aussahen. Ferner wird in diesem Artikel berichtet, dass man Versuche anstellte, diese Lehmmischung aus Sägespänen auch als Putz an einer freistehenden Wand zu verwenden und es wurde festgestellt, dass nach dem ersten Winter die Witterungseinflüsse nichts der Wand anhaben konnte. Sogar der plötzliche Wechsel von strengem Frost auf Tauwetter führte zu keinen bedeutenden Rissen. Des Weiteren wird berichtet, dass auch in Sachsen und da vor allem in der Umgebung von Leipzig der Lehmbau jetzt bereits so beliebt war, dass selbst steinerne Mauern niedergerissen und durch Lehmwände ersetzt wurden.¹⁸⁹

Man kann sagen, dass dies wohl durch den Zufall geschuldet, einer der ersten ökologischen Recycling-Baustoffe darstellte. Nebenbei sei erwähnt, dass die Schweden wahrscheinlich unbewusst eine vielfältige Verbesserung des Baustoffes Lehms erzielten. Die Zugfestigkeit wurde so erhöht und die bauphysikalischen Eigenschaften wie Wärmedämmung verbessert. Der letzte Hinweis des Artikels zeigt auch, dass es sehr wohl zu einer Verbreitung des Lehmbauwissens kam. Die Kenntnisse von Leipzig und somit auch den Arbeiten rund um Gilly und seine Kollegen blieben auch nicht in Schweden im Verborgenen.

Zeitschrift „Ökonomische Neuigkeiten und Verhandlungen“

Die Zeitschrift „Ökonomische Neuigkeiten und Verhandlungen“¹⁹⁰ griff im Jahr 1848 das Thema Pisébau und Lehmbau auf. In der Ausgabe des Heftes 88 wurde vor allem der Lehmbau vorgestellt und zwar folgende Techniken: Lehmputzenbau ohne bzw. mit Formen, Lehmzopfbau, Lehmputzenbau mit getrockneten Klumpen, getrocknete Lehmsteine oder Luftziegel. Die Beschreibung der einzelnen Techniken ähnelt dabei stark der Abhandlung von Steiner (siehe Abschnitt 2.3.7). Ausführlich werden dann noch die Nachteile des Lehmbaus beschrieben, und zwar

¹⁸⁹ Vgl. Wiener Zeitung vom 26. März 1838, S. 343

¹⁹⁰ Die Zeitschrift „Ökonomische Neuigkeiten und Verhandlungen“ wurde für alle Zweige der Land- und Hauswirtschaft, des Forst- und Jagdwesens im österreichischen Kaiserthum und dem ganzen Deutschland erstellt und erschien in Prag, Calvé'sche Buchhandlung.

in Hinblick auf die Feuchtigkeit, Dauerhaftigkeit eines schützenden Putzes, Frosttauwchsel von feuchten Lehmwänden, Setzungen bei Tür- und Fensterstöcken.¹⁹¹

Noch im selben Jahr publiziert die Zeitschrift „Ökonomische Neuigkeiten und Verhandlungen“ das Heft 112 das sich nun dem Thema des Pisébbaus widmete. Beschrieben wird dabei ausführlich der Pisébau in der Schalung. Kurz erwähnt wird auch die Möglichkeit den Stampflehm in Formen einzubringen. Aus Algerien wird eine Technik vorgestellt, wie der Stampflehmwand gleich der Putz mit eingestampft wird, in dem vor jedem Einbringen der Lehmmasse die Formwände mit Kalkmörtel ausgefüllt werden. Ferner kann nach jeder dritten oder vierten eingebrachten Lehmschicht ein Mörtelband über die ganze Mauerfläche eingestampft werden. Nach Wegnahme der Schalungsbretter wird die raue Mauer noch mit einer dicken Kalkmilch bestrichen. Auch für den Pisébau wiederholte der Autor die gleichen Nachteile wie bereits im Heft 88 beschrieben. Jedoch werden auch folgenden Vorteile für diese Technik genannt: Wohlfeilheit, schneller Baufortschritt und Austrocknung, dichte Wände sowie warme und trockene Räume.¹⁹²

2.3.9 Baugesetze bzw. Bauregelungen nach 1848

Nach dem Revolutionsjahr 1848 wurde am 4. März 1849 vom erst 18-jährigen Kaiser Franz Joseph I. (1830-1916) die neue Verfassung für Österreich erlassen, die in der Geschichte als „*Oktroyierte Märzverfassung*“ einging, da sie ohne Mitwirkung eines Parlaments erstellt wurde. In dieser Verfassung wird u.a. im §30 folgendes festgehalten: „*jeder österreichische Reichsbürger kann in allen Theilen des Reiches Liegenschaften jeder Art erwerben, sowie jeden gesetzlich erlaubten Erwerbszweig ausüben.*“¹⁹³ War es zwar Privaten auch vor 1848 möglich Ziegeleien zu betreiben (siehe Abschnitt 2.3.6) vorausgesetzt sie verfügten über ausreichend Kapital und Grund, so setzte mit der neuen Verfassung von 1849 mit dem klar ausgesprochenen Recht auf freien Erwerbszugang für Alle erst recht eine rege Gründungstätigkeit von Ziegeleien ein, die ihren Höhepunkt 1900 erreichte. So kam es ab Mitte des 19. Jahrhunderts zu einer raschen Zunahme an privaten Ziegelöfen und der Lehmbau wurde auch im privaten Bereich immer mehr zurückgedrängt. Dieser Boom dauerte bis

¹⁹¹ Vgl. Zeitschrift „Ökonomische Neuigkeiten und Verhandlungen“, Nr. 88, 1848, S. 697-700

¹⁹² Vgl. Zeitschrift „Ökonomische Neuigkeiten und Verhandlungen“, Nr. 112, 1848, S. 889-892

¹⁹³ Hof- und Staatsdruckerei Wien, *Allgemeines Reichs-, Gesetz- und Regierungsblatt für das Kaiserthum Österreich, Jahrgang 1849*, Wien, 1850, S. 153

1900 an und fand ihr Ende mit dem ersten Weltkrieg. Der Mangel an Brennmaterial führte dann auch wieder rasch zu einem Rückgang von Ziegeleien.

Nach 1848 wurden in weiterer Folge auch die Baugesetze in den jeweiligen Ländern dem aktuellen Stand angepasst und so kam es, dass ab der Mitte des 19. Jahrhunderts laufend neue Bauordnungen publiziert wurden. Den Anfang machte dabei die Residenzstadt Wien.

Bauordnung für Wien

Am 20. September 1859 wurde die Wiener Bauordnung (Nr. 176) neu erlassen, die unter dem §27 auch detaillierte Angaben zu den Baumaterialien enthält und im §49 Angaben zu den Mauerstärken. Am 2. Dezember 1868 erfolgte die erste Revision der Bauordnung (Nr. 24)¹⁹⁴. Im §32 wurde das Ziegelmaß mit 11 Zoll Länge, 5¼ Zoll Breite und 2½ Zoll Dicke definiert und im §56 die Mauerstärke festgelegt. In diesem Paragraphen wird unter der Ziffer k) auch die Verwendung von alternativen Baustoffen, das auch für Lehmbau gilt, zugelassen wenn diese folgendes sicherstellen: *„bei Anwendung anderer Konstruktionen und Materialein, als: Stein, Zement, Eisen ec. entscheidet über Nachweis der genügenden Festigkeit und Stabilität die Behörde.“*¹⁹⁵

Am 17. Jänner 1883 wurde die Wiener Bauordnung (Nr. 35)¹⁹⁶ komplett neu herausgegeben. Nun findet sich im §36 das Ziegelmaß, im §37 Angaben zur Mauerstärke sowie die Ausnahmebestimmung für andere Konstruktionen, deren Stabilität im Einzelfall bei der Behörde nachzuweisen war. Interessant ist in dieser erlassenen Bauordnung der achte Abschnitt. Hier werden Bestimmungen festgelegt für die Erbauung von Wohnhäusern unter erleichterten Bedingungen. Auch hier finden sich Festlegungen zur Mauerstärke, und zwar im §86. Hier wird zugelassen, dass Abteilungs-wände aus beliebigem Material ausgeführt werden dürfen. Bruchsteine oder gemischtes Mauerwerk sind mit einer Mauerstärke über 45cm zulässig. Werden die 45cm unterschritten, so sind diese aus gebranntem Ziegel auszuführen.

¹⁹⁴ Staatsdruckerei Wien: *Landes-Gesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*, Jahrgang 1868, Wien, 1869

¹⁹⁵ Staatsdruckerei 1869, S. 67

¹⁹⁶ Staatsdruckerei Wien: *Landes-Gesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*, Jahrgang 1883, Wien, 1884

Am 18. Februar 1930 erfolgte die Publikation der nächsten Generation der Wiener Bauordnung (Nr. 11).¹⁹⁷ In dieser neu strukturierten Bauordnung finden sich im Zehnten Abschnitt „*Vorschriften, die hauptsächlich die Konstruktion betreffen*“. Der §97 stellt dabei gleich zu Beginn für den Baustoff allgemein folgendes fest: „(1) *Bauliche Anlagen sind in allen Teilen nach den Erfahrungen der technischen Wissenschaften aus solchen Baustoffen herzustellen, die den geltenden Vorschriften entsprechen.*“¹⁹⁸ Und unter (3) heißt es dann weiter „*Die Wahl der Baustoffe bleibt innerhalb der gesetzlichen Vorschriften dem Bauherrn freigestellt.*“¹⁹⁸ In den folgenden Paragraphen werden zwar die einzelnen Wandteile detailliert beschrieben und Angaben bei Verwendung von Ziegelwänden festgehalten, doch immer mit dem Hinweis, dass auch gleichwertiges Material zur Anwendung kommen darf. Die §§116, 117 und 118 enthalten wieder Erleichterungen für Kleinwohnungshäuser, Kleinhäuser bzw. Einfamilienhäuser. Mit der Novellierung vom 10. Oktober 1933 (Nr. 50) wurde der §97 insofern adaptiert, indem erstmals für einzelne Baustoffe auf ÖNORMEN verwiesen wurde. Mit der Bauordnungsnovelle aus dem Jahr 1956 (Nr. 28) wurde der §97 erneut präzisiert vor allem in Bezug auf die Verwendung von neuen Baustoffen und Wiederverwendung von Baustoffen.

Bauordnung für Niederösterreich

Enthielt die Wiener Bauordnung keine direkte Passage für den Lehmbau, so galt dies nicht für die Bauordnungen der restlichen Bundesländer.

Am 19. Mai 1866 wird für Niederösterreich dem „Erzherzogthum Österreich unter der Enns“ analog zur Wiener Bauordnung eine eigene Bauordnung (Nr. 14)¹⁹⁹ erlassen. Der §41 legt dabei die Vorgaben für ein gutes Mauerwerk fest: „*In der Regel darf kein Wohn- und Wirthschaftsgebäude [sic] anders als: a) mit einem aus gut gebrannten Ziegeln oder aus Steinen bestehenden Mauerwerke, [...] erbaut werden.*“²⁰⁰

Der folgende §42 enthält dazu aber gleich für den Lehmbau interessante Ausnahmen:

¹⁹⁷ Staatsdruckerei Wien: *Landegesetzblatt für Wien*, Jahrgang 1930

¹⁹⁸ Staatsdruckerei 1930, S. 44

¹⁹⁹ Staatsdruckerei Wien: *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*, Jahrgang 1866

²⁰⁰ Staatsdruckerei 1866, S. 52

„Aus besonders wichtigen Gründen kann von den im §41 enthaltenen Vorschriften in nachstehender Weise abgegeben werden: a) auf Baustellen, die keiner Ueberschwemmungsgefahr [sic] ausgesetzt sind, kann die Aufführung von Gebäuden zwar auch mit ungebrannten Lehmziegeln zugegeben werden, doch müssen in diesem Falle wenigstens die Grundmauern bis zur Höhe von zwei Schuhen über den Straßengrund und die Eckpfeiler bis zum Dachgebälke aus gebrannten Ziegeln oder Steinen bestehen; b) auch Häuser mit hölzernem Gerippe (Riegelwände), deren Fächer mit gebrannten oder ungebrannten Ziegeln, Lehm ec. ausgefüllt sind, sind unter der Bedingung gestattet, daß sie feuersicher eingedeckt sind, daß [sic] im Inneren derselben kein Holz zu Tage liege, und daß die Feuerstellen und Rauchfänge vollkommen gemauert sind;“²⁰¹

Bereits am 2. Dezember 1868 wurde die Bauordnung durch das Landesgesetz (Nr. 24) für Niederösterreich erweitert.²⁰² Dabei enthält der §32 Angaben zum Ziegelmaß und der §56 Angaben zu den Mauerstärken und wie in der Wiener Bauordnung auch *„bei Anwendung anderer Konstruktionen und Materialein, als: Stein, Zement, Eisen ec. entscheidet über Nachweis der genügenden Festigkeit und Stabilität die Behörde“*.²⁰³

Am 13. Februar 1883 wurde die Bauordnung für Niederösterreich neu erlassen (Nr. 36)²⁰⁴ und ersetzte damit die beiden Gesetze aus 1866 und 1868. Dabei wird im §43 das Ziegelmaß beschrieben (29x14x6,5cm), in §44 festgehalten, dass für Wohn- und Wirtschaftsgebäude nur gut gebrannten Ziegeln verwendet werden dürfen. §45 enthält dann wieder für den Lehmbau wichtige Ausnahmestimmungen, die jedoch näher im §98 beschrieben wurden. Neben der Angabe zur Mauerstärke findet sich in §98 auch die Ausnahmen für den Lehmbau. Unter Punkt 4 steht etwa, *„die Anwendung von ausgemauerten oder mit Lehm ausgefüllten Riegel- oder Holzwänden ist sowohl nach Außen als im Inneren gestattet.“*²⁰⁵ Der Punkt 5 beschreibt die Ausnahme für Zwischenwände *„Abtheilungswände können aus beliebigem Materiale ausgeführt werden“*²⁰⁵. Ferner steht im Punkt 10:

²⁰¹ Ebda S. 53

²⁰² Staatsdruckerei Wien: *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*, Jahrgang 1868

²⁰³ Staatsdruckerei 1868, S. 66

²⁰⁴ Staatsdruckerei Wien: *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*, Jahrgang 1883

²⁰⁵ Staatsdruckerei 1883, S. 127

„Ebenerdige Gebäude, welche keiner Überschwemmungsgefahr ausgesetzt sind, könne auch mit ungebrannten Ziegeln hergestellt werden; doch müssen in diesen Falle wenigstens die Grundmauern auf eine Höhe bis 60 Zentimeter über Straßengrund, dann die Eckpfeiler nebst den nöthigen [sic] Zwischenpfeiler bis zum Dachgebälke aus Steinen oder gebrannten Ziegeln errichtet werden.“²⁰⁵

Am 23. Februar 1922 (Nr.132)²⁰⁶ wurden mehrere Paragraphen des Gesetzes aus 1883 abgeändert, darunter auch der §98. Dieser wurde wie folgt abgeändert:

„Die Anwendung von Holzwänden, sowie von ausgemauerten oder mit Lehm ausgefüllten Riegelwände ist sowohl nach außen als im Innern gestattet. Dies gilt jedoch nicht für Feuermauern. [...] Abteilungs-wände können aus beliebigem Baustoff ausgeführt werden, wenn sie aber Wohnungen trennen, müssen sie entweder voll gemauert in der Dicke von 15 Zentimetern oder aus gemauerten Riegelwänden hergestellt werden. [...] Diese Erleichterungen finden auf Wohngebäude, welche außer dem Erdgeschosse mehr als zwei Stockwerke (einschließlich eines allfälligen Zwischengesosses) besitzen, keine Anwendung.“²⁰⁷

Mit 13. Dezember 1968 (Nr. 166)²⁰⁸ wurde eine Neufassung der Bauordnung erlassen, womit die Verordnung aus 1883 inklusive aller ihrer Novellen deren Gültigkeit verloren. In diesem Gesetz werden nun die Anforderungen an die Baumaterialien allgemein beschrieben. Die

„verwendete Baustoffe, [...] müssen den Erkenntnissen der technischen Wissenschaft genügen. [...] Tragende Wände und andere tragende Bauteile müssen standsicher sein, sind entsprechend auszusteifen und zu verschließen. Sofern nicht anderes bestimmt ist, müssen sie auch feuerbeständig sein. [...] Außenwände von Gebäuden müssen den Witterungseinflüssen genügend Widerstand bieten und [...] feuerbeständig sein. Außenwände [...] müssen außerdem einen entsprechenden Wärme-, Schall- und Feuchtigkeitsschutz bieten.“²⁰⁹

In ähnlicher Weise wird auch die Anforderung für die Innenwände beschrieben. Daraus kann geschlossen werden, dass bis 1968 das Niederösterreichische Baugesetz den Lehmbau explizit zugelassen hatte.

²⁰⁶ Staatsdruckerei Wien: *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*, Jahrgang 1922

²⁰⁷ Staatsdruckerei 1922, S. 141

²⁰⁸ *Landesgesetz für das Land Niederösterreich*, Jahrgang 1969

²⁰⁹ Ebda S. 257-258

Bauordnung für Oberösterreich

Gleiches galt auch für die Bauordnung in Oberösterreich. Hier wurde sogar noch umfangreicher auf den Baustoff Lehm eingegangen, indem ein eigener Abschnitt für den Lehmziegel und Stampflehm aufgenommen wurde.

In Oberösterreich wurde am 29. Jänner 1867 für das „Erzherzogthum Österreich ob der Enns“ mit Ausnahme der Landeshauptstadt Linz eine eigene Bauordnung (Nr. 6) erlassen.²¹⁰ Diese enthält mit dem §31 einen eigenen Abschnitt für „Gebäude aus lufttrockenen Ziegeln oder gestampfter Erde (Pisebau)“. Darin wurde folgendes festgelegt:

„In Gegenden, wo harte Baustoffe und Holz mangeln, wird gestattet, daß [sic] Wohn- und Wirtschaftsgebäude [sic] aus ungebrannten Ziegeln oder aus gestampfter Erde ausgeführt werden; doch müssen in diesem Falle wenigstens die Grundmauern bis zur Höhe von 2 Schuhen über den Straßengrund und die Eckpfeiler bis zum Dachgebälk aus gebrannten Ziegeln oder Steinen bestehen. Die dabei außer der Verwendung entsprechender Erdarten noch zu beachtenden Vorsichten sind:

- 1) die Wände haben sowohl im Fundamente als im natürlichen Terrain der Baustelle innerhalb eines Ueberschwemmungsgebietes [sic] mindestens 1 Fuß hoch über dem bekannten höchsten Wasserstande eine Untermauerung aus Steinen oder festgebrannten Ziegeln in Kalkmörtel zu erhalten.*
- 2) Die Stärke der Wände darf für Hauptmauern nicht unter 2 Fuß und für Scheidemauern nicht unter 1 Fuß angenommen werden; auch darf die Höhe derselben 2 Klafter nicht überschreiten.*
- 3) Alle Gebäudetheile, welche den Einwirkungen der Feuchtigkeit, einer starken Belastung oder Erschütterung ausgesetzt sind, müssen aus hartem Materiale hergestellt werden.*
- 4) Die Außenseiten des Gebäudes vor den nachtheiligen [sic] Einwirkungen des Schlagregens durch weit vorspringende Dächer zu schützen.“²¹¹*

Am 13. März 1875 erließ Oberösterreich erneut eine Bauordnung (Nr. 15)²¹², die dann in weiterer Folge die nächsten hundert Jahre abgesehen einiger Novellen galt. Auch in dieser wurde im §33 ein eigener Abschnitt dem Lehm auf gewidmet mit dem Titel:

„Gebäude aus lufttrockenen Ziegeln oder gestampfter Erde (Pisebau)

In Gegenden, wo harte Baustoffe und Holz mangeln, wird gestattet, daß [sic] Wohn- und Wirtschaftsgebäude [sic] aus ungebrannten Ziegeln oder aus gestampfter Erde ausgeführt

²¹⁰ Gesetz- und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich ob der Enns, Jahrgang 1867

²¹¹ Ebda S. 31

²¹² Gesetz- und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich ob der Enns, Jahrgang 1875

werden; doch müssen in diesem Falle wenigstens die Grundmauern bis zur Höhe von 60 Zentimeter über den Erdboden und die Eckpfeiler bis zum Dachgebälke aus gebrannten Ziegeln oder Steinen bestehen. Die dabei außer der Verwendung entsprechender Erdarten noch zu beobachtenden Vorschriften sind:

1) Die Wände haben sowohl im Fundamente als im natürlichen Terrain der Baustelle innerhalb eines Ueberschwemmungsgebietes [sic] mindestens 30 Zentimeter hoch über dem bekannten höchsten Wasserstande eine Untermauerung aus Steinen oder festgebrannten Ziegeln in Kalkmörtel zu erhalten.

2) Die Stärke der Wände darf für Hauptmauern nicht unter 60 Zentimeter und für Scheidemauern nicht unter 30 Zentimeter angenommen werden; auch darf die Höhe derselben 4 Meter nicht überschreiten.

3) Alle Gebäudetheile, welche den Einwirkungen der Feuchtigkeit, einer starken Belastung oder Erschütterung ausgesetzt sind, müssen aus hartem Materiale hergestellt werden.

4) Die Außenseiten des Gebäudes sind vor den nachtheiligen [sic] Einwirkungen des Schlagregens durch weit vorspringende Dächer zu schützen.²¹³

Die bis 1976 laufend herausgebrachten Novellen berührten in der Folge nie den genannten Paragraphen zum Lehmziegelbau bzw. Stampflehm. Am 30. Juni 1976 Nr.35 war es dann so weit und für das Land Oberösterreich wurde eine neue Bauordnung herausgegeben und erlassen.²¹⁴ Damit wurden alle anderen Baugesetze vor 1976 aufgehoben und damit knapp nach hundert Jahren auch das Gesetz aus 1875. In dieser nun gültigen Verordnung werden die Erfordernisse für die baulichen Anlagen ähnlich wie zuvor in der Bauordnung von Niederösterreich allgemeiner formuliert. Dazu wird im §23 festgehalten, dass alle Teile der baulichen Anlagen

„nach den Erfahrungen der technischen Wissenschaften so geplant und errichtet werden, daß sie den normalerweise an baulichen Anlagen der betreffenden Art zu stellenden Anforderungen der Sicherheit, der Festigkeit, des Brand-, Wärme- und Schallschutzes, der Gesundheit und der Hygiene, des Umweltschutzes und der Zivilisation entsprechen und das Orts- und Landschaftsbild nicht gestört wird.“²¹⁵

Bauordnung für Kärnten

Auch die Bauordnung für das Herzogtum Kärnten vom 13. März 1866 sah für die Baumaterialien (§37) Ausnahmebestimmungen vor. Diese wurden im §38 wie folgt festgehalten:

„Auf Baustellen, die keiner Überschwemmungsgefahr ausgesetzt sind, kann die Ausführung von derlei Gebäuden auch mit ungebrannten Ziegeln (Lehm- oder Luftziegeln) zugegeben

²¹³ Ebda S. 76-77

²¹⁴ Landesgesetzblatt für Oberösterreich, Jahrgang 1976

²¹⁵ Ebda S. 107

werden, doch müssen in diesem Falle wenigstens die Grundmauern bis zur Höhe von 2 Schuhen oder dem Straßengrund und die Eckpfeiler bis zum Dachgehölze aus gebrannten Ziegeln oder Steinen bestehen. Auch derlei Gebäude mit hölzernem Gerippe (Fachwänden), deren Flächen mit ungebrannten Ziegeln, Lehm u. s. w. ausgefüllt sind, herzustellen, wird unter der Bedingung gestattet, daß [sic] im Innern derselben kein Holz zu Tage liege, und daß [sic] die etwaigen Feuerung und Rauchfänge vollkommen gemauert sind.“²¹⁶

ÖNORMEN seit 1920

Am 23. September 1920 wurde in Wien der "Österreichische Normenausschuss für Industrie und Gewerbe" (Ö.N.I.G.) gegründet mit dem Ziel eine Vereinheitlichung und Rationalisierung für den Warenaustausch zu erreichen. Das erste nationale Normungsinstitut wurde in England mit „British Standards Institution“ (BSI) gegründet und etwas später folgte 1917 in Deutschland das „Deutsche Institut für Normung“ (DIN). In Österreich wurden zunächst 13 Fachausschüsse mit 400 Experten eingerichtet, die zunächst die Bereich Maschinenbau, Elektrotechnik und Kraftfahrzeugbau bearbeiteten. Aber bald nahmen auch die ersten Bauausschüsse ihre Arbeit auf und so erschien bereits am 15. Juli 1921 die ÖNORM B 3201 „Mauerziegel“ für den gebrannten Mauerstein. Geregelt wurde in dieser Norm die Art des Mauerziegels, Druckfestigkeit, Form, Wasseraufnahmefähigkeit und Frostbeständigkeit. 1927 erschienen für Radialziegel die ÖNORM B 3203 und für Schwimmziegel die ÖNORM B 3204.

Am 15. Juni 1932 wurde die ÖNORM B 2004 herausgegeben, die technischen Vorschriften für Bauleistungen für Erd-, Mauer- und Putzarbeiten vorgab. Unter dem Abschnitt II wurden die Maurer- und Putzarbeiten geregelt und da heißt es im Unterabschnitt A zu den Bau- und Werkstoffen für den zu verwendeten Mauerstein:

„Für Mauerziegel gelten die Bestimmungen der ÖNORM B 3201, für Klinkerziegel B 3220, für Klinkerplatten B 3225, für Pflasterziegel B 3202, für Radialziegel B 3203, für Kalksandziegel B 3431, für Schwimmziegel B 3204, für Schlackenziegel und Schlackensteine B 3432. Sonstige, nicht genormte Mauersteinarten müssen von der Baubehörde zugelassen sein und der in der Zulassungsbewilligung angegeben Eigenschaftsbeschreibung entsprechen.“²¹⁷

Der letzte Satz der Bestimmung betrifft den Lehmziegel, für dessen Zulassung die Baubehörde zuständig war. Normative Bestimmungen wurden in dieser Norm für den Lehmziegel noch nicht getroffen. 1951 publizierte der Fachnormenausschuss „Hochbau Allgemeines“ unter dem Titel „Massive Mauern und Wände“ die ÖNORM B 3350. Diese galt auch für den ungebrannten Voll- oder

²¹⁶ Landes- Gesetz- und Verordnungsblatt für das Herzogthum Kärnten, Jahrgang 1866, S. 31

²¹⁷ ÖNORM B 2004:1932, Erd-, Maurer- und Putzarbeiten, S. 4

Hohlstein, also dem Lehmziegel. Unter dem Abschnitt „Begriffsbestimmen“ wird für Stückgutmauern unter künstliche Steine neben dem gebrannten Voll- oder Hohlstein (Ziegel) auch der ungebrannte Voll- oder Hohlstein (Lehmziegel) gelistet.²¹⁸ Die ÖNORM B 3350:1951 definierte Anforderungen und Nachweise für die Güteeigenschaften, die an einem gebrannten und ungebrannten Voll- oder Hohlstein zu stellen sind und somit auch für den Lehmziegel heranzuziehen waren. Nachweise bzw. Anforderungen wurden in dieser Norm definiert für die Abmessungen, Druckfestigkeit, Wasseraufnahme, Trockenzeit, Feuchtaufnahme, Ausblühungen sowie Frostbeständigkeit. Diese Norm galt bis 1. Mai 1962. Danach wurde sie durch die ÖNORM B 3351 „Wände aus künstlichen Steinen gemauert“ ersetzt. In dieser wurde der Passus zu den nicht gebrannten Steinen wieder gestrichen und nur allgemein neben den Mauer- und Klinkerziegel auf sonstige normalformatige Ziegel verwiesen.

Lehmbauordnung aus Deutschland

In Deutschland wurde am 4. Oktober 1944 eine „Verordnung über Lehmbauten (Lehmbauordnung)“²¹⁹ herausgegeben. In dieser finden sich folgende Bestimmungen:

- Allgemeines: Baustoff Lehm, Bauzeit, Bauleitung, Bauausführung
- Lehmbauarten: Wellerwände, Lehmstampfwände, Lehmsteinwände, Lehmständerwände
- Einzelne Bauteile: Grund- und Kellermauer, Höhe der Lehmwände, Ausführung der Lehmwände, Decken, Dächer, Schornsteine, Putz, Türen bzw. Fenster,

Nur einige Jahre nach Publikation der Lehmbauordnung veröffentlichte 1947 die Forschungsgemeinschaft Hochschule Weimar unter dem Titel „Lehmhaufibel“ ein Grundlagenwerk für die unterschiedlichen Lehmbauweisen mit 55 detaillierten Abbildungen. Im Anhang dieses Buches findet sich auch die Lehmbauordnung aus 1944. Gemeinsam mit dieser Verordnung stellt dieses Werk eine fundierte Grundlage für den damaligen Stand der Technik des Lehmbaus dar.

Dieses Wissen wurde dann 1951 bzw. 1956 in DIN (Vor)Normen überführt.²²⁰ Es handelt sich dabei um folgende Normen:

²¹⁸ Vgl. ÖNORM B 3350:1951, *Massive Mauern und Wände – Güteeigenschaften*, §2.2b), S. 1

²¹⁹ Toni Miller und u.a.: *Lehmhaufibel*. Weimar: Forschungsgemeinschaft Hochschule Weimar, 1947, S. 93-103

- DIN 18951, Lehmbauten, Vorschriften für die Ausführung
- DIN 18952, Lehmbau, Baulehm, Begriffe und Arten
- DIN 18953, Lehmbau, Baulehm, Lehmbauteile, Verwendung von Baulehm
- DIN 18954, Lehmbau, Ausführung von Lehmbauten, Richtlinien
- DIN 18955, Lehmbau, Baulehm, Lehmbauteile, Feuchtigkeitsschutz
- DIN 18956, Lehmbau, Putz auf Lehmbauteilen

1971 wurden zwar diese DIN-Normen ersatzlos zurückgezogen, sie galten jedoch weiterhin als „Stand der Technik“ mangels Nachfolgeregelungen, wie dies in Deutschland durch einen Erlass festgelegt wurde. Dies dauerte bis 1998 als erstmals die vom Dachverband Lehm herausgegebenen „Lehmbau Regeln“ in die Musterliste der technischen Baubestimmungen des Instituts für Bautechnik Berlin aufgenommen wurden. Als Grundlage der Erstellung dieser Lehmbau Regeln galten die DIN-Normen aus den 50er Jahren.

2.3.10 Wirtschaftskrise 1920 am Beispiel Siedlungsbau in Wien

Mit Ende des ersten Weltkrieges wurde die wirtschaftliche Lage in Österreich immer prekärer. Neben dem schwindenden Glauben an das klein gewordene Nachkriegsösterreich, verschärfte sich zudem Jahr für Jahr die wirtschaftliche Situation und so rutschte Österreich immer tiefer in eine Wirtschaftskrise ab. Hatten sich zu Beginn der Krise die Preise innerhalb eines Jahres „nur“ verdoppelt, so kam es gar in der letzten Phase der Hyperinflation zu einer monatlichen Preissteigerung von bis zu 50%. Dazu kam eine Reihe von Finanzskandalen, die das Land erschütterten.

Diese Krise hatte klarerweise auch ihre Auswirkungen auf die Bauwirtschaft. So wurde neben den teuren Baustoffen wie etwa dem gebrannten Ziegel nach billigeren Alternativen gesucht, was unweigerlich rasch zur Lehmbautechnologie führte. Nachdem jedoch gerade in Wien nach 1848 sukzessive das Wissen zum Lehmbau verloren ging, begann man langsam, sich wieder an dieses Thema heranzutasten.

Während Deutschland sehr rasch die Chance erkannte, die der Lehmbau in solch einer Situation liefern kann, verlor man sich in Österreich jedoch in unendlichen Diskussionen über die Vor- und

²²⁰ Diese Normen galten für die damalige BRD. Noch stärkere Bedeutung hatte der Lehmbau in der ehemaligen DDR zu Beginn der „Nachkriegszeit“. (Vgl. Schröder 2010, S. 17) Welche Art von Regelungen es für den Lehmbau damals in dieser Region gab, konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht verifiziert werden.

Nachteile dieser Bauweise. Obwohl der gebrannte Ziegel zum einen nicht finanzierbar und zum anderen auf Grund des eklatanten Mangels an Kohle einfach nicht produzierbar war, erfand man neben dem Lehmbau neue Alternativen wie beispielsweise Betonhohlblöcke. Diese teilweise sehr emotional geführte Diskussion kann heute sehr gut über das Nachlesen der damaligen Zeitungen rekonstruiert werden. Es bestand damals tatsächlich eine historische Chance einen Lehmboom in Wien auszulösen. Doch die immer wieder aufkommenden kritischen Stimmen, die teilweise mit falschen Argumenten hinterlegt wurden, schafften es, dass die Gunst der Zeit nicht vollends ausgenutzt werden konnte, obwohl die damalige bestehende Bauordnung von Wien diese Bauweise ohne weiteres zugelassen hätte (siehe Abschnitt 2.3.9). In der Folge wird in chronologischer Reihenfolge die damalige Diskussion, die sich in Wien zum Lehmbau zutrug, aufgerollt.

Am 11. Mai 1920 erschien im „Neues Wiener Journal“ unter dem Titel „*Sparsame Bauten der Zukunft*“ eine Unterredung mit dem Architekten Goldberger, der auch die richtige Baustoffwahl beleuchtete. Unter der Vorgabe ein Haus zu errichten „*ohne jeden Kohlenverbrauch*“ und so keinen gebrannten Ziegel einzusetzen, weist er auf nur einen Baustoff hin, der das kann, nämlich Lehm. In diesem Zusammenhang erwähnt er, dass dieser eine Ewigkeit Bestand hält und führte als Beweis unter anderem die Ausgrabungsstätte des alten Numantia²²¹ in der spanischen Provinz Soria an, wo man alte Lehmwände entdeckte, und führte weiter aus:

„Der Lehmbau, dem wir in Deutschland und anderen Ländern (Stampflehm Bauten in Marokko) begegnen, ist für ländliche und städtische Flachhaussiedlungen, zum Beispiel Schrebergartenhäuser der billigste Sparbau, denn jeder Sieder kann auch bei wenig Rüstzeug und Kenntnissen sein Haus mit seiner Familie selbst erbauen.“²²²

Von den möglichen Lehmbauweisen beleuchtete Goldberger im Detail den Wellerlehm, Stampflehm und Lehmziegelbau.

Unter dem Titel „*Über Bauausführungen unter den heutigen Verhältnissen*“ berichtet am 21. August 1920 die Wiener Landwirtschaftliche Zeitung über die Stadt Görlitz, wo man jüngst mehrere Lehmhäuser errichtete. Diese wurden aber, sobald diese fertiggestellt waren, sofort wieder abgetragen, da die Lehmwände sich ausbeulten. Ferner rechnete dieser Artikel vor, warum Lehmbau keineswegs ein billiger Baustoff sein kann. Genannt wurden in diesem Zusammenhang folgende

²²¹ Numantia war eine Besiedelung in der Bronzezeit und liegt zwölf Kilometer nordöstlich von der heutigen Stadt Soria entfernt. In dieser Ausgrabungsstätte wurde einfache Häuser aus Stein und Lehm rekonstruiert

²²² Neues Wiener Journal, vom 11. Mai 1920, Nr. 9523, S. 4

Gegenargumente: gebrannte Ziegeln sind notwendig für die mächtige Kellerwände und Kamine, erhöhter Schalungsbedarf bei Ausführung eines Stampflehms, hohe Arbeitsleistung für Lehmaufbereitung und Wandherstellung, sowie die Gefahr von Schwind- und Rissbildungen.²²³

Am 28. August 1920 erschien in der Wiener Landwirtschaftliche Zeitung ein kurze Beitrag über die Verwendung von Sulfitablauge, einem Nebenprodukt aus der Zellstoffgewinnung aus Holz, für den Lehmbau. Dieser Artikel beleuchtete die Problematik, dass Kalkputz direkt auf einer Lehmwand nicht haftet. In diesem Zusammenhang wurde eine neue Methode beschrieben, wie man dem entgegenwirken könnte. Mischt man nämlich Sulfitablauge mit Kalkmilch und rührt diese dann mit Lehm an, so können mit dieser Mischung Platten hergestellt werden, die dann direkt auf der Lehmwand befestigt werden können. Diese Platten weisen dann ein verbessertes Haftverhalten für Kalk- oder Zementmörtel auf.²²⁴

Gegen Ende 1920 wurde es immer offensichtlicher, dass die wirtschaftliche Situation sich weiter verschlechtern würde. Am 7. Oktober 1920 schrieb das Neue Wiener Journal, *„dass an eine Belebung der normalen Bautätigkeit angesichts der unerschwinglich hohen Materialpreise und Löhne nicht vor zehn Jahren zu denken ist, wird von allen Fachleuten zugegeben. [...] Es ist die Rückkehr zur Bauweise unserer Vorfahren, zum Lehmbau, wie er vielfach auf dem Lande zu finden ist.“* Die Einfachheit des Lehmbaus wird in diesem Artikel beschrieben. Deshalb begann das städtische Bauamt in Wien mit den Vorbereitungen *„um diese außergewöhnliche Bautätigkeit zu organisieren und zu fördern“*. Es wurden Pläne erstellt, aus denen ersichtlich war, welche Gebiete für Lehmbauten geeignet seien und welche nicht. Ferner plante man die Erstellung von Musterhäusern verschiedener Typen auf Basis eines Wettbewerbes bis hin zu Lehrkursen, wo man diese Technik unterrichten könnte.²²⁵

Nur zwei Wochen später am 20. Oktober 1920 war es erneut das Neue Wiener Journal, das sich dieses Themas annahm und unter dem Titel *„Einfamilienhäuser aus Lehm – Die einzige mögliche Bauweise“* einen geradezu dringenden Appell für diese Bauweise veröffentlichte:²²⁶

²²³ Vgl. Wiener Landwirtschaftliche Zeitung, vom 21. August 1920, Nr. 66/67, S. 412

²²⁴ Vgl. Wiener Landwirtschaftliche Zeitung, vom 28. August 1920, Nr. 68/69, S. 422

²²⁵ Vgl. Neues Wiener Journal vom 7. Oktober 1920, Nr. 9671, S. 12

²²⁶ Vgl. Neues Wiener Journal vom 20. Oktober 1920, Nr. 9684, S. 12

„Angesichts der Aussichtslosigkeit, die private normale Bautätigkeit in absehbarer Zeit beleben zu können und der geradezu zu einer Katastrophe sich entwickelnden Wohnungsnot in Wien hat sich die Gemeinde entschlossen, die Erbauung von kleinen Wohnhäusern aus Lehm und Holz für einzelne Familien in nachdrücklichster Weise zu fördern.“²²⁷

Verwiesen wird etwa auf die Ägypter, die diese Technik schon längst beherrschten, und von daher auch die Bezeichnung „ägyptische Ziegel“ für den ungebrannten Lehmziegel stammt. Als Vorteil für den Lehmbau wurde festgehalten, dass das Material an Ort und Stelle vorhanden ist, die Möglichkeit des Selbstbaues, die Eigenschaft, dass Lehm Holz konserviert (Holzfäule und Schwammbildung kann damit ausgeschlossen werden), sich weniger anfällig gegenüber Ungeziefer zeigt als es etwa bei Stein- oder Ziegelbau der Fall sei, temperatenausgleichend wirkt, Räume im Winter wärmer und im Sommer kühler sind als bei Ziegelbauten und ein Ersparnis an Kalk und Sand darstellt. Angekündigt wurde, dass der Lehmbau ab dem Frühjahr 1921 im großen Stile zur Anwendung kommen sollte. Die Maßnahmen, die bereits zuvor am 7. Oktober von der Gemeinde geplant wurden, sollen nun tatsächlich umgesetzt werden. Schließlich endet der Artikel mit folgender Schlussfolgerung: *„Da die normale Bautätigkeit infolge der unerschwinglichen Preise der Ziegel und Arbeitsmaterialien, der phantastischen Löhne etc. ganz ausgeschlossen ist, so bleibt nur der eine Ausweg offen: Selbstbauen mit Lehm.“²²⁸*

Am 24. Jänner 1921 erschien im Neuen Wiener Journal folgender Artikel *„Die Lehmhäuser in Wien – Fachliche Stimmen pro und contra“²²⁹*. Darin wurde beschrieben, dass für das Frühjahr 1921 Teile der Bevölkerung ernstlich beginnen sollten, sich durch Selbsthilfe aus der Wohnungsnot zu befreien. *„Die Parole für viele heißt: Selbstbau von Wohnungen! Statt der teuren Ziegel soll Lehm, der an Ort und Stelle gefunden wird, verwendet werden.“²³⁰* Dazu vermeldete die Baubehörde, dass es bereits zahlreiche Ansuchen auf eine Baubewilligung gibt. Da diese Bauweise in Wien relativ neu war, gab es vor allem von den Wiener Baumeistern große Bedenken gegen die Lehmbautechnik, wohl aus Angst, dadurch Aufträge zu verlieren. Dem entgegneten die Fachleute des Lehmbaues, dass gerade in Deutschland diese Bauweise seit Jahrhunderten erfolgreich angewendet wird und so führt die Zeitung weiter aus: *„ein Wiener Architekt, der die Lehmbautechnik in Deutschland studiert hat,*

²²⁷ Ebda S. 12

²²⁸ Ebda S. 13

²²⁹ Vgl. Neues Wiener Journal vom 24. Jänner 1921, Nr. 9776

²³⁰ Ebda S. 2

mitteilt, verdient diese Bauweise nicht das Mißtrauen, das ihr allenthalben von Wiener Baumeistern entgegengebracht wird, die prinzipiell gegen alles Neue zu sein schein, das billig ist.“²³¹ Ferner führte er aus, dass die Zimmer im Sommer kühl und im Winter warm sind. Lehmhäuser sind standsicher und absolut feuersicher. „Beim einem Brande eines Lehmhauses hat es sich gezeigt, dass die Lehmwände an der Feuerseite auf drei Zentimeter rot, das heißt zu Ziegeln gebrannt wurden.“²³¹

Die Wiener Zeitschrift der Bautechniker berichtet, dass am 28. und 29. Jänner 1921 in Dresden die zweite Deutsche Lehmbautagung stattfand. Es wurde darüber informiert, dass 1920 alleine in Preußen mehr als 1600 Lehmbauten errichtet wurden mit einer Wohnfläche von 100000m². Wirkliche Schäden, trotz teilweiser schwieriger Bedingungen, wie anhaltendem Regen, wurden nicht festgestellt, und wenn welche auftraten, war dies der unsachgemäßen Bauausführung geschuldet. Ein Einsparungspotential gegenüber dem Ziegelmauerwerk wurde zwischen 40 bis sogar 74% beziffert. Lehmalkurse hatten sich auch damals schon in Deutschland etabliert.²³²

Im Frühjahr berichten die Arbeiter Zeitung am 16. März 1921 unter dem Titel „Wiener Siedlungen“ und das Wiener Montags-Journal am 21. März 1921 mit der Schlagzeile „Die Siedlung im Lainzer Tiergarten – Äußerungen des Architekten Adolf Loos über sein Projekt“ ausführlich über die unterschiedlichen geplanten Siedlungsprojekte in Wien. Unter der Leitung von Adolf Loos sollen im Lainzer Tiergarten Reihenhäuser entstehen, die im Lehm auszuführen werden sollten. Geplant waren hier 1700 zweigeschoßige Einfamilienhäuser mit den Außenabmessungen von sechs mal sieben Metern. In Hetzendorf sollte unter der Leitung des Architekten Mayer die Kolonie am Rosenhügel entstehen. Geplant war hier eine Wohnraumschaffung für etwa 420 Siedlerfamilien. Weitere geplante Projekte waren die Kolonie „Aus eigener Kraft“ vom Architekten Tichy in Kagran (212 Wohnungen) und die Siedlung „Eden“ auf dem Wolfersberg bei Hütteldorf vom Architekten Eple. Kleinere Siedlungen sollten in Aspern ebenfalls vom Architekten Loos und in Rannersdorf vom Architekten Tessenow (für 12 Familien) entstehen.

Im Frühjahr 1921 wurde weiterhin heftig über die richtige Materialwahl für den Siedlungshäuserbau debattiert. Konsens herrschte nur darüber, dass der gebrannte Ziegel aus Mangel an ausreichender Kohle zur Verfeuerung als zu teuer einzustufen war. Am 25. März 1921 erschien in der Arbeiter Zeitung eine Abhandlung über ein Baukostenvergleich von gebrannten Ziegeln, Lehmziegeln und

²³¹ Ebda S. 3

²³² Vgl. Der Bautechniker, Zentralorgan für das österreichische Bauwesen, Zeitschrift für Bau- und Verkehrswesen, Technik und Gewerbe, Redakteur: Hans Berger, Wien, Ausgabe 1921, S. 49/2

Hohlbetonsteinen für ein nichtunterkellertes Vier-Zimmer Wohnhaus.²³³ Tabelle 4 stellt die dabei ermittelten Kosten gegenüber.

Tabelle 4 – Gegenüberstellung der Baukosten in Kronen

Arbeiten	Lehmhaus	Ziegelhaus	Hohlbeton
Baumeisterarbeiten	325.000	416.000	332.000
Zimmermannsarbeiten	179.000	179.000	179.000
Dachdeckerarbeiten	49.000	49.000	49.000
Spenglerarbeiten	9.000	9.000	9.000
Fenster, Türen, etc.	87.000	87.000	87.000
Summe	649.000	740.000	656.000

Für die Ermittlung der Kosten wurden jedoch nur die Herstellungskosten betrachtet. Unberücksichtigt blieben dabei all die positiven Eigenschaften, die der Lehm bau beispielsweise in Hinblick auf Bauphysik und Wohnklima liefert. Auch wenn die Bewertung die günstigsten Baukosten für den Lehmziegel ergaben, lehnte der Autor in der Abhandlung trotzdem diese Bauweise kategorisch ab. Nur wenige Tage später erfolgte eine Entgegnung auf diese Ausführung in Form einer flammenden Brandrede für den Lehm bau durch den Baumeister Lücke aus Dresden. So erschien am 30. März 1921 unter dem Titel „*Lehm baufragen*“ ein Beitrag, der abermals in der Arbeiter Zeitung veröffentlicht wurde. Dabei wurden zunächst die zahlreichen historischen Lehm bauten als positive Beispiele angeführt, die schon seit Jahrhunderten bestehen. Danach analysierte er die bauphysikalischen Vorteile des Lehms, die aus seiner Sicht in der Abhandlung vom 25. März völlig außer acht gelassen wurden. Zu den Kosten führte der Baumeister nicht nur die 12 bis 14-prozentige Einsparung der Baukosten an, die gegenüber dem Ziegelmauerwerk erzielt wurden, sondern auch die mögliche Reduktion der Heizkosten um 25 bis 30 Prozent auf Grund der positiven Eigenschaft des Lehms Wärme speichern zu können.²³⁴

Am 7. April 1921 erschien im Neuen Wiener Journal eine Unterredung des Bauinspektors der städtischen Prüfanstalt, der sich ebenfalls über Lehm bau und Betonbau Gedanken machte, mit der Conclusio, die Wasserkraft sei auszubauen, um so die Zementproduktion anzukurbeln und den Betonbau fördern zu können.

Am 19. April 1921 vermeldete dann schließlich die Neue Freie Presse, dass nun mit dem Bau der ersten Siedlungen begonnen wurde. Und zwar wurde am 13. Februar mit dem Bau von ersten

²³³ Vgl. Arbeiter Zeitung vom 25. März 1920, Nr. 83, S. 5

²³⁴ Vgl. Arbeiter Zeitung vom 30. März 1921, Nr. 87, S. 5

Musterhäusern am „Rosenhügel“ gestartet. Diese wurden so konzipiert, dass die Häuser unter Anleitung von Fachkräften auch zum Selbstbau oder zur Mithilfe am Bau sich eigneten und wurden je nach örtlichen Verhältnissen in Beton oder Lehm ausgeführt.

Um die Schulung zum Lehmbau voranzutreiben, wurden vom Siedlungsverband sogenannte Siedlungsschulen eingerichtet, an denen Vorträge zu den Themen „Sparsame Bauweisen“ und „Lehmbau“ vorgetragen wurden. Davon berichtete die Wiener Zeitung am 4. Dezember 1921.

Wie weit im Siedlungsbau nun tatsächlich mit Lehm gebaut wurde, konnte in Rahmen dieser Untersuchung nicht verifiziert werden. Es ist anzunehmen, dass dies so gehandhabt wurde, wie im Zeitungsartikel vom 19. April 1921 der Neuen Freien Presse vermeldet wurde, dass je nach Anforderung mit Lehm oder Beton gebaut wurde. Mit Ende 1921 finden sich auf alle Fälle in den historischen Zeitungen keine Hinweise mehr auf den Lehmbau. Die Diskussion, die 1920 und 1921 intensiv geführt wurde, schien mit dem Baustart für die einzelnen Siedlungsprojekte abgeschlossen zu sein. Im Falle der Siedlungsanlage „Rosenhügel“ streckten sich die Bauarbeiten von 1921 bis 1926. Geschaffen wurden dabei nach den Plänen des Architekten Mayer schlussendlich 559 Wohnungen.

3 ZUSAMMENSTELLUNG WELTWEIT GÜLTIGER NORMEN ZUM LEHMBAU

3.1 Einführung

In einem wachstumsorientierten Wirtschaftssystem scheint es für einen Baustoff wie Lehm, dessen Verwendung einfach ist und sich jahrtausendlang bewährt hat, schwer seinen Platz zu finden. Denn die Mechanismen einer vom Kapitalismus geprägten Ökonomie zwingen jedes Unternehmen zu einem stetigen Gewinnwachstum, das wiederum unweigerlich zu der Entwicklung von Spezialisierungen führt.²³⁵ Um nun diese Spezialisierungen wieder im System untereinander verständlich machen zu können, bedient man sich dem Instrument der Normung. Denn Aufgabe der Normung ist es, unterschiedliche Komponenten zusammenzuführen, damit sie im Ganzen wieder funktionsfähig werden.

Nimmt man beispielsweise die Technologie des Betonbaus, so gelingt diese ja nur durch den Einsatz von hoch-technologischen Prozessen. Erst 1844 entdeckte der Engländer Isaac Charles Johnson (1811-1911), dass das Brennen bis zur Sinterung bei einer Temperatur von über 1200°C die Herstellung des modernen Portlandzementes ermöglicht. Diese Spezialisierung zur Zementerzeugung führte rasch zu einem wahren Boom in der Zementindustrie, zunächst in England und in späterer Folge auch in Österreich. So entstand 1856 in Kirchbichl (Tirol) die erste Zementfabrik. Und zur eben gleichen Zeit begann man auch erste Bauteile aus „Eisenbeton“ herzustellen. Der Nutzen des Eisens als Bewehrung wurde entdeckt, eingesetzt und ständig weiterentwickelt. In weiterer Folge wurden die ersten Patente auf diesem Gebiet publiziert. 1887 war es der US-Amerikaner Thaddaeus Hyatt (1816-1901), der das Patent „Zementbeton, der mit Band- und Rundeisen zu Platten oder Gewölbe verarbeitet“ anmeldete.²³⁶ Nur die Spezialisierungen der einzelnen Komponenten wie Portlandzement oder vorgespannte bzw. schlaffe Bewehrung ermöglichen es, Stahlbeton in der heutigen Form einzusetzen. Damit diese Elemente wieder miteinander funktionieren bzw. quasi kommunizieren können, bedarf es einer dafür verständlichen Sprache, das die Normung darstellt.

²³⁵ Vgl. Niko Paech: *Befreiung vom Überfluss*, München, oekom Verlag, 2012

²³⁶ Vgl. Walter Potucek, Gerhard F. Kidéry, Richard Fritze und Georg Valentin: *Stahlbetonbau - Teil 1: Grundlagen und Beispiele.*, Wien, Manz, 2008

Beim Lehm- und Ziegelbau verhält es sich da etwas anders. Diese Bautechnologie ist einfach, von jedermann anwendbar und bedarf in der Regel keines komplexen Prozesses, geschweige denn einer Spezialisierung, wie es beispielsweise beim Betonbau erforderlich ist. Dort wo keine Spezialisierung notwendig ist, fällt auch automatisch der Druck nach dem Bedarf der Normung weg. Nun führt jedoch dieser vermehrte Drang nach Spezialisierung und der damit verbundenen Notwendigkeit an Normen zu einem immer stärkeren Umdenken in der Gesellschaft. Es bewirkt nämlich, dass nur mehr das als gut angesehen wird, was schriftlich festgehalten ist und so dem anerkannten Stand der Technik entspricht, der in der Regel über die Normen abgebildet wird. Der sprichwörtliche „Hausverstand“ wird somit immer öfter ausgeblendet. Behörden, Ausführende und schließlich auch Bauherren interpretieren nur mehr das für machbar, was genormt ist. Jahrhundertlanges Erprobtes wird plötzlich hinterfragt und oft gar verworfen, nur weil entsprechende normative Dokumente darüber fehlen.

Eine über mehrere Jahrtausende erfolgreiche Bautechnik wird als schlecht abgetan, nur weil es im Sinne, der von wachstumsgetriebener Spezialisierung nicht in den Spielregeln dieses Wirtschaftssystems mehr passt. Dies führte dazu, dass eine Normung für Lehm- und Ziegelbau hierzulande nicht existiert. Die in den 50er Jahren publizierten deutschen DIN-Normen zum Lehm- und Ziegelbau wurden bereits 1971 wieder zurückgezogen mit der Begründung, dass kein wirtschaftlicher Bedarf vorliegt. Und in Österreich erschien zwar 1951 die ÖNORM B 3350 *„Massive Mauern und Wände – Güteeigenschaften“*, die Anforderungen für den ungebrannte Voll oder Hohlsteine als Lehmziegel folgendermaßen festlegte:

„Ungebrannte Voll- und Hohlsteine werden aus Einzelteilen verbunden oder im Gieß-, Stampf- oder Rüttelverfahren aus hydraulischem oder anderen Bindemitteln ohne oder mit Zuschlagstoffen (zB solchen aus Naturstein, Schlacken verschiedener Art, Ziegelsplitt, Mischungen aus solchen, aus organischen Stoffen usf.) ohne oder mit Zusätzen (zB solchen porenbildender, dichtender und anderer Art) hergestellt.“²³⁷

Doch die Nachfolgenorm ÖNORM B 3351 *„Wände, aus künstlichen Steinen gemauert“*, die 1962 die ÖNORM B 3350 ersetzte, enthielt bereits keine Angaben mehr über ungebrannte Steine. Damit wurde der einzige normative Verweis auf Lehmziegel wieder aus den ÖNORMEN gestrichen und stellte den bislang einzigen Versuch dar, normative Regelungen für Lehmziegel in Österreich zu schaffen.

²³⁷ ÖNORM B 3350:1951, §2, A, 2b

Es dauerte bis in das Jahr 2013, dass wieder ein deutschsprachiger Standard zum Lehmbau erschien. Das deutsche Normungsinstitut DIN publizierte drei Normen zum Lehmbau, und zwar zum Thema Lehmsteine (Lehmziegel), Lehmmörtel und Lehmputz, die allesamt industriell hergestellt werden.

Verrückt ist, dass die älteste und am längsten verwendete Bauweise der Welt sich plötzlich gegenüber den modernen Baustoffen verteidigen muss, und das nur deshalb, weil sich die Spielregeln des Wirtschaftssystems grundlegend änderten. Ein wesentliches Element dieses heutigen Systems stellt das durch die Spezialisierung hervorgerufene Feld der Normung dar. Ohne diese hat es jeder Baustoff schwer, sich zu behaupten, auch wenn noch so viele positive Eigenschaften für dessen Einsatz sprechen.

Damit Lehmbau nun wieder mehr zur Anwendung gelangt, führt daher kein Weg an einer eigenen Lehmbaunormung vorbei. Dies wäre im Idealfall die Erstellung eines eigenen Standards oder als eine Art Zwischenschritt, die vorhandenen Baunormen für den Lehmbau anwendbar bzw. erklärbar zu machen. Denn die Technologie selbst, die Materialeigenschaften und charakteristischen Werte sind bereits ausreichend wissenschaftlich erforscht und dokumentiert. Und dass Lehmbau funktioniert, ist durch einen jahrtausend-langen Feldversuch (siehe Abschnitt 2.2) wohl ausreichend bewiesen. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel nach einer kurzen Einführung über die Grundprinzipien der Normung zum einen sämtliche weltweit gültigen Lehmbaunormen vorgestellt und zum anderen alle fachverwandten Baunormen, die für den Lehmbau relevant sind, aufgelistet.

3.2 Grundprinzipien der Normung

In der Europäische Norm ÖVE/ÖNORM EN 45020 werden die wichtigsten Begriffe und Definitionen zur Normung festgehalten. Die Normung wird dabei als *„eine Tätigkeit zur Erstellung von Festlegungen für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung, die auf aktuelle oder absehbare Probleme Bezug haben“*²³⁸ beschrieben. Das Ergebnis der Normungsarbeit stellt die Norm dar und ist ein *„Dokument, das mit Konsens erstellt und von einer anerkannten Institution angenommen wurde und das für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung Regeln, Leitlinien oder Merkmale für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse festlegt.“*²³⁹

²³⁸ ÖVE/ÖNORM EN 45020, *Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten – Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004)*, Wien, Austrian Standards, 2007, Begriff 1.1

²³⁹ ÖVE/ÖNORM EN 45020:2007, Begriff 3.2

Die Norm bildet eine qualifizierte Empfehlung ab und stellt kein Gesetz dar, solange der Gesetzgeber diese nicht für verbindlich erklärt. Erstellt werden diese Dokumente durch unterschiedliche Stakeholder-Gruppen unter Heranziehung abgestimmter Ergebnisse aus Wissenschaft, Technik und der Praxis. Ziel ist es, einen größtmöglichen Nutzen für alle zu erreichen unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit. Die wichtigsten Stakeholder-Gruppen sind dabei die Wirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft & Forschung, Prüfanstalten, Verbraucher und Zivilgesellschaft.²⁴⁰

Normen sollen helfen, Handelshemmnisse auf den unterschiedlichen Ebenen abzubauen. Ferner sorgen sie dafür, dass Produkte oder Dienstleistungen untereinander kompatibel sind. Im Idealfall sind sie eine Grundlage für Innovation und Rationalisierung und sollen die Zweckdienlichkeit sicherstellen, also dass beispielsweise ein Produkt einen bestimmten Zweck unter festgelegten Bedingungen erfüllt.

Die wichtigsten Grundprinzipien der Normung sind Transparenz, Offenheit, Unparteilichkeit, Konsens und Kohärenz. Unter Transparenz wird verstanden, dass jeder Interessierte die Möglichkeit besitzt, die wichtigsten Informationen über die Normungskomitees einzusehen. Die Teilnahme an der Normung selbst ist offen und unparteilich. Die Normen werden über den Weg des Konsenses erstellt, das heißt, dass widersprüchliche Argumente in gemeinsamer Diskussion ausgeräumt werden. Normen müssen untereinander widerspruchsfrei und einheitlich sein.²⁴¹

Oft werden auch Normen dazu verwendet, um Konkretisierungen von grundlegenden Anforderungen zu verfassen. Dies ist etwa gelebte Praxis für Normen aus dem Bereich der Bauprodukte. In der Europäischen Bauprodukteverordnung Nr. 305/2011 werden die grundlegenden Anforderungen vom Europäischen Gesetzgeber vorgegeben und was diese konkret für die einzelnen Bauprodukten bedeuten, wird über normative Dokumente festgelegt.²⁴² Diese Normen werden dann als harmonisierte Normen bezeichnet.²⁴³

²⁴⁰ Vgl. Heimo Ellmer: *Normen für jeden Bedarf – die Normenarten (Fachinformation 19)*, Wien: Austrian Standards, 2014, S. 4 und S. 7

²⁴¹ Ellmer 2014, S. 6

²⁴² Vgl. *Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten*, Europäische Union, 2011. Im Anhang I dieser Verordnung wird die Grundanforderung, die an ein Bauwerk gestellt werden, definiert.

²⁴³ Vgl. EU-VO Nr. 305/2011, Kapitel IV, Artikel 17

Normen bilden den „*anerkannten Stand der Technik*“ ab. Dies bedeutet, dass die erstellten Dokumente Praxiserfahrungen und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen berücksichtigen. In der Wissenspyramide stellt der „*anerkannte Stand (Regel) der Technik*“ die unterste Stufe dar. Darüber liegt der „*Stand der Technik*“. Dieser wird über wissenschaftliche Publikationen oder Firmenstandards beschrieben. Die Verfahren sind dazu bereits erprobt und bewährt. Jedoch ist eine hohe Sorgfaltspflicht notwendig. An der Spitze der Wissenspyramide steht der „*Stand der Wissenschaft*“. Dieser wird alleine in wissenschaftlichen Publikationen abgebildet. Für diesen liegen noch keine Praxiserfahrungen vor und wirtschaftliche Überlegungen spielen dabei noch keine Rolle.²⁴⁴

Allgemein gesprochen gibt es regionale, europäische und internationale Normen. Regionale Normen sind rein nationale Dokumente, die nur im Land, wo sie erstellt wurden, gelten. In Österreich werden diese Normen als ÖNORM A bis Z bezeichnet. Für den Baubereich ist das die ÖNORM B. Wird eine Norm auf europäischer Ebene durch das europäische Normungsinstitut CEN erarbeitet und publiziert, so gelten diese Normen automatisch in allen CEN-Mitgliedsländern. Europäische Normen sind über von CEN festgelegte Publikationsfristen als nationale Normen zu veröffentlichen und widersprüchliche nationale Dokumente sind dann sofort zurückzuziehen. In Österreich werden diese Normen als ÖNORM EN bezeichnet. Internationale Regelungen werden durch die Normungsorganisation ISO herausgegeben. Diese verfasst weltweit gültige Standards, die jedoch nicht verpflichtend von der jeweiligen nationalen Normungsorganisation zu übernehmen sind. Eine Übernahme erfolgt freiwillig und werden in Österreich als ÖNORM ISO bezeichnet. Falls jedoch eine internationale ISO-Norm von CEN übernommen wird, so gilt diese auch automatisch in Österreich und wird als ÖNORM EN ISO titliert.²⁴⁵

3.3 Übersicht weltweit gültiger Lehm- und Ziegelbaunormen

Außerhalb des deutschsprachigen Raumes bzw. Europas gibt es für den Lehm- und Ziegelbau mittlerweile eine durchaus beachtliche Anzahl von Regelwerken, vor allem in Ländern, wo man dies auf das Erste nicht vermuten würde. Abbildung 21 zeigt einen Überblick in welchen Ländern bereits Normen bzw. Regelwerke für den Lehm- und Ziegelbau existieren. Diese Regelwerke behandeln vor allem den Lehmziegel aber auch den Stampflehm. Des Weiteren ist zu beachten ist, dass in vielen Ländern der Erdbetonbau

²⁴⁴ Vgl. Heimo Ellmer: *Welche Wirkung haben ÖNORMen (Fachinformation 21)*, Wien: Austrian Standards, 2015

²⁴⁵ Vgl. Ellmer 2014, S. 6

auch unter dem Lehm- und Erdbetonbau subsumiert wird. In der Abbildung 21 wird diese Unterscheidung von Lehm- und Erdbetonbau mitberücksichtigt und in der folgenden Übersicht zu den weltweit gültigen Standards werden auch noch jene Normen aufgelistet, die den Erdbetonbau behandelt.

Erstaunlich ist, dass etwa Afrika es geschafft hat, durch das „*African Organisation for Standardisation*“ (ARSO) eine Normenreihe zu publizieren, die für den ganzen Kontinent gilt. Diese vierzehn Normen beschreiben ausführlich die Methodik für den Lehmziegel und Erdbetonziegel als „*Compressed Earth Block*“ (CEB).

Als weiteren Schwerpunkt zur Lehm- und Erdbetonbaunormung ist Amerika zu betrachten. Peru, Kolumbien, Brasilien und die USA schafften es, ein umfangreiches Regelwerk dazu herauszugeben. Dabei finden sich hier auch sehr detaillierte Angaben zur Konstruktion in Hinblick auf Erdbebensicherheit. Und am Beispiel Ecuador erkennt man, dass Lehm- und Erdbetonbau sogar in die nationalen Baugesetze aufgenommen wurde.

In Asien sind vor allem die Normen aus Indien hervorzuheben. Diese Regelwerke stellen eine erstaunlich gute Grundlage für den Stampflehm und Lehmziegel dar inklusive sehr anschaulicher Bilddarstellungen.

Aus Neuseeland liegt ein umfangreiches Normenwerk zum Lehm- und Erdbetonbau vor, das die Berechnung, Bemessung, Planung und Ausführung von Lehm- und Erdbetonbauwerken ausführlich behandelt. Berücksichtigt werden in dieser Norm nicht nur die speziellen konstruktiven Maßnahmen, die notwendig sind bei Vorliegen von Erdbebenbelastung, sondern auch die unterschiedlichen auftretenden Klimazonen, die sich durch tiefe/hohe Temperaturen, besondere Windbelastungen und erhöhte Niederschläge bemerkbar machen.

Diese Dichte an Regelwerken findet sich derzeit noch nicht in Europa. Nichtsdestotrotz erschienen mittlerweile nicht nur in Deutschland, sondern auch in Frankreich und in Spanien erste Normen zum Lehm- und Erdbetonbau. Jedoch stellen insbesondere die seit 2013 bzw. 2018 in Deutschland herausgegebenen Normen eine neue erfolgreiche Etappe der Lehm- und Erdbetonbaunormung dar.

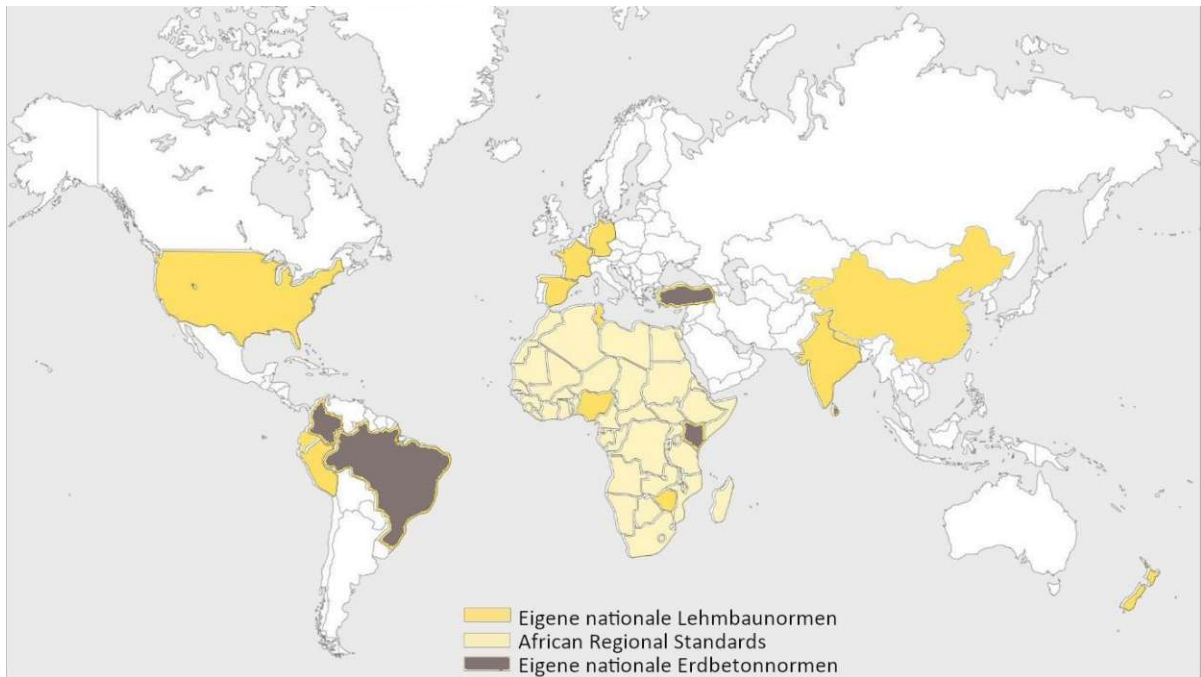


Abbildung 21 – Übersicht über weltweite Lehm- und Erdbetonbaunormung²⁴⁶

Generell kann zu allen internationalen Regelwerken gesagt werden, dass es sich bei diesen bis auf derzeit zwei Ausnahmen, immer um rein nationale Normendokumente handelt. Die Ausnahmen bilden die afrikanischen Normen über CEB (ARS 670 bis ARS 683), die in ganz Afrika ihre Gültigkeit besitzen, und die europäische Norm über Putzarbeiten EN 13914-2, die in Europa für allen CEN-Mitgliedsländern gültig ist.

Im Wesentlichen beleuchten die Lehm- und Erdbetonbaustandards folgende Punkte:

- Unterschiedliche Lehm- und Erdbetonbautechniken: Lehmziegel, Stampflehm, Compressed Earth Block (CEB), Flechtwerk mit Lehm- und Erdbetonbewurf;
- Beschreibung der Materialeigenschaften bzw. Anforderungen an das Material, wie zum Beispiel Kornverteilung, Plastizität, Kohäsion, Druck- bzw. Zugfestigkeiten, Salzgehalt;
- Prüfmethode für das Labor oder in situ durch einfach durchführbare Handversuche;
- Konstruktionsanforderungen für die Errichtung von Lehm- und Erdbetonbauten.

Im Folgenden findet sich eine Zusammenstellung der weltweit publizierten Normen zu Lehm- und Erdbetonbau geordnet nach Kontinenten. Dazu werden zu jeder Norm folgende Informationen angegeben: zuständiges Normungsinstitut (z.B.: ARSO „*African Organisation for Standardisation*“,

²⁴⁶ EN Standard über Lehmputz wird auf dieser Abbildung nicht berücksichtigt, (Darstellung vom Verf.)

Nairobi), Normnummer mit Erscheinungsjahr (z.B.: ARS 670:1996) und Normtitel (z.B. *Compressed Earth Blocks – Standard for terminology*).

3.3.1 Europa

CEN „European Committee for Standardization“, Brüssel, Belgien:

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

DIN „Deutsches Institut für Normung“, Berlin, Deutschland:

DIN 18942-1:2018, *Lehmstoffe und Lehmprodukte – Teil 1: Begriffe*

DIN 18942-100:2018, *Lehmstoffe und Lehmprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*

DIN 18945:2018, *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18946:2018, *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18947:2018, *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18948:2018, *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

SIA „Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein“, Zürich, Schweiz

D0111:1994, *Regeln zum Bauen mit Lehm*²⁴⁷

D077:1991, *Bauen mit Lehm*²⁴⁸

Dachverband Lehm, Weimar, Deutschland:

Lehmbau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile; 3. überarbeitete Auflage 2009

AENOR „Asociación Española de Normalización y Certificación“, Madrid, Spanien:

UNE 41410:2008, *Compressed earth blocs for walls and partitions – Definitions, specifications and test methods*

AFNOR „Association française de normalisation“, Paris, Frankreich:

XP P13-901:2022, *Briques et Blocs de terre crue pour murs et cloisons - Définitions - Spécifications - Méthodes*

²⁴⁷ Bei SIA nicht mehr erhältlich, jedoch unter <https://www.iglehm.ch/lehmbau/medien/fachberichte> [Zugriff am 14.03.2020] noch beziehbar.

²⁴⁸ Zurückgezogen am 31.03.2017

3.3.2 Amerika

ASTM „American Society for Testing and Materials, International“, Pennsylvania, United States:
ASTM E 2392/E 2392M:2010, *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems*

CID „Construction Industries Division“, Sante Fe, New Mexico, USA:
NMAC 14.7.4:2015, *Housing and construction, Building codes general, New Mexico earthen building materials code*²⁴⁹

SENCICO „Servicio Nacional de capacitación para la industria de la construcción“, Lima, Peru:
NTE E.080:2017, *Diseño y construcción con tierra reforzada*²⁵⁰

INACAL „Instituto Nacional de Calidad“, Lima, Peru:
NTP 331.201:1979, *Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros*
NTP 331.202:1979, *Elementos de suelos sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros – Métodos de ensayo*
NTP 331.203:1979, *Elementos de suelos sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros – Muestra y recepción*

MIDUVI „Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda“, Quito, Ecuador
NEC-SE-VIVENDA:2015, *Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*²⁵¹

ICONTEC „Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación“, Bogotá, Kolumbien:
NTC 5324:2004, *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega*²⁵²

ABNT „Associação Brasileira de Normas Técnicas“, Río de Janeiro, Brasilien:
ABNT NBR 8491:2012, *Soil-cement brick – Requirements*

²⁴⁹ Quelle: <http://164.64.110.239/nmac/parts/title14/14.007.0004.htm> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁵⁰ Quelle: <http://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁵¹ Quelle: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁵² Das kolumbianische Normungsinstitut übernahm 2004 die französische Norm XP P13-901 als eine eigene nationale Norm.

ABNT NBR 8492:2012, *Soil-cement brick – Dimensional analysis, compressive strength determination and water absorption – Test method*

ABNT NBR 10833:2012, *Manufacture of brick and block of soil-cement with use of a manual or hydraulic brickmaking machine – Procedure*

ABNT NBR 10834:2012, *Soil-cement block without structural function – Requirements*

ABNT NBR 10836:2013, *Soil-cement block – Dimensional analysis, compressive strength determination and water absorption – Test method*

ABNT NBR 12023:2012, *Soil-cement – Compaction test method*

ABNT NBR 12024:2012, *Soil-cement – Molding and curing of cylindrical specimens – Procedure*

ABNT NBR 12025:2012, *Soil-cement – Simple compression test of cylindrical specimens – Method of test*

ABNT NBR 13553:2012, *Soil-cement materials for monolithic walls of soil-cement without structural function – Requirements*

ABNT NBR 13554:2012, *Soil-cement – Durability test by wetting and drying – Test method*

ABNT NBR 13555:2012, *Soil-cement – Determination of water absorption – Test method*

3.3.3 Asien

BIS „Bureau of Indian Standards“, New Delhi, Indien:

IS 2110:1980, *Code of practice for in-situ construction of walls, in building with soil-cement*²⁵³

IS 1725:2013, *Stabilized Soil Blocks used in General Building Construction – Specification*²⁵⁴

IS 13827:1993, *Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines*²⁵⁵

SLSI „Sri Lanka Standards Institution“, Colombo, Sri Lanka:

SLS 1382:2009, *Specification for compressed stabilized earth blocks*

Part 1: Requirements

Part 2: Test Methods

Part 3: Guidelines on production, design and construction

TSE „Turkish Standard Institution“, Ankara, Türkei:

TS 537:1985, *Cement Treated Adobe Bricks*

²⁵³ Quelle: <https://archive.org/details/gov.in.is.2110.1980/page/n3/mode/2up> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁵⁴ Quelle: <https://archive.org/details/gov.in.is.1725.1982/page/n3/mode/2up> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁵⁵ Quelle: <https://archive.org/details/gov.in.is.13827.1993/page/n5/mode/2up> [Zugriff am 13.03.2020]

SAC „Standardization Administration of the People's Republic of China“, Peking, China:

GB 50011-2010(2016), *Code for Seismic Design of Buildings*²⁵⁶

DUDBC „Department of Urban Development and Building Construction“, Kathmandu, Nepal:

NBC 204:2015, *Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building (EB)*²⁵⁷

3.3.4 Australien

NZSO „Standards New Zealand“, Wellington, Neuseeland:

NZS 4297:1998, *Engineering design of earth buildings*²⁵⁸

NZS 4298:1998, *Materials and workmanship for earth buildings*²⁵⁹

NZS 4299:1998, *Earth buildings not requiring specific design*²⁶⁰

3.3.5 Afrika

ARSO „African Organisation for Standardisation“, Nairobi, Kenia:

ARS 670:1996, *Compressed Earth Blocks – Standard for terminology*²⁶¹

ARS 671:1996, *Compressed Earth Blocks – Standard for definition, classification and designation of compressed earth blocks*

ARS 672:1996, *Compressed Earth Blocks – Standard for definition, classification and designation of earth mortars*

²⁵⁶ Dieser Standard behandelt zwar hauptsächlich allgemeine Anforderungen für die Errichtung von Bauwerken unter Erdbebenbelastung, jedoch enthält er auch einen eigenen Abschnitt betreffend Maßnahmen bei der Ausführung von Lehm- und Ziegelbauwerken.

²⁵⁷ Quelle: <https://www.dudbc.gov.np/buildingcode> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁵⁸ Quelle: <https://shop.standards.govt.nz/catalog/4297%3A1998%28NZS%29/view> [Zugriff am 13.03.2020]; Seit 20.02.2020 gibt es nun eine überarbeitete Version von NZS 4297 bis NZS 4299. In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch noch die Standards aus dem Jahr 1998 herangezogen.

²⁵⁹ Quelle: <https://shop.standards.govt.nz/catalog/4298%3A1998%28NZS%29/view> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁶⁰ Quelle: <https://shop.standards.govt.nz/catalog/4299%3A1998%28NZS%29/view> [Zugriff am 13.03.2020]

²⁶¹ Quelle: <http://www.nzdl.org/gsdImod?e=d-00000-00---off-0cdl--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11-11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL2.3&d=HASH01979938ef89e979d9dfb736b.5.1&gc=1> [Zugriff am 13.03.2020]

ARS 673:1996, *Compressed Earth Blocks – Standard for definition, classification and designation of compressed earth blocks masonry*

ARS 674:1996, *Compressed Earth Blocks – Technical specifications for ordinary compressed earth blocks*

ARS 675:1996, *Compressed Earth Blocks – Technical specifications for facing compressed earth blocks*

ARS 676:1996, *Compressed Earth Blocks – Technical specifications for ordinary earth mortars*

ARS 677:1996, *Compressed Earth Blocks – Technical specifications for facing earth mortars*

ARS 678:1996, *Compressed Earth Blocks – Technical specifications for ordinary compressed earth block masonry*

ARS 679:1996, *Compressed Earth Blocks – Technical specifications for facing compressed earth block masonry*

ARS 680:1996, *Compressed Earth Blocks – Code of practice for the production of compressed earth blocks*

ARS 681:1996, *Compressed Earth Blocks – Code of practice for the preparation of earth mortars*

ARS 682:1996, *Compressed Earth Blocks – Code of practice for the assembly of compressed earth block masonry*

ARS 683:1996, *Compressed Earth Blocks – Standard for classification of material identification tests and mechanical tests*

INNORPI „Institut National de la Normalisation et de la Propriété Industrielle“, Tunis, Tunesien:

NT 21.33:1996, *Blocs de terre comprimée ordinaires – Spécifications techniques*

NT 21.35:1996, *Blocs de terre comprimée – Définition, classification et désignation*

KEBS „Kenya Bureau of Standards“, Nairobi, Kenia:

KS 1070:1993, *Specifications for stabilized soil blocks*

SAZ „Standards Association of Zimbabwe“, Harare, Zimbabwe:

SADC ZW HS 983:2014, *Rammed earth structures – Code of practice*²⁶²

SON „Standards Organisation of Nigeria“, Lagos, Nigeria:

NIS 692:2007, *Standard for Compressed earth block*

Part 1: Terminology

²⁶² Quelle: <http://www.rammedearthconsulting.com/library/african-rammed-earth-harmonised-standard-en.pdf> [Zugriff am 13.03.2020]

Part 2: Definition, classification and designation.

Part 3: Definition, classification and designation of earth mortar

Part 4: Definition, classification and designation of compressed earth block masonry

Part 5: Technical specification for ordinary compressed earth block

Part 6: Technical specification for facing earth blocks

Part 7: Technical specification for ordinary earth mortar

Part 8: Technical specification for facing earth mortars

Part 9: Technical specification for ordinary compressed earth blocks

Part 10: Technical specification for facing compressed earth block masonry

Part 11: Classification of materials, identification and mechanical tests.

3.3.6 Zusammenfassung

Die Tabelle 5 enthält eine Zusammenstellung sämtlicher Standards für Lehm- und Erdbetonbau aufgliedert nach den unterschiedlichen Verarbeitungstechniken.

Tabelle 5 – Zusammenstellung der Lehm- und Erdbetonbautechnik und die dazugehörigen Normen

Lehm- und Erdbetonbau	Normen
Lehmziegel	ASTM E 2392, NMAC 14.7.4, NTE E 0.80, IS 13827, DIN 18945, Lehm- und Erdbetonbau-Regeln, NZS 429x, NEC-SE-VIVVIENDA, NBC 204
Gepresster Lehmziegel	ARS 670 bis ARS 683, NIS 692-x, ASTM E 2392, NMAC 14.7.4, UNE 41410, XP P13-901, NZS 429x, NT 21.3x
Stampflehm	NMAC 14.7.4, ASTM E 2392, NTE E 0.80, IS 2110, IS 13827, Lehm- und Erdbetonbau-Regeln, NZS 429x, SADC ZW HS 983, NEC-SE-VIVVIENDA, NBC 204
Lehmflechtwerk	IS 13827, NEC-SE-VIVVIENDA
Wellerlehm- und Erdbetonbau	Lehm- und Erdbetonbau-Regeln
Lehmputz	DIN 18947, Lehm- und Erdbetonbau-Regeln, EN 13914-2, IS 13827, NZS 429x
Lehmmörtel	DIN 18946, Lehm- und Erdbetonbau-Regeln, NZS 429x
Lehmplatten	DIN 18948, Lehm- und Erdbetonbau-Regeln
Handgeformte Lehmblöcke	IS 13827
Erdbetonbau	Normen
Erdbetonziegel	NMAC 14.7.4, IS 1725, NTP 331.20x, ABNT NBR-Normen, SLS 1382, TS 537, NZS 429x, KS 1070
Gepresster Erdbetonziegel	ARS 670 bis ARS 683, NIS 692-x, ASTM E 2392, NMAC 14.7.4
Erdbetonwand	NMAC 14.7.4, IS 2110, NZS 429x

In weiterer Folge werden nun jene Normen näher betrachtet, die ohne die Verwendung von Stabilisierungen, wie z.B. Zement auskommen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Normen die Lehmziegel, Stampflehm und Lehmmörtel behandeln. Zusätzlich wird auch die afrikanische Normenreihe ARS 670 bis ARS 683 über die gepressten Lehmziegel näher vorgestellt.

Dabei werden zu jeder Norm das dafür verantwortliche Normungsinstitut kurz allgemein vorgestellt sowie dessen Anwendungsbereich und die wichtigsten Inhalte angegeben. Die detaillierten Anforderungen, wie zum Beispiel über die Prüfung des Lehms auf dessen Eigenschaften oder konstruktive Vorgaben zur Ausführung werden dann später im Abschnitt 4 beleuchtet.

3.4 Europäische Lehmbaunormen

Vom Europäischen Normungsinstitut CEN wurde bislang nur eine einzige Norm ausgearbeitet, die Anforderungen betreffend Lehmbau enthält. Es handelt sich dabei um die Norm über Putzarbeiten ÖNORM EN 13914-2, die einen eigenen Abschnitt über Lehmputze beinhaltet. Alle restlichen Lehmbaunormen aus Europa sind rein regionale Standards. Diese wurden vom deutschen (DIN), spanischen (AFNOR) und französischen (AFNOR) Normungsinstitut publiziert. Darüber hinaus veröffentlichten unterschiedliche Lehmorganisationen Richtlinien zum Lehmbau wie beispielsweise in Deutschland durch den Dachverband Lehm.

3.4.1 DIN Normen

Bereits in den 50er Jahren wurden zwischen 1951 und 1956 vom Deutsche Normungsinstitut (DIN) folgende (Vor)Normen zum Lehmbau veröffentlicht:

DIN 18951, *Vorschriften für die Ausführung, Blatt 1: Lehmbauordnung; Blatt 2: Erläuterungen*

DIN 18952, *Baulehm, Blatt 1: Begriffe, Arten; Blatt 2: Prüfung von Baulehm*

DIN 18953, *Baulehm Lehmteile; Blatt 1: Verwendung von Baulehm; Blatt 2: Gemauerte Lehmwände; Blatt 3: Gestampfte Lehmwände; Blatt 4: Gewellte Lehmwände; Blatt 5: Leichtlehmwände in Gerippebauten; Blatt 6: Lehmfußböden*

DIN 18954, *Ausführung von Lehmbauten*

DIN 18955, *Feuchtigkeitsschutz*

DIN 18956, *Putz auf Lehmbauten*

Diese wurden dann aber allesamt 1971 unter dem Verweis, dass sie veraltet seien und nicht mehr wirtschaftlich relevant sind, ersatzlos zurückgezogen. De facto galten sie jedoch weiterhin in Deutschland mangels fehlender Nachfolgedokumente bauaufsichtlich als Stand der Technik für den Lehmbau, das beispielsweise im Land Hessen durch einen eigenen Erlass festgelegt wurde.²⁶³

²⁶³ Vgl. Lehmbau-Regeln 2009, Vorwort und Röhlen/Ziegert 2020, S. 334

2011 nahm DIN dann wieder das Thema Lehmbau in sein Arbeitsprogramm auf und so wurde im Normenausschuss Bauwesen (NABau) der Arbeitsausschuss NA 005-06-08 AA „Lehmbau“ gegründet, mit dem Ziel, DIN-Normen für den Lehmbau auszuarbeiten. Die Grundlage dafür wurde dabei durch den Beirat für Normung des Dachverbandes Lehm e.V. unter der Leitung von Dr. Urs Müller und Dr.-Ing Christof Ziegert erstellt. Dieser Beirat setzt sich aus Lehmbauexperten, Vertretern des Deutschen Instituts für Bautechnik und der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung zusammen.²⁶⁴ So gelang es, dass 2013 die ersten Lehmbaunormen veröffentlicht wurden zu den Themen Lehmziegel (Lehmsteine), Lehmmörtel und Lehmputz. Doch bereits wenig später begann man dieses Normenpaket erneut zu überarbeiten und um das Bauprodukt Lehmplatte zu erweitern. Schlussendlich publizierte 2018 der Arbeitsausschuss „Lehmbau“ sechs Lehmbaunormen mit folgenden Anwendungsbereichen:

DIN 18942-1, *Lehmstoffe - Teil 1: Begriffe*

Anwendungsbereich:

„Dieses Dokument legt Begriffe für die Anwendung der Normen für Lehmstoffe nach DIN 18945, DIN 18946, DIN 18947 sowie DIN 18948 fest.“²⁶⁵

DIN 18942-100, *Lehmstoffe und Lehmprodukte - Teil 100: Konformitätsnachweis*

Anwendungsbereich:

„Dieses Dokument legt Anforderungen an die Konformitätsbewertung von Lehmstoffen nach DIN 18945, DIN 18946, DIN 18947 und DIN 18948 fest.“²⁶⁵

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

Anwendungsbereich:

„Diese Norm legt Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmsteine für tragendes und nichttragendes Mauerwerk fest. Im Werk hergestellte Lehmsteine werden vorwiegend bei der Erstellung von Außen- und Innenwänden sowie für Ausfachungen angewendet. Für die Anwendung gelten die Lehmregeln. Diese Norm gilt nicht für stabilisierte Lehmsteine.“²⁶⁵

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

Anwendungsbereich:

„Diese Norm legt Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmmauermörtel (Lehmwerkermörtel) zur Herstellung von tragendem und nichttragendem Lehmsteinmauerwerk fest. Für die Anwendung von Lehmmauermörtel gelten die Lehmregeln. Diese Norm gilt nicht für stabilisierte Lehmmauermörtel. [...]“²⁶⁵

²⁶⁴ Vgl. DIN 18945:2015, Vorwort und Röhlen/Ziegert 2020, S. 334

²⁶⁵ DIN 1894x:2018, Abschnitt 1

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

Anwendungsbereich:

„Diese Norm legt Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmputzmörtel (Lehmwerkmörtel) zum Verputzen von Wänden und Decken im Innen- und witterungsgeschützten Außenbereich fest. Lehmputzmörtel können im Außenbereich unter Umständen auch als Unterputz von witterungsbeständigem Oberputz eingesetzt werden. Diese Norm gilt für Lehmputzmörtel mit Auftragsdicken von mindestens 3 mm. [...] Für die Anwendung von Lehmputzmörtel gelten die Lehmbau Regeln, das Technische Merkblatt TM01 des Dachverbandes Lehm e. V. sowie DIN EN 13914-2 in Verbindung mit DIN 18550-2. Diese Norm gilt nicht für stabilisierte Lehmputzmörtel und Lehmbaustellenmörtel. [...]“²⁶⁵

DIN 18948, *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

Anwendungsbereich:

„Diese Norm legt Anforderungen, Einsatzbereiche, Leistungsmerkmale, Prüfung und Kennzeichnung für im Werk hergestellte Lehmplatten, die in Bauwerken verwendet werden, fest. Lehmplatten im Sinne der Lehmbau Regeln sind sowohl plattenförmige Baustoffe, die ohne Unterkonstruktion beispielsweise für nichttragende Wände vermauert und verklebt werden können, als auch dünne Lehmplatten zum Bekleiden und im Trockenbau. Lehmplatten im Sinne dieser Norm sind nach Definition der Lehmbau-Regeln dünne Lehmplatten. [...] Für die Anwendung von Lehmplatten gelten die Lehmbau Regeln.“²⁶⁵

Die Begriffsnorm DIN 18942-1 versucht alle wesentlichen Begriffe für den Lehmbau zusammenzufassen. Es finden sich in dieser Norm allgemeine Definitionen zum Baustoff Lehm, Lehmstein (Lehmziegel), Lehmmörtel und Lehmplatten.

Wie für Bauprodukten üblich, bildet DIN 18952-100 für die Lehmbauprodukte (Lehmziegel, Lehm(mauer/putz)mörtel und Lehmplatten) die Konformitätsnorm, in der die Aufgaben für den Hersteller beschrieben sind, damit er sein Lehmbauprodukt in den Verkehr bringen kann. Der Hersteller muss dabei für sein Produkt eine Erstprüfung sowie werkseigene Produktionskontrollen (WPK) durchführen. Diese Prüfungen erfolgen dabei durch ein eigenes Fachpersonal oder sie werden einer dafür geeigneten Fremdüberwachung übertragen. Definiert werden Art und Mindestumfang für die Erstprüfung bzw. WPK, wobei die Aufzeichnungen gemäß DIN 18200²⁶⁶ vorzunehmen und diese dann mindestens fünf Jahre aufzubewahren sind.

²⁶⁶ Siehe dazu DIN 18200, *Übereinstimmungsnachweis für Bauprodukte – Werkseigene Produktionskontrolle, Fremdüberwachung und Zertifizierung*, Berlin, Beuth, 2018

Die vier Lehmbau-Produktnormen DIN 18945 bis DIN 18948 orientieren sich im Wesentlichen an den Prinzipien der EU-Bauproduktenverordnung Nr. 305/2011. So versuchen diese beispielsweise, den Grundanforderungen dieser Verordnung zu folgen (siehe dazu auch Tabelle 11).²⁶⁷

Demnach sind diese Normen wie folgt strukturiert:

- Anforderungen an das Produkt,
- Bezeichnung bzw. Kennzeichnung,
- Prüfung des Produktes,
- Produktdatenblatt inkl. Mindestumfang für den Lieferschein.

Wie die genaue Bezeichnung nach diesen Normen für die einzelnen Produkte zu erfolgen hat, ist der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6 – Bezeichnung der Lehmprodukte nach DIN 18945 bis DIN 18948

Lehmsteine	<p>Lehmstein (Kurzzeichen) tragend/nichttragend – DIN-Hauptnummer – Herstellungsverfahren, ggf. Lochung und Druckfestigkeitsklasse – Anwendungsklasse – Rohdichteklasse – Format-Kurzzeichen</p> <p>Bezeichnungsbeispiel: Bezeichnung eines formgepressten tragenden Lehmsteins ohne Lochung, Druckfestigkeitsklasse 3, Anwendungsklasse Ib, Rohdichteklasse 1,6, Länge 240mm, Breite 115 mm, Höhe 71mm</p> <p style="text-align: center;">Lehmstein (LS) – tragend – DIN 18945 – p 3 – Ib – 1,6 – NF</p>
Lehmmauer-mörtel	<p>Lehmmauermörtel (Kurzzeichen) – DIN-Hauptnummer – obere Siebgröße und Faserbewehrung/mineralisch – Festigkeitsklasse – Rohdichteklasse</p> <p>Bezeichnungsbeispiel: Bezeichnung eines Lehmmauermörtels mit 0 mm unterer und 4 mm oberer Siebgröße und Faserzuschlag, Festigkeitsklasse M 2, Rohdichteklasse 1,8:</p> <p style="text-align: center;">Lehmmauermörtel (LMM) – DIN 18946 – 0/4 f – M2 – 1,8</p>
Lehmputz-mörtel	<p>Lehmputzmörtel (Kurzzeichen) – DIN-Hauptnummer – obere Siebgröße und Faserbewehrung/mineralisch – Festigkeitsklasse – Rohdichteklasse</p> <p>Bezeichnungsbeispiel: Bezeichnung eines Lehmputzmörtels mit 0 mm unterer und 2 mm oberer Siebgröße und Faserzuschlag, Festigkeitsklasse S II, Rohdichteklasse 1,8:</p> <p style="text-align: center;">Lehmputzmörtel (LPM) – DIN 18947 – 0/2 f – S II – 1,8</p>
Lehmplatten	<p>Lehmplatten sind in folgender Reihenfolge zu bezeichnen:</p> <p>Lehmplatte (Kurzzeichen), Art der Lehmplatte mit Einsatzort (Typ) ggf. Sonderprodukt – DIN-Hauptnummer – Maßhaltigkeitsklasse – Rohdichteklasse – Plattendicke</p> <p>Bezeichnungsbeispiel: Bezeichnung einer Lehmplatte zur Beplankung, Maßhaltigkeitsklasse I, Rohdichteklasse 1,4, Plattendicke 16 mm:</p> <p style="text-align: center;">Lehmplatte (LP), (A) – DIN 18948 – MHK I - 1,4 – 16</p>

²⁶⁷ Vgl. Horst Schröder: „The New DIN Standards in Earth Building—The Current Situation in Germany.“ *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2018, S. 113-120

Die nachstehende Tabelle 7 enthält für DIN 18945 bis DIN 18948 eine Zusammenstellung sämtlicher Anforderungen, die an das Produkt gestellt werden, den Prüfungen und Angaben, welche das Produktdatenblatt zu enthalten hat.

Für die Prüfung von Lehm(mauer/putz)mörtel gelten allgemein die Normen EN 1015-1 bis -12. Abweichungen zu diesen Prüfungen werden in den beiden Normen DIN 18946 und DIN 18947 angegeben.

Tabelle 7 – Anforderungen, Prüfung und Produktdatenblatt nach DIN 18945 bis DIN 18948

Parameter	DIN 18945	DIN 18946	DIN 18947	DIN 18948
Form	A P			A P
Stege	A P			
Lochung	A P			D
Maße	A P			A P D
Lieferform		A	A	
Lagerung		A	A	
Formate	A D			
Gehalt an bauschädlichen Salzen	A	A P	A P	A P
Frisch(mauer/putz)mörtel		A	A	
Rohdichte	A P D	A P D	A P D	A P D
Trocknungsschwindmaß		A P D	A P D	
Überkorn		A P D	A P D	
Korngruppen ²⁶⁸		P D	P D	
Vorgabe Baustellenaufbereitung		A	A	
Druckfestigkeit	A P D	A P D	A P D	
Oberflächenhärte				A P D
Oberflächenzugfestigkeit				A P D
Biegezugfestigkeit			A P D	A P D
Haftscherfestigkeit		A P D	A P D	
Abrieb			A P D	
Verformung unter Lasteinwirkung	A P			
Feuchte- und Frosteinwirkung	A P			A
Wasserdampfdiffusionswiderstand ²⁶⁹	A P D	A P D	A P D	A P D
Wärmeleitfähigkeit ²⁷⁰	A D	A D	A D	A P
Wärmespeicherkapazität				A P D
Brandverhalten ²⁷¹	A P	A P	A P	A P
Lehmstein- und Herstellungsverfahren		D		
Anwendungs-kategorie		D		
Baustoffklasse bzw. Klasse		D	D	D

²⁶⁸ Prüfung erfolgt nach EN 13139.

²⁶⁹ Prüfung erfolgt nach EN ISO 12572.

²⁷⁰ Für Lehm-mauer/putzmörtel erfolgt die Prüfung nach DIN 4108-4.

²⁷¹ Prüfung erfolgt nach EN 13501-1.

Zusammenstellung weltweit gültiger Normen zum Lehmbau

Lehmmauer(mörtel/putz)art		D	D	
Fasern		D	D	D
Minimale u. maximale Auftragsdicke			D	
Lehmplatte u. Herstellungsverfahren				D
Bewehrung (Faser, Oberfläche, Kern)				D
Stabilisierte Zusatzmittel, Pigmente				D
Plattengewicht, Nut u. Feder				D
Oberflächenprofilierung				D
Es bedeutet:				
D Produktdatenblatt, A Anforderung, P Prüfung				

Als zusätzliche Prüfungen finden sich für sämtliche Lehmbauprodukte in einem informativen Anhang Angaben zur Ermittlung des CO₂-Äquivalentkennwerts, der natürlichen Radionuklidaktivität, der Aktivitätskonzentrationsindex und der Wasserdampfadsorption (außer beim Lehmmauermörtel). Für Lehmplatten gibt es noch spezielle Angaben zur Feuchtetoleranz. Diese zusätzlichen Prüfungen können dann auch optional auf dem Produktdatenblatt angegeben werden.

Aktuell startete nun der DIN-Arbeitsausschuss NA 005-06-08 AA „Lehmbau“ im Februar 2022 mit der Ausarbeitung des Normprojektes zur Bemessung, Konstruktion und Ausführung für das Lehmsteinmauerwerk. Der Normentwurf wird voraussichtlich im September 2022 publiziert.

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

Anwendungsbereich:

„Diese Norm legt die Anforderungen, Einsatzbereiche und Leistungsmerkmale fest, die bei der Konstruktion, Bemessung und Ausführung von tragendem Lehmsteinmauerwerk zu berücksichtigen sind. Diese Norm gilt für tragende Wände aus Lehmsteinmauerwerk außerhalb von Hochwasser- und/oder Überschwemmungsgebieten.“²⁷²

3.4.2 Lehmbau-Regeln

In Deutschland publizierte 2009 der Dachverband Lehm e.V. die „Lehmbau-Regeln“²⁷³, in denen der aktuelle Stand des Lehmbaus für Deutschland beschrieben wird. In diesem Regelwerk werden alle wesentlichen Arten der Lehmbautechnik behandelt und es gilt für Lehmbauprodukte, die sowohl industriell als auch in situ auf der Baustelle hergestellt werden. „Stabilisierte Lehmbaumstoffe“²⁷⁴ sind

²⁷² DIN 18940, Kurzreferat des Normprojektes; Quelle: <https://www.din.de/de/wdc-proj:din21:351698391>
[Zugriff am 27.06.2022]

²⁷³ Volhard und Röhlen: *Lehmbau-Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile*, Springer Vieweg Verlag, 2009

²⁷⁴ Lehmbau-Regeln 2009, Vorwort: gemeint sind hier Baulehme, die durch zusätzliche Bindemittel, wie zum Beispiel Zement stabilisiert sind.

nicht Gegenstand dieser Regeln, da diese auch in Deutschland nicht relevant sind und es kaum Anwendungsbeispiele bzw. Erfahrungen dazu gibt.

Des Weiteren sind die Lehm- und Ziegelbau-Regeln in Deutschland in der Musterliste der Technischen Regeln des Institutes für Bautechnik Berlin aufgenommen und damit sind sie zur bauaufsichtlichen Einführung in den deutschen Bundesländern empfohlen. Elf Bundesländer sind bislang dieser Empfehlung gefolgt. 1999 erfolgt die 1. Auflage der Lehm- und Ziegelbau-Regeln, 2002 die 2. korrigierte Auflage und nun schließlich 2009 die aktuell gültige Auflage.

Der Dachverband Lehm ist ein in Deutschland ansässiger gemeinnütziger Verein, der 1992 gegründet wurde. Dieser Verein setzt sich aus Fachleuten, Architekten, Unternehmern, Handwerksfirmen und Vertretern anderer Institutionen zusammen. Ursprüngliches Vereinsziel war es, Regelwerke für den Lehm- und Ziegelbau zu erstellen unter Berücksichtigung historischer Dokumente und baupraktischer Erfahrungen. Aufgenommen wurden alle Lehm- und Ziegelbautechniken, die vom Dachverband als aus heutiger Sicht relevant erschienen. Für andere untergeordnete Techniken, wie zum Beispiel die der Lehmschindeln, wird auf die historische Fachliteratur bzw. alten Normen verwiesen.²⁷⁵ Eine wesentliche Grundlage dieser Lehm- und Ziegelbau-Regeln stellen die DIN-Normen aus den 50er Jahren (siehe Abschnitt 3.4.1) dar, die 1971 ersatzlos zurückgezogen wurden.

Anwendungsbereich:

„Diese Regeln gelten für vorgefertigte oder örtlich hergestellte Lehm- und Ziegelbaustoffe, deren alleiniges Bindemittel Lehm ist. Stabilisierte Lehm- und Ziegelbaustoffe, deren Wasserlöslichkeit oder Festigkeit durch andere Bindemittel oder Zugaben chemisch wirksamer Stoffe verändert werden, sind nicht Gegenstand dieser Regeln.“²⁷⁶

Die Lehm- und Ziegelbau-Regeln sind auf ein- und zweigeschossige Gebäude beschränkt und liefern Angaben zur Herstellung, Planung und Ausführung folgender Lehm- und Ziegelbautechniken: Stampflehm- und Ziegelbau, Lehmziegel (Lehmsteine), Wellerlehm- und Ziegelbau²⁷⁷, Faser- bzw. Strohlehm als Ausfachungsbaustoff (z.B. bei

²⁷⁵ Vgl. Lehm- und Ziegelbau-Regeln 2009, Vorwort

²⁷⁶ Ebda, Abschnitt 1.1

²⁷⁷ Wellerlehm- und Ziegelbau wird heute in Deutschland nur noch bei Renovierungsarbeiten verwendet und kann als tragende oder nichttragende Wand ausgeführt werden.

Fachwerkwänden), Leichtlehm²⁷⁸, Lehmschüttung bei Geschossdecken oder Hohlraumfüllung, Lehmplatten²⁷⁹ und Lehmmörtel. Ferner finden sich in diesem Regelwerk auch Angaben zu Stampflehmfußböden und Bekleidungen für den Trockenbau.

Für die Herstellung von Lehmziegel werden folgende Verfahren zugelassen:

- Handstrichverfahren: Der Lehmbaustoff wird in Formrahmen geschlagen („gepatzt“) und abgestrichen.
- Pressverfahren: Der Lehmbaustoff wird erdfeucht in Formen gepresst.
- Strangpressverfahren: Die Lehmziegel werden von einem durch ein Mundstück gepressten Strang abgeschnitten.
- Grünlinge: sind zum Brennen bestimmte „grüne“ Steine aus der Ziegelproduktion, die ungebrannt verwendet werden.

Für die Prüfung des Baulehms im Labor gelten gemäß den Lehmbau-Regeln u.a. folgende Prüfnormen²⁸⁰:

- Bindekraft gemäß DIN 18952, *Baulehm, Blatt 2: Prüfung von Baulehm*
- Plastizität gemäß DIN 18122, *Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen)* bzw. DIN 18196, *Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke*
- Korngrößenverteilung gemäß DIN 18123, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung*

Zusätzlich ist der Lehm im Labor auch auf dessen Humusgehalt und Verunreinigungsgrad zu untersuchen. In den Lehmbau-Regeln werden noch folgende einfache Handtests beschrieben:

²⁷⁸ Die Leichtlehm-Bauweise kann für Außen- und Innenwände, Vorsatzschalen oder Deckenausfachungen eingesetzt werden. Dabei ist zu beachten, dass Leichtlehm außer seinem Eigengewicht keine Lasten abtragen darf.

²⁷⁹ Lehmplatten dürfen nur als nichttragende Wände, Ausfachungen von Balkendecken oder Dachschrägen sowie Deckenauflagen und Putzträgerplatten verbaut werden.

²⁸⁰ Zu beachten ist, dass mittlerweile einige dieser Normen durch Europäische/Internationale Normen ersetzt wurden. Etwa deckt die Normenreihe EN ISO 17892-x die meisten Prüfung ab bzw. für die Bodenklassifizierung gilt EN ISO 14688.

Kugelformprobe, Kugelfallprobe, Schneideversuch, Trockenfestigkeitsversuch, Reibeversuch, Bestimmung des Mineralgerüsts, Riechversuch, Farbbestimmung und Bestimmung des Kalkgehalts.

Die Lehm- und Kalkputz-Regeln sollen bis zur Publikation einer eigenen Bemessungsnorm für Lehm- und Kalkputz gelten. Danach ist geplant eine 4. überarbeitete Auflage auszuarbeiten, die dann im Wesentlichen nur das Arbeiten mit Baulehm vor Ort sowie Angaben für die Denkmalpflege enthalten sollen.²⁸¹

3.4.3 ÖNORM EN 13914-2

Das „Europäische Komitee für Normung“ (CEN) wurde 1961 gegründet mit dem Ziel „marktorientierte Europäische Normen (EN) zu erstellen und zu verbreiten, welche den Anforderungen von Wirtschaft, Industrie und anderen interessierten Kreisen gerecht werden“. Dieses Ziel soll durch folgende Maßnahme erreicht werden: „Einsatz eines gemeinsamen Normenerarbeitungsprozesses auf der Basis einer wirksamen und effizienten Infrastruktur zur Bereitstellung und Pflege marktrelevanter Normen, die durch das nationale Delegationsprinzip europaweiten Konsens herstellen.“²⁸² Zentraler Sitz des CEN/CENELEC Management Center ist in Brüssel (Belgien).

Das „Europäische Komitee für Normung“ (CEN) umfasst derzeit 34 Mitgliedsländer inklusive aller EU-Staaten. Dabei werden sämtliche Europäische Normen in den drei offiziellen CEN Sprachen Deutsch, Englisch und Französisch herausgegeben.²⁸³

Die erste europäische Norm, die nun explizit auf den Lehm- und Kalkputz eingeht, ist die Planungs- und Ausführungsnorm für Putze im Innenbereich. Es handelt sich dabei um ÖNORM EN 13914-2, die vom Technischen Komitee CEN/TC 125 „Mauerwerksbau“ erarbeitet wurde und 2017 in Österreich als ÖNORM EN publiziert wurde.²⁸⁴

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

²⁸¹ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 335

²⁸² CEN/CENELEC Geschäftsordnung Teil 1: Organisation und Aufbau. Brüssel: CEN, 2018, S. 6

²⁸³ CEN/CENELEC Geschäftsordnung Teil 2: Gemeinsame Regeln für die Normungsarbeit. Brüssel: CEN, 2018, S. 33 und S. 60

²⁸⁴ ÖNORM EN 13914-2:2016, S. 4

Anwendungsbereich:

„Diese Europäische Norm behandelt die Planung und wesentliche Grundsätze für Innenputzsysteme sowie für die Ausführung von Innenputzsystemen. Die einzelnen Abschnitte der Normenreihe EN 13914 legen Anforderungen an und Empfehlungen für die Detailausführung, für die Planung und die Auswahl der Materialien, für die Auswahl von Putzmischungen sowie für das Auftragen von Gipsputz, Gipskalkputz, Leichtputz, Putzen auf Kalkgips-, Kalk-, Zement- und Kalkzementbasis, Lehmputze, Silikatputze, organisch gebundene Putze, polymermodifizierte Putze, usw., fest. [...]

Aufgrund der zahlreichen und unterschiedlichen Materialien und Arbeitsweisen und unterschiedlicher klimatischer Bedingungen in Europa ist es nicht möglich, zu bestimmten Gesichtspunkten dieser Norm genügend Einzelheiten anzugeben, um den Anwendern in jedem Land umfassende Verwendbarkeit zu bieten. Eine geeignete Anleitung für die Ergänzung grundsätzlicher europäischer Empfehlungen, nicht jedoch für deren Änderung, gibt es in den von den einzelnen Ländern ausgearbeiteten Dokumentationen. Gesichtspunkte dieser Europäischen Norm, deren grundlegende Empfehlungen einer Ergänzung bedürfen, sind jeweils mit einer auf diesen Abschnitt verweisenden Fußnote versehen.“²⁸⁵

Diese Norm gilt seit 2016 automatisch in allen Mitgliedsländern von CEN. Damit ist seit diesem Zeitpunkt zumindest der Lehmputz europaweit normativ geregelt. Im Abschnitt 4 „Materialien und Zubehör“ dieser Norm wird auch der zu verwendende Lehmputz beschrieben, wobei hier im Wesentlichen auf die Herstellerangaben verwiesen wird:

„Lehmputz wird üblicherweise mit Lehm gefertigt sowie, falls erforderlich, mit mineralischen Zusatzstoffen und Faserbewehrung. Lehmputze können, in Abhängigkeit vom Hersteller und den Rohstoffen, unterschiedliche Festigkeitseigenschaften aufweisen. Sie müssen in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Herstellers oder den entsprechenden nationalen Regelungen verwendet werden.“²⁸⁶

Zu berücksichtigen ist speziell der letzte Absatz des Anwendungsbereiches. Dieser erlaubt es den Mitgliedsländern, dort wo die Norm dies zulässt, ergänzende Bestimmungen zu dieser Norm zu erstellen. In Österreich ist dies 2019 durch die Publikation der ÖNORM B 3346 erfolgt und in Deutschland 2018 durch die Veröffentlichung der DIN 18550-2 erfolgt.

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

DIN 18550-2, Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze

²⁸⁵ ÖNORM EN 13914-2:2016, Abschnitt 1

²⁸⁶ ÖNORM EN 13914-2:2016, S. 11

Während in der österreichischen Ergänzungsnorm sich keine zusätzlichen nationalen Empfehlungen zum Lehmputz finden, liefert die DIN 18550-2 sehr wohl ergänzende Festlegungen zum Lehmputz. In dieser Norm wurde ein eigener Anhang F zum Lehmputzmörtel aufgenommen, in dem normative Bestimmungen über die Anwendung, Festigkeitseigenschaften, Putzsysteme und Trocknung für den Lehmputz definiert wurden.²⁸⁷

Zu den Lehmputzen sei noch erwähnt, dass diese in Deutschland seit 2012 auch Bestandteil des „Standardleistungsbuchs für das Bauwesen, Leistungsbereich 023 Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsystem“ ist.²⁸⁸

3.5 Amerikanische Lehmbaunormen

3.5.1 ASTM E 2392

Das amerikanische Normungsinstitut ASTM International (ursprünglich „American Society for Testing and Materials“) wurde 1898 gegründet und publizierte mittlerweile über 12000 Standards. Die Anwendung von ASTM-Normen ist in den USA bis auf den öffentlichen geförderten Bereich freiwillig.

2010 wurde von ASTM die Norm ASTM E 2392 über den Lehm- und Ziegelbau publiziert und gilt somit als Richtlinie für alle Staaten der USA. Ausgearbeitet wurde der Standard vom Subkomitee E60.01 „Buildings and construction“ das dem Komitee E60 „Sustainability“ unterstellt ist. Die erste Version dieser Norm stammt aus 2005 und 2010 erfolgte die Publikation einer überarbeiteten Fassung.²⁸⁹

ASTM E 2392/E 2392M, *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems*

Anwendungsbereich:

„This standard provides guidance for earthen building systems, also called earthen construction, and addresses both technical requirements and considerations for sustainable development. Earthen building systems include adobe, rammed earth, cob, cast earth, and other earthen building technologies used as structural and non-structural wall systems.“²⁹⁰

²⁸⁷ DIN 18550-2:2018, S. 22-23

²⁸⁸ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 336

²⁸⁹ ASTM E 2392:2010, S. 1

²⁹⁰ ASTM E 2392:2010, Abschnitt 1.1

ASTM E 2392 gilt für Lehmziegeln, Stampflehm und gepressten Lehmziegeln (CEB). Gleich zu Beginn der Norm wird auf die Vorteile dieser Bautechnik verwiesen. So unterstreicht dieser Standard sehr schön die hervorragenden Eigenschaften des Lehmbaus in Hinblick auf Ressourcenschonung, niedrigen Energiebedarf und Nachhaltigkeit. Auf dessen ökologischen Vorteile wird immer wieder hingewiesen. Ferner beschreibt er die für Lehmbau benötigten Materialien (Lehm, Stroh, Kalk)²⁹¹, dessen Herstellungsprozess (u.a. Energiebedarf) und gibt eine prinzipielle Einführung über die wesentlichen Aspekte für die Ausführung von Lehmbauten etwa in Bezug auf den Feuchteschutz einer Lehmwand. Zur Prüfung des Baustoffes Lehm stellt die Norm folgende einfache Handtests vor:

- Rissprüfung für den Lehmziegel und Stampflehm,
- Prüfung der Zugfestigkeit,
- Testmethode zur Überprüfung der Plastizität und Kohäsion,
- Testmethode zur Überprüfung der Kornverteilung.

Ferner bietet diese Norm für Lehmbauten in Erdbebengebieten unterschiedliche konstruktive Lösungsansätze wie beispielsweise Mindestangaben zu Wandöffnungen.

3.5.2 NMAC 14.7.4

Die „*Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department*“ (CID) des US-Bundesstaates New Mexico publizierte in den letzten Jahren mehrere detaillierte Standards zum Lehmbau. Bereits 2001 wurde eine erste Richtlinie NMAC 14.11.11 herausgegeben, die ausschließlich den Stampflehmbehandlung behandelte. Diese Regel wurde jedoch bereits 2004 durch die erste Ausgabe der Norm NMAC 14.7.4 ersetzt, die wiederum in den darauffolgenden Jahren immer wieder überarbeitet und aktualisiert wurde. Die nun vorliegende aktuelle Fassung stammt aus 2015.²⁹²

NMAC 14.7.4, *New Mexico earthen building materials code*

Anwendungsbereich:

„This rule applies to all earthen building materials contraction work performed in New Mexico [...]. The purpose of this rule is to establish minimum standards for earthen building materials construction in New Mexico.“²⁹³

²⁹¹ Unter den Materialien wird auch auf die mögliche Verwendung von Zement hingewiesen, was zur Herstellung von Erdbetonbaustoffe führt.

²⁹² Vgl. NMAC 14.7.4:2015, S. 30-31

²⁹³ NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14.7.4.2

NMAC 14.7.4 gilt für ein- und zweigeschoßige Lehmgebäude und liefert dabei detaillierte Anforderungen für den Lehmziegel, Stampflehm und gepressten Lehmziegel (CEB). Am Ende dieses Standards finden sich noch mehrere Abbildungen über konstruktive Detaillösungen für Bauten aus Lehmziegel oder Stampflehm. So sind u.a. Angaben über Mindestabstände bei Wandöffnungen bzw. Aussparungen, seitliche Stützwände, maximale Wandhöhe bzw. Mindestwandstärke und Anschlussdetails abgebildet.

Für sämtliche Lehmbautechniken liefert dieser Standard genaue Angaben zur Aufbereitung des Baulehms, Mindestfestigkeitswerte, Mindestwanddicken, Sockelausbildung bzw. Gründungen, Ringbalken/Sturz, Anschlüsse und Hohlräume bzw. Aussparungen. Für die Ausführung von Lehmziegelwänden finden sich in dieser Norm noch zusätzliche Anforderungen für den zu verwendenden (Lehm)Mörtel, Putz (Lehm-, Zement- oder Kalkputz) und Wärmedämmplatten.

In der NMAC 14.7.4 werden unter „*adobe*“ (hier „*Erdziegel*“) folgende Typen verstanden: „*stabilized adobe*“ („*Erdbetonziegel*“), „*unstabilized adobe*“ („*Lehmziegel*“), „*Terrón*“²⁹⁴ („*Torfziegel*“) und „*burned adobe*“ („*gebrannte Erdziegel*“)²⁹⁵, der nach dieser Norm bei niedrigerer Temperatur getrocknet wird. Dieser „*gebrannte Erdziegel*“ ist jedoch nicht frostsicher und demnach für Außenwände, wo Frost-Tau-Wechsel zu erwarten ist, ungeeignet. Folgende Nachweise, deren Prüfungsabläufe im Standard erklärt sind, sollten für die Lehmziegel durchgeführt werden: Schwindrisse, Druckfestigkeit (min. 2N/mm² nach NMAC 14.7.4) und Zugfestigkeit (min. 0,35N/mm² nach NMAC 14.7.4).

3.5.3 NTE E.080

Das peruanische Ministerium für Wohnungsbau („*Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento*“) publizierte 2017 die Norm E.080 mit dem Ziel detaillierte Mindestanforderungen zu definieren, um ein erdbebensicheres Bauen mit Lehm sicherzustellen. Dabei werden nach dieser Norm Konstruktionen mit „*tierra reforzada*“ also einem „*bewehrten Lehm*“ vorgegeben, die aus Stampflehm „*tapial*“ oder Lehmziegel „*adobe*“ ausgeführt werden. Bei der verwendeten Bewehrung handelt es sich um eine eingearbeitete Verstärkung in die Wand in der Form von Maschengitter oder

²⁹⁴ Unter „*Terrón*“-Ziegelhaus wird das Grassodenhaus oder auch Torfplaggenhaus verstanden. Dies ist eine Bauart, wo die Außenwände bzw. Dacheindeckungen aus den vor Ort herausgestochenen Grassoden oder Torfplaggen konstruiert werden.

²⁹⁵ NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14.7.4.10

ähnlichem. Ferner beinhaltet dieser Standard Mindestanforderungen, die bei der Renovierung von Lehm- und Ziegelbauten einzuhalten sind. Diese Norm ist für das Bauen mit Lehm in ganz Peru verpflichtend anzuwenden.

Darüberhinaus findet dieser Standard auch in den umliegenden südamerikanischen Staaten seine Verbreitung und Anwendung. So ist etwa dessen Einhaltung im ecuadorianischen Baugesetz NEC-SE-VIVIENDA bei der Errichtung von bis zu zweigeschoßigen Bauwerken (siehe Abschnitt 3.5.4) obligatorisch.

NTE E.080, *Diseño y construcción con tierra reforzada*

Anwendungsbereich:

„La norma es de alcance nacional y su aplicación es obligatoria para la elaboración de materiales de construcción para edificaciones de tierra reforzada (adobe reforzado y tapial reforzado).“²⁹⁶

Bei der Planung und Ausführung von Lehm- und Ziegelbauten in Erdbebengebieten ist zunächst die peruanische Norm für erdbebensicheres Planen, E.030 *„Diseño sismorresistente“*, heranzuziehen. Diese definiert für ganz Peru vier Erdbebenzonen, wobei die Zone 4 jene mit dem höchsten Erdbebenrisiko darstellt. Gemäß E.080 sind zweigeschoßige Lehm- und Ziegelbauten in den Erdbebenzonen 1 und 2 zulässig und eingeschößige Lehm- und Ziegelbauten in den Erdbebenzonen 3 und 4. Ferner sind Lehm- und Ziegelbauten in Gebieten mit erhöhtem Risiko auf Hochwasser bzw. Murenabgängen und auf geologisch instabilen Böden untersagt. Für die Fundamentierung von Gebäuden gilt, dass diese auf festen Boden gemäß dem Standard E.050 *„Suelos y Cimentaciones“* zu errichten sind. Gründungen auf sandigen bzw. bindigen Böden sind gemäß E.080 untersagt.

Die statische Bemessung der Lehm- und Ziegelbauwerke erfolgt gemäß E.080 nach dem globalen Sicherheitskonzept. Zur Ermittlung der horizontalen Erdbeben-Ersatzlast gibt E.080 eine vereinfachte Berechnungsformel (Gleichung (3-1)) an, die mittels der Faktoren zum Bodentyp, Gebäudenutzung, Erdbebenkoeffizient und Gesamtgewicht des Gebäudes errechnet wird.

²⁹⁶ NTE E 0.80:2000, Abschnitt 1.1; *„Die Norm ist von nationalem Geltungsbereich und ihre Anwendung ist für die Herstellung von Baumaterialien für Gebäude aus bewehrtem Lehm (bewehrter Lehmziegel und bewehrter Stampflehm) verpflichtend.“* (Übers. d. Verf.)

$$H = S \cdot U \cdot C \cdot P \quad (3-1)$$

Es bedeutet:

<i>H</i>	Erdbeben-Ersatzlast
<i>S</i>	Faktor für den Bodentyp gemäß E.080
<i>U</i>	Faktor für die Gebäudenutzung gemäß E.080
<i>C</i>	Erdbebenkoeffizient gemäß E.080
<i>P</i>	Gesamtgewicht des Gebäudes (Eigengewicht plus 50% Nutzlast)

Um erdbebensichere Konstruktionen sicherzustellen, definiert diese Norm konstruktive Mindestwerte. So finden sich Angaben über Mindestabstände bzw. –abmessungen für Tür- und Fensteröffnungen, Eckenausbildungen und Verstärkungen bzw. Aussteifungen durch Querwände. Des Weiteren empfiehlt diese Norm die Wandelemente mittels Einlegens von Maschengitter oder Ähnlichem gegen Erdbebenbelastung zu verstärken. Wie dies zu erfolgen hat und welche Materialien dafür geeignet sind, ist ebenfalls Bestandteil dieser Norm.

Neben den Angaben über erdbebensicheres Bauen, werden auch allgemein gültige konstruktive Mindestanforderungen definiert, die bei Lehmbauten zu beachten sind. So wird u.a. gezeigt, wie ein Gebäude vor Niederschlag und Feuchtigkeit zu schützen ist und was bei der Verlegung von Installationsrohren für Elektrik oder Sanitär zu berücksichtigen ist.

Zur Prüfung des Baulehms werden in E0.80 Labortests und einfache Handtest erklärt. Dazu werden folgende Labortest, die in der Regel an würfelförmigen Lehmproben durchzuführen sind, behandelt:

- Druck- und Zugfestigkeit für Bauwerke aus Stampflehm und Lehmziegel,
- Mindestzugkraft für den Mörtel,
- Mindestdruckkraft in der Mauer und Ermittlung der indirekten Wandspannung.

In den Anhängen 1 bis 3 der E0.080 werden noch einfache Handtests vorgestellt, die eine erste Aussage über die Eigenschaften des vorhandenen Lehms ermöglichen. Es handelt sich dabei um den „Bandtest“ zur Prüfung der Plastizität, „Kugelttest“ zur Ermittlung der Trockenfestigkeit, „Falltest“ zur Einschätzung der vorhandenen Korngrößenverteilung und „Risskontrolltest“.

3.5.4 NEC-SE-VIVIENDA

Das Ministerium für Stadtentwicklung und Wohnungsbau („*Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*“) ist in Ecuador für die Erstellung von landesweit gültigen Baugesetzen verantwortlich. Diese werden als „*Norma Ecuatoriana de la Construcción*“ (NEC) bezeichnet, also ecuadorianische

Baunormen für Planung und Ausführung.²⁹⁷ Hauptaugenmerk dieser NEC-Normen ist das Erstellen von Dokumenten betreffend erdbebensicheres Bauen. Im Rahmen dieser Sicherheitsnormen findet sich auch ein Standard, der das Bauen von Wohngebäuden von bis zu zwei Geschoßen definiert und 2015 publiziert wurde. In diesem finden sich auch Anforderungen für das Bauen mit Lehm. Ergänzend zu diesen NEC-Normen, wurden auch Leitfäden vom Ministerium herausgegeben, die zusätzliche Erklärungen zu den einzelnen NEC-Normen liefern. So wurde 2016 der Leitfaden 5 erstellt, der für die Bewertung von Erdbebenberechnungen und die Bauwerkssanierung heranzuziehen ist und so auch Berechnungsangaben für die Dimensionierung von Bauwerken mit Lehmziegel enthält.²⁹⁸

NEC-SE-VIVENDA, *Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*

Anwendungsbereich:

„Este capítulo tiene por objeto establecer los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de viviendas sismo resistentes de hasta 2 pisos con luces de hasta 5.0 m, inclusive conjuntos de viviendas adosadas que conforman un cuerpo estructural con dimensión máxima en planta de 30 m.“²⁹⁹

Unter „*luces*“ wird der lichte Abstand zwischen zwei vertikalen Stützen oder Aussteifungswänden verstanden. Dieser Abstand darf grundsätzlich nach dieser Norm nicht größer als fünf Meter sein. Ferner ist die Geschoßhöhe auf drei Meter beschränkt. Für die Berechnung der Erdbebenbelastung liefert diese Norm eine einfache Formel für die Ermittlung einer Erdbebenersatzlast (Gleichung (3-2)), ähnlich dem peruanischem Standard E.080. Diese ist abhängig von der Erdbebenzone, geografischen Zone, Bauwerkslast und einem Reduktionsfaktor, der abhängig von der Gebäudestruktur und Baumaterial ist.

²⁹⁷ Produktnormen werden in Ecuador durch das Normungsinstitut INEN erarbeitet und publiziert, das auch Mitglied der Internationalen Normungsinstitut ISO ist und dem ecuadorianischen Ministerium für Industrie und Produktivität („*Ministerio de Industrias y Productividad de Ecuador*“) unterstellt ist. Bei der Erarbeitung der NEC-Normen ist auch INEN mit eingebunden und wird dann aktiv, wenn sich aus der Bearbeitung der Planungs- und Ausführungsnormen ein Normungsauftrag für neue oder bestehende Produktnormen ergibt. Bis heute gab bzw. gibt es keine eigenen INEN-Produktnormen zum Lehmbau.

²⁹⁸ *Guía de diseño 5, Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras*, Quito: MIDUVI, 2016

²⁹⁹ NEC-SE-VIVIENDA:2015, S. 22; „*Dieses Kapitel zielt darauf ab, die Mindestanforderungen für die Untersuchung, Planung und Bau von erdbebensichere Wohngebäuden mit bis zu zwei Geschoßen und einer lichten Weite von bis zu 5,0m festzulegen, inklusive Reihenhäuser, die einen Baukörperlänge von maximal 30m aufweisen.*“ (Übers. d. Verf.)

$$V_{\text{base}} = Z \cdot C \cdot W / R \leq V_{\text{MR}} \quad (3-2)$$

Es bedeutet:

V_{base}	Erdbeben-Ersatzlast
Z	Faktor für die Erdbebenzone gemäß NEC-SE-VIVENDA, Tabelle 1
C	Faktor für die geografische Zone gemäß NEC-SE-VIVENDA, Tabelle 2
W	Gesamtgewicht des Gebäudes (Eigengewicht plus 25% Nutzlast)
R	Reduktionsfaktor gemäß NEC-SE-VIVENDA, Tabelle 3
V_{MR}	Seitliche Widerstandskraft

Neben einem allgemeinen Abschnitt über erdbebensicheres Bauen, werden grundsätzlich in diesem Standard die gängigen Bautechnologien wie Betonbau, Stahlbau, Holzbau und den Mauerwerksbau behandelt und für diese die wichtigsten Mindestanforderungen angeschrieben. Da in Ecuador vor allem auf dem Land aber auch in den historischen Stadtzentren wie Quito und Cuenca (siehe Abschnitt 2.2.5) weiterhin die Lehmbauweise zur Anwendung kommt, wurde in dieser Norm auch ein eigener Abschnitt für den Lehmbau aufgenommen.³⁰⁰ Unter dem Abschnitt „*Muros portantes de tierra*“ also „*tragende Mauern aus Lehm*“ werden die Mindestanforderungen an Lehmziegel, Stampflehm und Lehmfachwerk im Hinblick auf Erdbebensicherheit definiert. Desweiteren enthält dieser Abschnitt Mindestabmessungen für das Gebäude beispielsweise in Hinblick auf die Abstände von Tür- und Fensteröffnungen sowie Bauteillängen zwischen den vertikalen Stützen oder Aussteifungswänden. Für die detaillierte Ausführung des Lehmbaus wird auf die peruanische Norm E.080 verwiesen (siehe Abschnitt 3.5.3).

3.6 Asiatische Lehmnormen

3.6.1 IS 13827

Das 1986 gegründete „*Bureau of Indian Standards (BIS)*“, das direkt dem „*Ministry of Consumer Affairs, Food and Public Distribution*“ unterstellt ist und als Nachfolgeorganisation für das bereits 1860 gegründete „*Indian Standards Institution (ISI)*“ darstellt, fungiert bis heute als das Normungsinstitut von Indien. 1993 erfolgte durch das BIS die Publikation der Erdbebennorm IS 13827. Diese Norm wurde durch das Komitee CED 39 „*Earthquake Engineering*“ erarbeitet. Bereits 1995 erfolgte eine erste Änderung dieser Norm („*Amendment No. 1*“) und 2002 eine Weitere („*Amendment No. 2*“). Diese beiden Änderungen befinden sich als Anhänge in der Norm IS 13827.

Auf Grund mehrerer schwerer Erdbeben in den Regionen Himalaya-Gebiet, Ganges-Ebene und Halbinsel Kathiawar sowie einigen leichter Erdbeben auf der restlichen indischen Halbinsel, begann

³⁰⁰ Vgl. NEC-SE-VIVIENDA:2015, Abschnitt 6.7

man bereits in den 70er Jahren mit der Ausarbeitung eines allgemeinen Standards für erdbebensicheres Bauen für Indien. So wurde 1967 ein erster Standard für das Bauen in erdbebengefährdeten Regionen erstellt und schließlich 1984 der bis heute gültige allgemeine Standard IS 1893 „*Criteria for earthquake resistant design of structures*“ publiziert. Doch fehlte weiterhin ein eigener Standard für die häufigste in Indien praktizierte Bauweise, nämlich dem Lehmbau. Denn Ende des 20. Jahrhunderts bestanden immerhin noch mehr als 50% aller Gebäude in Indien aus Lehm. Das führte schließlich zur Erarbeitung einer eigenen Erdbebenorm für Lehmbau, IS 13827, die 1993 veröffentlicht wurde.³⁰¹

IS 13827:1993, *Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines*

Anwendungsbereich:

„The guidelines covered in this standard deal with the design and construction aspects for improving earthquake resistance of earthen houses, without the use of stabilizers, such as cement, lime, asphalt, admixtures, etc.“³⁰²

Diese Norm behandelt die Planung und Ausführung von Lehmbauten in Erdbebengebieten ohne Verwendung von jeglicher Art von Stabilisierungszusätzen, wie z.B. Zement oder Kalk und gilt für Erdbebengebieten der Zone III, IV und V gemäß IS 1893:1984. Nach dieser Norm sind für Erdbebengebiete vier Konstruktionsarten aus Lehm erlaubt:

- handgeformte Lehmblöcke,
- Lehmziegel (Adobe),
- Stampflehm,
- Lehmfachwerk aus Holz, Bambus oder Schilfrohren.

Für Konstruktionen in Erdbebengebieten nennt diese Norm allgemeine Anforderungen für die Ausführung der Gebäude hinsichtlich konstruktiver Mindestabmessungen, Eckenausbildung und Querwänden. Des Weiteren werden einfache konstruktive Vorgaben für die Ausführung von Fundamenten und Ringbalken beschrieben.

Abhängig vom vorhandenen feuchten oder trockenen Klima werden Angaben zum Witterungsschutz von Gebäude und Putzarbeiten in den unterschiedlichen Ausführungsformen in dieser Norm behandelt.

³⁰¹ Vgl. IS 13827:1993, Vorwort

³⁰² IS 13827:1993, Abschnitt 1.1

Die Eignung des Lehms wird in IS 13827 durch folgende Handtests abgeschätzt: Trockenfestigkeit, Risskontrolltest und Festigkeitstest. Die Untersuchung im Labor erfolgt an würfelförmigen Probekörpern, die auf Druckfestigkeit geprüft werden.

3.6.2 IS 2110

Ein weiterer indischer Standard für In-Situ hergestellte Wände aus Baulehm, IS 2110, wurde 1980 vom Komitee „*Building Construction Practices Sectional Committee, BDC 13*“ erarbeitet und stellt eine Überarbeitung des ersten Standards aus 1962 dar.³⁰³

IS 2110:1980, *Code of practice for in-situ construction of walls, in building with soil-cement*

Anwendungsbereich:

„This standard covers in situ construction of walls in buildings with soil-cement or other stabilized soil. [...] The same procedure as recommended in the standard may be adopted for rammed in situ wall, construction with unstabilized soil, provided the surfaces of the wall, are protected with a waterproof mud plaster, a typical specification for which is given in Appendix A.“³⁰⁴

Zwar liegt das Hauptaugenmerk dieser Norm auf Erdbetonbauten und die Ausführung dieser Bauart wird auch in diesem Standard empfohlen, jedoch gelten die definierten Anforderungen laut IS 2110 sinngemäß auch für Lehm- und Erdbetonkonstruktionen, solange die Außenwand einen entsprechenden Witterungsschutz aufweist. Diese Norm gilt für In-situ hergestellte Wände von eingeschossigen Gebäuden mit einer maximalen Wandhöhe von 3,2m und einer minimalen Wanddicke von 30cm für tragende Wände und 20cm bei nicht tragenden Wänden. Unter In-situ hergestellte Wände versteht diese Norm Erdbetonwände bzw. Stampflehm- und Erdbetonbauten.

Detailliert wird die Aufbereitung des Lehms vor Ort und der anschließende Einbau und Herstellung der Stampflehmwände beschrieben unter Berücksichtigung diverser konstruktiver Detailspekte wie Wandöffnungen, Ringbalken, Stürze und Putzarbeiten.

3.6.3 NBC 204

1991 begann das nepalesische Ministerium für Wohnungswesen und Raumplanung („*Ministry of Housing and Physical Planning*“) mit der Ausarbeitung einer Richtlinie für erdbebensichere Bauausführungen von Lehm- und Erdbetonbauten auf Grund eines schweren Erdbebens, das sich 1988 in Nepal

³⁰³ Vgl. IS 2110:1980, Vorwort

³⁰⁴ IS 2110:1980, Abschnitt 1.1

ereignete.³⁰⁵ Erstmals erschien 1994 eine Norm für erdbebensicheres Bauen mit Lehm. Diese Norm wurde dann 2015 in die heute gültige Fassung überarbeitet und neu herausgegeben. Diese Richtlinie ist in Nepal verpflichtend für die Ausführung sämtlicher Lehmgebäude anzuwenden.³⁰⁶

NBC 204, *Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building (EB)*

Anwendungsbereich:

„The guidelines deals with the design and construction aspects for improving earthquake resistance of earthen houses, without the use of stabilizers, such as cement, lime, asphalt, admixtures, etc. EB buildings required to conform to this Guidelines shall not exceed one storey in height plus an additional attic floor.“³⁰⁷

Unter „*Earthen Buildings*“ (EB) versteht dieser Standard Lehmgebäude, die aus nicht stabilisiertem Lehm hergestellt sind. Von den Lehmbautechniken werden in dieser Norm der Stampflehm- und Lehmziegelbau behandelt. Dazu finden sich Anforderungen u.a. an die Materialeigenschaften, Mindestwanddicke, konstruktive Lösung zur Verstärkung der Wand und Eckenausbildung. Ferner werden grundlegende Bedingungen für das Gebäude selbst definiert, wie richtige Bauplatzwahl, Grund- und Aufrissformen des Gebäudes und Angaben zur Gründung bzgl. Dimensionierung und Ausführung bei Geländesprüngen. Des Weiteren enthält die Norm umfangreiche Darstellung zu Wandöffnungen, Anschlüssen von Wand zur Decke sowie vertikalen, horizontalen und diagonalen Verstärkungen im Gebäude. Unterschiedliche Anhänge wie etwa zur richtigen Ernte und Schutz von Bambus bzw. Behandlung von Stroh runden diesen Standard für erdbebensicheres Bauen mit Lehm ab.

3.7 Neuseeland

Die Standards NZS 4297, NZS 4298 und NZS 4299 wurden durch das neuseeländische Subkomitee „BD/83/2“ ausgearbeitet, das dem Komitee „*Earth Buildings for the Standards Council BD/83*“

³⁰⁵ Das Beben von 1988 hatte eine Stärke von 6,9. Zum Vergleich dazu hatte das Hauptbeben von 2015 eine Stärke von 7,8 mit weiteren schweren Nachbeben, die eine Stärke zwischen 6,3 und 7,3 aufwiesen. (Quelle: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/geophysik/news/erdbeben-der-magnitude-7-8-in-nepal> (Zugriff am 05.02.2020))

³⁰⁶ Vgl. NBC 204:2015, Vorwort

³⁰⁷ NBC 204:2015, Abschnitt 1

unterstellt ist. Dieses Technische Komitee wurde 1988 von Australien und Neuseeland gegründet und fungiert seither als Joint-Komitee dieser beiden Länder.³⁰⁸

Der Ablauf für die Errichtung eines Lehm- und Ziegelbauwerkes erfolgt im Wesentlichen auf Grundlage dieser Normen nach folgendem Schema:

1. Suche eines geeigneten Bauplatzes,
2. Festlegung einer Lehm- und Ziegelbautechnik,
3. Prüfung auf Eignung der lokalen oder benachbarten Baugründe für verschiedene Lehm- und Ziegelbaumethoden,
4. Bodenprüfung durch Feldversuche, ob die gewählte Lehm- und Ziegelbautechnik anwendbar ist,
5. Vor Baubeginn: vertiefende Bodenprüfung auf die genauen Lehmeigenschaften,
6. Entwurf des Lehm- und Ziegelbauwerkes und Einholung der Baugenehmigung,
7. Errichtung des Lehm- und Ziegelbauwerkes inklusive laufender Qualitätskontrollen.³⁰⁹

Zur Umsetzung dieser oben genannten Schritte wurden die Standards NZS 4297, NZS 4298 und NZS 4299 entwickelt und publiziert. Dabei stellt NZS 4297 die Grundlagennorm für den Lehm- und Ziegelbau dar. In NZS 4298 wird die Aufbereitung und Verarbeitung des für den Lehm- und Ziegelbau benötigten Materials beschrieben und NZS 4299 bildet schließlich die Norm für die konkrete Umsetzung des Lehm- und Ziegelbauwerkes. Im Folgenden werden nun diese drei Standards kurz näher vorgestellt.

3.7.1 NZS 4297

NZS 4297, *Engineering design of earth buildings*

Anwendungsbereich:

„The scope of this Standard is limited to unfired earthen wall building materials defined herein as adobe, pressed brick, poured earth or rammed earth and which contain clay and silt and which rely on the clay and silt particles present to achieve satisfactory performance with or without chemical stabilization.“³¹⁰

Zu Beginn enthält diese Norm Festlegungen hinsichtlich Festigkeit, Schwindung, Wärmedämmung, Feuerfestigkeit sowie Dauerhaftigkeit eines Gebäudes. Die Dauerhaftigkeit wird dabei so definiert, dass in 50 Jahren die Wandstärke nicht mehr als 30mm oder um 5% der Wanddicke geschwächt

³⁰⁸ Vgl. NZS 4297:1998, Committee representation

³⁰⁹ Vgl. NZS 4297, 1998, S. 6

³¹⁰ Ebda, Abschnitt 1.2.1

werden darf. Dies kann dabei durch Feuchtigkeitsbeanspruchung aus Witterungseinflüssen, undichten Rohrleitungen oder aufsteigender Bodenfeuchte sowie Bewuchs hervorgerufen werden. Generell ist eine Konstruktion nach NZS 4297 dann als dauerhaft einzustufen, wenn im Laufe der beabsichtigten Lebensdauer keine Wartungsarbeiten notwendig sind.³¹¹ Für die Bewertung der Dauerhaftigkeit wird im Anhang A dieser Norm eine genaue Methodik beschrieben.

Des Weiteren beinhaltet dieser Standard generelle Anforderungen an die Konstruktion selbst. Ein grundlegender Parameter für die Planung, Dimensionierung und Ausführung von Lehmgebäuden stellt dabei der Erdbebenfaktor Z dar. Abhängig von diesem wird die maximal mögliche Grundfläche von ein- oder zweigeschoßigen Gebäude und dessen Gebäudehöhe definiert. Auch für die Ermittlung des Schlankheitsverhältnisses für Wand und Ziegel wird der Erdbebenfaktor herangezogen. Angegeben werden in dieser Norm Mindestwanddicken, Grundprinzipien für die Verwendung von Verstärkungen (Bewehrungen) und Anforderungen an die Gebäudeaussteifung sowie Gründungen.

NZS 4297 enthält umfangreiche Anforderungen für die Berechnung von Lehmgebäuden. So finden sich in dieser Norm Angaben wie die Nachweise auf Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit eines Gebäudes auszusehen hat. Des Weiteren finden sich Festlegungen zur Feuerbeständigkeit sowie Beanspruchungen hervorgerufen durch eingebauten Schraubverbindungen (Schub- und Scherfestigkeit sowie Korrosionsschutz). Für die Nachweise der Tragfähigkeit werden Berechnungsangaben zur Ermittlung der Druck- und Biegefestigkeiten der Lehmbauteile (wie Stampflehm, Lehmziegel oder CEB) mit oder ohne zusätzliche Erdbebenbelastung definiert sowie Berechnungsansätze zur Ermittlung der unterschiedlichen Schubbelastung auf die Konstruktion. Nachfolgend sind als Beispiel dafür drei Tragfähigkeitsnachweise für ein unbewehrtes Lehmmauerwerk angeführt.

Die Gleichung (3-3) zeigt einen Nachweis für Bauteile unter vorwiegend vertikaler Belastung.

³¹¹ Vgl. Ebda, Abschnitt 3

$$N^* \leq k \cdot \phi \cdot f_e \cdot A_b \quad (3-3)$$

Es bedeutet:

N^*	Bemessungswert der einwirkenden Belastung in der betrachteten Ebene
k	Reduktionsfaktor abhängig von Schlankheit und Exzentrizität
ϕ	Reduktionsfaktor abhängig von der Beanspruchungsart
f_e	Bemessungswert der Druckfestigkeit des Lehm-mauerwerkes
A_b	belastete Fläche

Die Gleichung (3-4) liefert einen Nachweis für Bauteile, die durch Horizontallasten auf Biegung beansprucht sind.

$$M_{dh}^* \leq 0,40 \cdot \phi \cdot f_{et} \cdot Z_u \quad (3-4)$$

Es bedeutet:

M_{dh}^*	Bemessungswert des einwirkenden Momentes einer Wand
ϕ	Reduktionsfaktor abhängig von der Beanspruchungsart
f_{et}	Bemessungswert der Biegezugfestigkeit von Lehm
Z_u	Widerstandsmoment der Lehmwand

Die Gleichung (3-5) beschreibt den Nachweis für Bauteile unter Schubbelastung.

$$V^* \leq \phi \cdot [f_{es} \cdot A_b + k_v \cdot f_d \cdot A_b] \quad (3-5)$$

Es bedeutet:

V^*	Bemessungswert der einwirkenden Schubbelastung eines Querschnittes
ϕ	Reduktionsfaktor abhängig von der Beanspruchungsart
f_{es}	Bemessungswert der Schubfestigkeit von Lehm
k_v	Schubfaktor
f_d	Bemessungswert der Druckfestigkeit eines Querschnittes
A_b	belastete Fläche

Abgerundet wird die Norm durch einen Anhang, in dem eine Methode zur Bestimmung des Widerstandes gegen Erdbebenbelastung bei unbewehrten Lehmwänden vorgestellt wird.

3.7.2 NZS 4298

NZS 4298, *Materials and workmanship for earth buildings*

Anwendungsbereich:

„This Standard sets out requirements for the materials and workmanship requirements for the use of unfired earth in the form of adobe, pressed earth brick, rammed earth or poured earth.“³¹²

NZS 4298 behandelt sämtliche Anforderungen, die für die unterschiedlichen Materialien wie Baulehm, Wasser, Zuschläge bzw. Zusätze sowie unterschiedlichen Bewehrungsbaustoffe gelten. Des Weiteren impliziert der Standard Angaben über die Verarbeitung der Materialien und wie eine

³¹² NZS 4298:1998, Abschnitt 1.1.1

Qualitätskontrolle während der Bauausführung auszusehen hat. Ferner wird für die verschiedenen Lehmbautechniken eine Zusammenstellung der erlaubten Toleranzen definiert. Für den Bau unter extremen Wetterbedingungen wie etwa bei tiefen bzw. hohen Temperaturen sowie erhöhten Niederschlägen weist dieser Standard ebenfalls genaue Angaben auf. Ausführlich werden zusätzliche spezifische Angaben für die Lehmbautechniken Stampflehm, Lehmziegel, CEB sowie „*cinva bricks*“ (eine Sonderform für den gepressten Lehmziegel) und Lehmschüttungen in dieser Norm noch abgebildet.

Die Anhänge dieses Standards beschreiben noch unterschiedliche Methoden, wie der Baulehm auf dessen Eigenschaften zu untersuchen ist. Diese Anhänge sind:

- Anhang A: Bestimmung der Druck- und Biegefestigkeit,
- Anhang B: Ermittlung der Designwerte aus den Testergebnissen,
- Anhang C: nass/trocken Abriebtest,
- Anhang D: Erosionstest (Drucksprühverfahren) inkl. Skizzen,
- Anhang E: Erosionstest („*Geelong method*“) inkl. Skizze,
- Anhang F: Schrumpftest,
- Anhang G: Kontrolle des Feuchtegehaltes von Stampflehm durch Falltest inkl. Skizze,
- Anhang H: Kontrolle der Festigkeit von Lehmziegel durch Falltest inkl. Skizze,
- Anhang J: Bestimmung der Biegezugfestigkeit inkl. Skizze,
- Anhang K: Zusätzliche Anforderung für In situ hergestellte Lehmziegel bzw. „*Cob*“-Lehmwand,
- Anhang L: Oberflächenbeschichtungen,
- Anhang M: Lehmfußboden inkl. Detailskizze zum Fußbodenaufbau,
- Anhang N: Test für CEB.

3.7.3 NZS 4299

NZS 4299, *Earth buildings not requiring specific design*

Anwendungsbereich:

„This Standard sets down design and construction requirements for adobe, pressed earth brick or rammed earth buildings not requiring specific design.“³¹³

NZS 4299 stellt in dieser Normenreihe den umfangreichsten Standard dar und beinhaltet vor allem konkrete Umsetzungsvorgaben für die Planung und Ausführung eines Lehmbauwerkes.

³¹³ NZS 4299:1998, Abschnitt 1.1

Gleich zu Beginn des Standards werden die genauen Anwendungsgrenzen für den Lehmbau formuliert. Ein Schaubild³¹⁴ definiert die unterschiedlichen maximalen Werte wie Gebäudehöhe, Giebelwandhöhe und Dachneigung abhängig vom Erdbebenfaktor Z für das Bauwerk. Ferner werden folgende Anwendungsgrenzen nach dieser Norm festgelegt:

- maximale Grundfläche: 600m² (eingeschoßiges Bauwerk) und 300m² (zweigeschoßiges Bauwerk),
- minimale Wanddicke: Außenwand 28cm,
- maximale Dachneigung: 45°,
- maximaler Jahresniederschlag 2000mm sowie maximale Schneelast 1,0kN/m².

Neben den Erdbebenzonen stellen die unterschiedlichen Windzonen ebenfalls einen wichtigen Parameter für die Planung und Ausführung von Lehmgebäuden dar. Dafür definiert NZS 4299 Windzonenfaktoren, die für die Dauerhaftigkeit eine relevante Dimensionierungsgrößen sind. Etwa werden beispielsweise für die Auslegung des Dachüberstandes die Parameter Wind, Gebäudehöhe und Niederschlag herangezogen.

Für die Wahl des Bauplatzes liefert NZS 4299 Angaben zum Baugrund, Bodentyp, Bodenaufbereitung und Drainage sowie Mindestabmessungen für Gründungen in Berg- bzw. Tallage des Gebäudes inkl. Skizze³¹⁵. Gründungen betreffend Breite und Tiefe sowie Sockelausbildung werden ebenfalls detailliert behandelt und über mehrere Bilder anschaulich dargestellt.³¹⁶

Für die Wandausführung finden sich Anforderungen an Mindestwanddicke, Grenzwerte für die Wandhöhe sowie Wandöffnungen. Damit Lehmwände Horizontallasten aufnehmen können, formuliert NZS 4299 konstruktive Vorgaben für Mindestwandlängen im Eckbereich bzw. maximale Abstandslängen der aussteifenden Wände. Diese Aussteifungen werden in der Regel als bewehrte Wände ausgeführt, für die abhängig vom Erdbebenfaktor Z, Gebäudetyp, Gebäudelänge und Dachform genaue Dimensionierungsvorgaben vorhanden sind. Ist der Erdbebenfaktor Z kleiner als 0,6, so können die Wände unbewehrt ausgeführt werden. Angaben dazu enthält ebenfalls dieser Standard.

³¹⁴ Vgl. Ebda, Bild 1.1

³¹⁵ Vgl. Ebda, Bild 3.1

³¹⁶ Vgl. Ebda, Bilder 4.1 bis 4.8

Anforderungen finden sich hier nicht nur hinsichtlich der Wand, sondern auch für den Ringbalken. Aufgabe des Ringbalkens ist es, die Lasten zu den anliegenden Querstrukturwänden abzuleiten, die Wand mit dem Dach oder Decke zu verankern und einen Verbund der Lehmwände sicherzustellen. Dazu beschreibt der Standard wieder abhängig vom Erdbebenfaktor Z die notwendigen Mindestabmessungen für Balken aus Stahlbeton und Holz (inkl. detaillierter Skizzen).

Des Weiteren werden Stürze aus Holz oder Stahlbeton behandelt sowie Fensterbögen aus Lehmziegel. Dazu finden sich Angaben zu den Mindestdimensionen und umfangreiche Darstellungen wie diese bei Tür- und Fensteröffnungen konstruktiv auszubilden sind.

Ein abschließender Anhang beschreibt noch einige Berechnungsbeispiele für unterschiedliche Gebäudetypen, wie eine ausreichende Gebäudeaussteifung nachzuweisen ist.

3.8 Afrikanische Lehmbaunormen

3.8.1 SADC ZW HS 983

Das 1957 gegründete Normungsinstitut „*Standards Association of Zimbabwe*“ (SAZ) aus Zimbabwe verfasste mit Unterstützung des „*Southern African Development Community Cooperation in Standardization's*“ (SADCSTAN) einen Standard, der ausschließlich den Stampflehmbau behandelt. Entwickelt wurde diese Norm durch das Technische Komitee BC 042 „*Rammed Earth Structures*“ des SAZ.³¹⁷

SADC ZW HS 983:2014, *Rammed earth structures – Code of practice*

Anwendungsbereich:

„This code of practice gives guidance on the design, construction and test methods for rammed earth structures.“³¹⁸

Dieser Standard generiert für die Ausführung von Stampflehmbauten einen umfangreichen Anforderungskatalog inklusive mehrerer anschaulichen Grafiken. So inkludiert er etwa für den Baulehm genaue Angaben für die Kornverteilungskurve (50-70% für feinen Kies bis Sand, 15-30% für Schluff und 5-15% für Ton) und einfache Handtests für dessen Überprüfung. Die Verwendung von

³¹⁷ Vgl. SADC ZW HS 983:2014, Nationales Vorwort

³¹⁸ SADC ZW HS 983:2014, Abschnitt 1

Stabilisierungsmitteln wie etwa Zement oder Kalk wird zwar empfohlen, jedoch nicht zwingend vorgeschrieben, sodass die Norm auch für den Stampflehmbau ihre Gültigkeit aufweist.

Der Mindestwert für die Druckfestigkeit der Wände liegt nach dieser Norm in der Regel bei $1,5\text{N/mm}^2$ und bei Wänden, die eine Höhe zwischen drei und sechs Metern aufweisen, bei $2,0\text{N/mm}^2$. Ferner verfügt dieser Standard über Angaben zu Gründungen, Schutz gegen Feuchtigkeit (u.a. Vorgaben für den Dachüberstand bei wetterbedingten Erosionen abhängig von der Gebäudehöhe), Wasserabsorption und Wanddichte. Zur Kontrolle etwaiger Ausführungsfehler beinhaltet diese Norm Schaubilder zur Durchführung einer Sichtprüfung. Diese ermöglichen es, Fugenrisse, Schrumpfrisse und Eckenausbrüche zu überprüfen.

Nach HS 983 ist die Wandstabilität dann gesichert, wenn die laut Norm definierte maximale Wandschlankheit, welche von Wandlänge, möglicher Wandverstärkungen sowie Stabilisierungsmitteln abhängig ist, eingehalten wird.

Ferner formuliert dieser Standard Angaben zu Wandöffnungen, Stürze, unterschiedliche Verbindungsarten und Befestigungen sowie für den Oberflächenschutz von Außen- und Innenwänden.

Zur Prüfung des Stampflehms bietet HS 983 ebenfalls eine Reihe von Prüfmethode an, die am Schluss des Standards in Form von Anhängen dokumentiert sind. Diese beinhalten u.a. folgende Prüfungen:

- Anhang A: Nachweis der Bodenbeschaffenheit mittels Rolltest,
- Anhang B: Feuchtegehalt durch Falltest,
- Anhang C: Schalungsverformungstest,
- Anhang D: Druckfestigkeitstest,
- Anhang E: Dichtetest,
- Anhang F: Erosionstest (Drucksprühverfahren) inkl. Skizzen,
- Anhang G: Erosionstest („*Geelong method*“) inkl. Skizze,
- Anhang H: Putzhaftungstest.

3.8.2 ARS 670 bis ARS 683

Die afrikanische Normungsorganisation „*African Regional Organisation for Standardisation*“ (ARSO) ratifizierte 1996 durch das Technische Komitee „*Building and Civil Engineering*“ (ARSO/TC3) die Normenreihe ARS 670 bis ARS 683 über die Herstellung von „*Compressed earth blocks (CEB)*“. Damit

wurden diese Normen von ARSO komplett in dessen Normenwerk aufgenommen und gelten seither in Afrika als anerkannter Stand der Technik für gepresste Lehmziegel.

Diese Standards wurden in Zusammenarbeit durch CRATerre („*International Centre on Earthen Architecture*“), ARSO und dem geotechnischen Labor ENTPE („*National Engineering Institute for Public Works of Lyon*“) verfasst mit Unterstützung von Experten, Forschungsinstituten und Baufachleuten aus den ACP-Ländern (Afrika, Karibik und Pazifik) und Europa.

Die Technologie für gepresste Lehmziegel wurde bereits im 18. Jahrhundert von François Cointeraux (1740-1830) erprobt und es gelang ihm schon damals, eine erste Presse zur Herstellung von CEBs zu fertigen. Der richtige Aufschwung dieser Technologie passierte jedoch erst ab 1950, als in Kolumbien Raul Ramirez eine erste Presse entwickelte und so dieser Technologie zum Durchbruch verhalf. In Ländern wie Südamerika und Afrika wurde nun immer öfters diese Technik angewendet. Architekten begannen CEBs häufiger in ihren Bauwerken einzusetzen, was schlussendlich dazu führte, dass es notwendig wurde den Herstellungsprozess in Form von normativen Dokumenten zu regeln und die Normenreihe ARS 670 bis 683 wurde erarbeitet und publiziert.³¹⁹

Die Tabelle 8 enthält eine Zusammenstellung der einzelnen ARS-Normen mit dessen Titel und Anwendungsbereich.

Tabelle 8 – Übersicht der einzelnen ARS-Normen

ARS	Titel	Anwendungsbereich ³²⁰
		„ <i>The aim of the present standard is to define ...</i> “
670	<i>Terminology</i>	<i>the principle terms applying to compressed earth block technology (CEB) “</i>
671	<i>Definition, classification and designation of CEB</i>	<i>compressed earth blocks (CEBs), to classify them according to their typology, their appearance, their conditions of use, and to determine the categories into which they fall as well as their designations. “</i>
672	<i>Definition, classification and designation of EM</i>	<i>earth mortars (EMs), to classify them according to their appearance, their conditions of use, and to determine the categories into which they fall as well as their designations. “</i>
673	<i>Definition, classification and designation of CEBM</i>	<i>various forms of compressed earth block masonry (CEBM), to classify them according to their appearance, their conditions of use, and to determine the categories into which they fall as well as their designations. “</i>
674	<i>Ordinary CEB</i>	<i>the requirements applicable to ordinary compressed earth blocks (CEB O). “</i>
675	<i>Facing CEB</i>	<i>the requirements applicable to facing compressed earth blocks (CEB F). “</i>
676	<i>Ordinary EM</i>	<i>the requirements applicable to ordinary earth mortars (EM O). “</i>

³¹⁹ Vgl. P. Doat, et al: *Compressed Earth Blocks: Standards*, Brüssel: Centre for the Development of Industry, 1998, S. 4-5

³²⁰ ARS 670 bis 683:1996, Abschnitt 1.1

677	<i>Facing EM</i>	<i>the requirements applicable to facing earth mortars (EM F).“</i>
678	<i>Ordinary CEBM</i>	<i>the requirements applicable to ordinary compressed earth block masonry (CEBM O) intended to be covered. The covering can be a wash, a fine or a thick render or another kind of protection or decoration. It is generally intended to protect against the effects of water or mechanical abrasion, but could also have an aesthetic role.“</i>
679	<i>Facing CEBM</i>	<i>the requirements applicable to facing compressed earth block masonry (CEBM F) intended to remain visible.“</i>
		<i>„This code of practice describes the state of the art relating to the ...</i>
680	<i>Production of CEB</i>	<i>manufacture of compressed earth blocks (CEBs), such as it is known in the light of the current state of the technique.“</i>
681	<i>Preparation of EM</i>	<i>manufacture of earth mortar (EM), such as it is known in the light of the current state of the technique.“</i>
682	<i>Assembly of CEBM</i>	<i>assembly of compressed earth blocks masonry (CEBM), such as it is known in the light of the current state of the technique.“</i>
683	<i>Classification of material identification tests and mechanical tests</i>	<i>„The aim of the present document is to enumerate the tests required to determine the characteristics specified in all of the standards relating to compressed earth block technology, to determine their nature (quantitative and qualitative), the place where they are carried out (at the quarry, in the workshop, on site or in a laboratory) and their character (optional or recommended) and to give indications relating to sources of information on their modes of operation.“</i>

Die Definition für einen „Compressed earth blocks (CEBs)“ („gepressten Lehmziegel“) lautet gemäß dieser Normenreihe folgendermaßen:


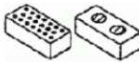
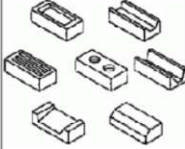

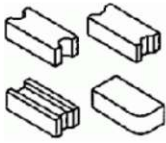

„Compressed earth blocks (CEBs) are masonry elements, which are small in size and which have regular and verified characteristics obtained by the static or dynamic compression of earth in a humid state followed by immediate demoulding.“³²¹

Der Standard ARS 670 liefert dabei Angaben zur Terminologie des CEBs. Des Weiteren enthält diese Norm Angaben über Kornverteilung, mögliche Additive (zB Zement, Kalk) und Zuschläge. Definiert wird der Prozess für die Lehmaufbereitung (Trocknung, Siebung, Pulverisierung), die Vermischung des Lehms mit Wasser unter Zugabe eventueller Additive, das Pressen der CEBs und die abschließende Trocknung. Die für diese Vorgänge notwendige Gerätschaft wird ebenfalls kurz erläutert.

Tabelle 9 umfasst Angaben zu den sechs unterschiedlichen CEB-Typen sowie Kennzeichnungsvorgaben abhängig von dessen Verwendung, statischer Belastung und möglicher Witterungseinflüsse gemäß ARS 671, sowie zwei Anwendungsbeispiele.

³²¹ ARS 671:1996, Abschnitt 2.1

Tabelle 9 – Bezeichnung für CEB gemäß ARS 671³²²

		FULL	PERFORATED	Classification according to <u>Use:</u> CEB O: used in masonry structures CEB F: used in masonry structures intended to remain visible CEB NF: normal facing CEBs CEN FF: fine facing CEBs <u>Mechanical constraints:</u> category 1: structural elements which are not load-bearing and structural elements capable of withstanding limited external (live) loads category 2: structural elements capable of withstanding important external (live) loads category 3: structural elements capable of withstanding high external (live) loads <u>Environmental constraints:</u> category D: structural elements located in a dry environment with no danger of being wet category R: structural elements capable of withstanding water damage by lateral spraying category C: structural elements capable of withstanding water damage by vertical penetration category A: structural elements capable of withstanding mechanical abrasion
	SIMPLE	CEB type 1 	CEB type 4 	
RECTANGULAR PARALLELEPIPED FORMAT CEB	WITH HORIZONTAL IDENTATION	CEB type 2 	CEB type 5 	
	WITH VERTICAL AND VERTICAL + HORIZONTAL IDENTATION	CEB type 3 	CEB type 6 	

Examples of designation:
CEB O 1 D: Ordinary compressed earth block used as an element in a non load bearing structure in a dry environment not subject to mechanical abrasion; Internal partition of a single family ground floor house
CEB FF 3 RA: Fine facing compressed earth block used as an element in a load-bearing structure exposed to rain weathering by lateral spraying as well as to mechanical abrasion; Example: External wall of a 3-storey building of high quality appearance exposed to driving rain and to sand storms

Analog gelten die Bezeichnungen laut Tabelle 9 im Wesentlichen auch für den Lehm- und Ziegelmörtel (EM) gemäß ARS 672, und für große Ziegel im Lehm- und Ziegelmauerwerk (CEBM) gemäß ARS 673.

Die häufigsten Abmessungen des CEB O für das Mauerwerk und CEB F für das Sichtmauerwerk inklusive deren Toleranzen gemäß ARS 674 bzw. ARS 675 sind in der Tabelle 10 entnommen.

Tabelle 10 – Abmessungen für CEB O und CEB F (Angaben in Millimeter)

Typ	Abmessungen			Toleranzen		
	L	B	H	L	B	H
CEB O ³²³	295	140	90 bis 95	+2 bis -3	+2 bis -3	+3 bis -3
CEB F ³²⁴	295	140	90 bis 95	+1 bis -3	+1 bis -2	+2 bis -2

³²² Vgl. ARS 671:1996, Tabelle 1 bzw. Abschnitt 3

³²³ Vgl. ARS 674:1996, Abschnitt 2.2

³²⁴ Vgl. ARS 675:1996, Abschnitt 2.2

Grundsätzlich stellen ARS 674 und ARS 675 neben den Angaben zu den Abmessungen noch Festlegungen zur geometrischen Charakteristik, dem Erscheinungsbild (z.B. Beschädigungen, Löcher, Rauheit, Risse und Absplitterungen) und den physikalisch-chemischen Eigenschaften zur Verfügung.

Die beiden Standards ARS 676 und ARS 677 enthalten Anforderungen für den Mörtel beim Vermauern von CEB O und CEB F. Erläutert werden hier die Textur und das Erscheinungsbild des Mörtels als auch dessen physikalisch-chemischen Eigenschaften.

Die Standards ARS 678 und ARS 679 liefern Vorgaben zur Fugenausbildung hinsichtlich der Dicke, des Fugenversatzes von mindestens einem Viertel der Ziegellänge und deren Toleranzen. Ferner finden sich Anforderungen für das Erscheinungsbild im Hinblick auf Risse, Eckenausbildung, Farbgebung und Oberflächenstruktur. In Bezug auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften enthalten diese Normen Anforderungen betreffend Ausblühungen. Hinsichtlich der Ziegeldruckfestigkeit muss der verwendete Ziegel den 10-fachen Wert der für die Wand erforderliche Druckfestigkeit (f_k), die durch statische Dimensionierung ermittelt wird, aufweisen. Dabei wird der Wert herangezogen, der am Fuß der Wand berechnet wurde.

Die Standards ARS 680, ARS 681 und ARS 682 stellen detaillierte Ausführungsnormen von CEB-Bauten dar. Die Herstellung und Lagerung von CEBs wird in ARS 680 beschrieben und die des Mörtels in ARS 681. In diesen beiden Normen finden sich auch Empfehlungen für die Verwendung von Stabilisierungszusätzen. Dazu gibt es Angaben zu deren Wirksamkeit und Dosierung, den unterschiedlichen Arten (wie etwa Zement oder Kalk) und deren möglichen Zusatzstoffen. Nach den Normen von ARS ist der Einsatz von Stabilisierungsmittel jedoch nicht zwingend erforderlich. Wie die genaue Ausführung von Bauten aus CEB zu erfolgen hat, wird in ARS 682 festgelegt.

Allgemein gilt für diese Normenreihe, dass Bauten in Gebiete mit Erdbeben-, Überschwemmungs- und Wirbelsturmgefahr von diesem Standard ausgenommen sind.

3.9 Bestehende fachverwandte Normen

Welche Normen gibt es neben den oben genannten reinen Lehm- und Ziegelbaunormen noch, die für die Planung, Bemessung und Ausführung von Lehm- und Ziegelbauten von Relevanz sind und so im Sinne des Analogieschlusses auch für den Lehm- und Ziegelbau in Österreich herangezogen werden können. Dabei handelt es sich teilweise um Europäische Normen, die damit automatisch in allen CEN-Ländern umzusetzen sind und sind zumeist auch gleich Internationale Normen. Ferner gibt es für die Planung und

Ausführung von Gebäuden, und da im speziellen für die Gebäudehülle, rein nationale ÖNORMEN, die auch für die Ausführung von Lehm- und Tonbauten gelten. Im Folgenden werden diese Normen aufgelistet.

3.9.1 Prüfung von Bodeneigenschaften

Für die Prüfung von Bodeneigenschaften gibt es aus dem Fachbereich der Geotechnik Normen, die auch für den Lehm- und Tonbau von Relevanz sind und teilweise sehr ähnliche Anforderungen an die Untersuchungsmethode des Bodens beinhalten, wie dies auch in den zuvor beschriebenen Lehm- und Tonbaunormen der Fall ist.

Für die Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden wurde unter der Leitung des Komitees von ISO in der Arbeitsgruppe ISO/TC 182/WG 1 „*Identification and classification of soil and rock*“ die ISO 14688 erstellt, die anschließend vom CEN/TC 341 „*Geotechnische Erkundung und Untersuchung*“ komplett übernommen wurde.³²⁵ Diese Norm dient zur Beschreibung und Klassifizierung von Böden und enthält für die Unterscheidung der Ton- und Schluffanteile im Boden ebenfalls einfache Handtest, die teilweise ident zu jenen der Lehm- und Tonbaunormen sind.

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

Teil 1: Benennung und Beschreibung

Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen

Für die Bestimmung von Bodeneigenschaften im Labor ist die Normenreihe ÖNORM EN ISO 17892 heranzuziehen. Diese wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 341 „*Geotechnische Erkundung und Untersuchung*“, dessen Sekretariat vom britischen Normungsinstitut BSI gehalten wird, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 182 „*Geotechnics*“ erarbeitet. Aus dieser Reihe sind vor allem folgende Teile für den Lehm- und Tonbau wichtig:³²⁶

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

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

Teil 2: Bestimmung der Dichte des Bodens (ISO 17892-2:2014)

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

³²⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2018, Europäisches Vorwort

³²⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 17892-1, Vorwort

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

Teil 7: Einaxialer Druckversuch (ISO 17892-7:2017)

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

Die Planung und Ausführung für Erdarbeiten wird seit 2019 in der europäischen Norm ÖNORM EN 16907 beschrieben. Diese Normenreihe besteht aus sechs Teilen und ist vor allem für größere Erdbauprojekte gedacht.

ÖNORM EN 16907, *Erdarbeiten*

Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln

Teil 2: Materialklassifizierung

Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten

Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln

Teil 5: Qualitätskontrolle und Überwachung

Teil 6: Landgewinnung mit nassgebagertem Einbaumaterial

Teil 1 behandelt sehr allgemein die Grundsätze für die Planung und Ausführung von Erdarbeiten. Darunter fallen Angaben zu den einzelnen Arbeitsschritten von Erdarbeiten, Anweisungen für die Ausführung dieser sowie die Bemessung von Erdbauwerken unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit.

Interessant ist der Teil 2 zur Materialklassifizierung. Dieser Teil definiert zunächst wie Boden/Fels In-Situ zu benennen ist. Im Wesentlichen fällt darunter die Beschreibung des Bodens hinsichtlich Korngrößenverteilung, Plastizität und organische Bestandteile auf Basis der ÖNORM EN ISO 14688 für Boden und ÖNORM EN ISO 14689 für Fels. Der Feldbericht ist dabei nach den Vorgaben der Normen ÖNORM EN ISO 22475-1 und ÖNORM EN 1997-2 zu verfassen.

Nach der Beschreibung erfolgt die Klassifizierung des Bodens. Hier wird zwischen veränderlichen Eigenschaften und nicht veränderlichen Eigenschaften des Bodens unterschieden.

Unter den nicht veränderlichen Eigenschaften fallen: Korngrößenverteilung, Plastizität und organische Bestandteile. Darüber hinaus können abhängig von der geplanten Nutzung des Bodens noch folgende Eigenschaften bestimmt werden: mineralogische Zusammensetzung des Kornes, Kornform, Korndichte, optimaler Wassergehalt, maximale Trockendichte, Kornfestigkeit, mechanische Festigkeit, Verwitterung und Dauerhaftigkeit der Mineralbestandteile, Empfindlichkeit gegen Frosthebung, chemische Festigkeit und Beständigkeit sowie Aschegehalt.

Unter den veränderlichen Eigenschaften versteht man: Wassergehalt, undrainede Festigkeit/gestörte Festigkeit, drainede Festigkeit, (einaxiale) Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Steifigkeit/Elastizitätsmodul, Schwellpotenzial, Sackungspotenzial (Sättigung), Dichte oder Verdichtungsgrad, direkter Tragindex, CBR-Wert („*California bearing ratio*“), erforderlicher Einbauwassergehalt, hydraulische Leitfähigkeit, kapillare Steighöhe, seismische Wellengeschwindigkeit, Frostbeständigkeit, Widerstandsfähigkeit, Redoxpotenzial sowie mikrobielle Aktivität. Eine Zusammenstellung der unterschiedlichen Prüfmethoden, um die (un)veränderlichen Eigenschaften ermitteln zu können, beinhaltet der Anhang A der EN 16907-2.

Des Weiteren findet sich in dieser Norm eine Zusammenstellung, welche Merkmale am Boden zu untersuchen sind abhängig für den Vorgang der Erdarbeiten (zB Lösen, Laden und Transportieren, Baustraßenbetrieb, Einbau, Verdichten) und Lage im Erdbauwerk (zB Gründungsschicht, Dränageschicht, Schüttmaterial, Hinterfüllung, Außenböschung, bewehrte Erde, Abdichtung, Deckschicht).

Neben diesen internationalen Normen seien hier noch drei österreichische Normen erwähnt aus dem Bereich der Geotechnik, die für die Untersuchung von Bodenproben immer noch ihre Gültigkeit besitzen:

ÖNORM B 4424, *Geotechnik – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des organischen Anteils*

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

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

Neben den Normen aus der Geotechnik gibt es auch eine Reihe von rein österreichischen Normen, die die Charakterisierung von Böden zum Ziel haben. Einige von diesen Normen seien nachstehende noch aufgelistet:

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

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

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

ÖNORM L 1053, *Bodenuntersuchungen – Allgemeine Grundlagen*

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

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

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

3.9.2 Prüfung an das Mauerwerk

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

Folgende Normen gelten für den Mauerziegel:

ÖNORM EN 771, *Festlegungen für Mauersteine*

Teil 1: Mauerziegel

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

ÖNORM EN 772, *Prüfverfahren für Mauersteine*

Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit

Teil 6: Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Mauersteinen aus Beton

ÖNORM B 3358, *Nichttragende Innenwandsysteme*

Folgende Normen gelten für den Mauer- und Putzmörtel:

ÖNORM B 3344, *Baustellengemischte Mauer- und Putzmörtel*

ÖNORM EN 1015, *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk*

Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel

Folgende Normen gelten für das Mauerwerk:

ÖNORM EN 845, *Festlegungen für Ergänzungsbauteile für Mauerwerk*

ÖNORM EN 846, *Prüfverfahren für Ergänzungsbauteile für Mauerwerk*

ÖNORM EN 998, *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau*

ÖNORM EN 1052, *Prüfverfahren für Mauerwerk*

Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit

Teil 2: Bestimmung der Biegezugfestigkeit

3.9.3 Zulassung von Bauprodukten

Im europäischen Binnenmarkt regelt die EU-Bauproduktenverordnung das „Inverkehrbringen“³²⁷ – also die Zulassung – von Bauprodukten. Die Anforderungen, die dafür an ein Bauprodukt gestellt werden, sind in den sogenannten harmonisierten Normen definiert. Solche Bauprodukte dürfen ausnahmslos nur mit einem CE-Kennzeichen auf den Markt gebracht werden. Grundlage für die CE-Kennzeichnung ist die Leistungserklärung, die vom Hersteller zu erbringen ist. Eine Behinderung eines einzelnen EU-Mitgliedsstaat gegen ein CE-gekennzeichnetes Produkt ist dabei nicht erlaubt.³²⁸

Der Auftrag für die Erstellung von harmonisierten Normen für ein Bauprodukt erfolgt durch die Europäische Kommission in Form von Mandaten. Dieser Normungsauftrag (Mandat) wird in weiterer Folge an die Normungsorganisation CEN übertragen, das für die Bauprodukte zuständig ist. Sobald die Erstellung der Norm von CEN abgeschlossen und anschließend durch die EU-Kommission freigegeben ist, erscheint die harmonisierte Norm im Amtsblatt der EU. Unter Berücksichtigung der im Amtsblatt üblicherweise genannten Übergangsfristen, gilt ab diesem Zeitpunkt die harmonisierte Norm verpflichtend in der Europäischen Union.

Bis heute gibt es für das Bauprodukt Lehm keinen eigenen Normungsauftrag. Auch in keinem bestehenden Normungsauftrag sind Lehmprodukte mitberücksichtigt. Dies wäre am ehesten im Mandat M/116 „Mauerwerk und verwandte Produkte“³²⁹ zu finden. Jedoch ist dieses Mandat tatsächlich nur für den gebrannten Ziegel vorgesehen. Im Anhang 1 des Mandates werden Mauerwerk-, Ziegel- und Backsteine mit Dämmfüllung und Dämmbekleidung genannt, die für das Mauerwerk als Produkte in Betracht kommen.³³⁰ In weiterer Folge werden im Anhang 2 unter den technischen Vorgaben die Leistungsmerkmale beschrieben, die durch die harmonisierten Normen für

³²⁷ Unter „Inverkehrbringen“ versteht die Bauprodukteverordnung: „die erstmalige Bereitstellung eines Bauprodukts auf dem Markt der Union“. (EU-VO Nr. 305/2011, Kapitel 1, Artikel 2, Begriff)

³²⁸ Vgl. EU-VO Nr. 305/2011

³²⁹ Mandat M/116 „Mauerwerk und verwandte Erzeugnisse“ der Europäischen Kommission für CEN/CENELEC über die Erstellung harmonisierter Normen für Mauerwerk und verwandte Erzeugnisse

³³⁰ Vgl. Mandat M/116, S. 9

Mauersteine zu erfassen sind. Laut Bauproduktenverordnung hat jedes Bauwerk folgende Grundanforderungen³³¹ zu erfüllen:

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

Das Mandat M/116 liefert für die ersten sechs Grundanforderungen folgende Leistungsmerkmale für den Mauerstein, die in der nachfolgenden Tabelle 11 zusammengestellt sind.

Tabelle 11 – Leistungsmerkmale für Mauersteine gemäß Mandat M/116³³²

Grundanforderung	Leistungsmerkmale ³³³
1	<p>Druckfestigkeit (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den baulichen Anforderungen)</p> <p>Formbeständigkeit (nur bei bestimmten Steinen) (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den baulichen Anforderungen)</p> <p>Verbundfestigkeit (Steine/Mörtel unter Endverwendungsbedingungen)/ [Wasseraufnahme] (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den baulichen Anforderungen)</p> <p>Gehalt an ausblühenden Salzen (nur bei bestimmten Steinen) (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den baulichen Anforderungen)</p>
2	<p>Brandverhalten (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den Brandschutzanforderungen)</p> <p>Feuerwiderstand R (unter Endverwendungsbedingungen) / [Dichte und Konfiguration] (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den Brandschutzanforderungen)</p> <p>Feuerwiderstand E und I (unter Endverwendungsbedingungen) / [Dichte und Konfiguration] (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den Brandschutzanforderungen)</p>
3	<p>Radioaktivität (nur für Steine aus Baustoffen, die erwiesenermaßen radioaktiv sind, zur Verwendung in Elementen gemäß den Radioaktivitätsanforderungen)</p> <p>Wasserabsorption (für Steine zur Verwendung in Feuchtigkeitssperrschichten und</p>

³³¹ Vgl. EU-VO Nr. 305/2011, Anhang I

³³² Vgl. Mandat M/116, S. 11

³³³ „Merkmale zwischen [] werden als mögliche alternative Merkmale für die betreffenden Leistungsmerkmale in Fällen vorgeschlagen, in denen die Leistungsanforderungen sich eher auf das Bauwerk als auf Mauersteine beziehen.“, siehe Mandat M/116, S. 11

	<i>in Außenelementen)</i> Wasserdampfdurchlässigkeit (für Steine zur Verwendung in Außenelementen)
4	(keine Anforderung)
5	Direkte Luftschalldämmung (unter Endverwendungsbedingungen) / [Dichte und Konfiguration] (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den akustischen Anforderungen)
6	Wärmedämmung (unter Endverwendungsbedingungen) / [Dichte und Konfiguration] (für Steine zur Verwendung in Elementen gemäß den Wärmedämmungsanforderungen)

Falls keine harmonisierte Norm vorliegt, gibt es auf europäischer Ebene noch die Möglichkeit für ein Einzelprodukt eine Europäische Technische Bewertung (ETB) zu erlangen.³³⁴

Für Bauprodukte, für die weder eine harmonisierte Norm noch eine ETB existiert, ist es weiterhin möglich reine nationale Zulassungsbestimmungen zu erlassen. In Österreich ist dafür das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB)³³⁵ verantwortlich. Dieses führt dazu die Baustoffliste ÖA, aus der zu entnehmen ist, welches Bauprodukt unter diese Zulassungsschiene fällt.³³⁶ Wird ein Bauprodukt auch nicht in der Baustoffliste ÖA gelistet, so ist für dessen Zulassung die jeweilige Baubehörde verantwortlich. Dies ist derzeit in Österreich für den Lehmbau der Status quo. Denn für dieses Bauprodukt gibt es derzeit weder ein europäisches Anforderungsdokument noch wird es in der Baustoffliste ÖA genannt. Die Zulassung erfolgt demnach auf Basis der Anforderungen an das Bauprodukt gemäß den Landesbaugesetze³³⁷ und den OIB-Richtlinien. Da diese ident mit den Anforderungen der EU-Bauprodukteverordnung sind, sollten für die Zulassung des Bauproduktes Lehm, die gleichen Anforderungen, wie bereits weiter oben für den Mauerziegel nach dem Mandat M/116 mit den Merkmale gemäß Tabelle 11 genannt, gelten.

3.9.4 Bemessung und Konstruktion

Das „Europäische Komitee für Normung“ (CEN) begann 1989 mit der Ausarbeitung von Bemessungsnormen für Konstruktionen des Hoch- und Ingenieurbaus. Diese werden auch als Eurocodes bezeichnet. Mit Fertigstellung und Publikation dieser europäischen Normen wurden diese

³³⁴ Die frühere Bezeichnung dafür lautete „Europäische Technische Zulassung“ (ETAG).

³³⁵ Vgl. www.oib.or.at [Zugriff am 12.02.2020]

³³⁶ Bauprodukte aus der ÖA-Liste sind mit dem ÜA-Zeichen zu kennzeichnen.

³³⁷ Vgl. NÖ Bauordnung §§43 und 44, OÖ Bautechnikgesetz 2013 §3, Wiener Bauordnung §88

dann unter Einhaltung von definierten Übergangsfristen in das nationale Normenwerk übernommen und widersprüchliche nationale Normen mussten zurückgezogen werden.

Zu beachten ist, dass, um den nationalen Gegebenheiten der einzelnen Länder dennoch weiterhin Rechnung tragen zu können, diese europäische Norm für bestimmte Anforderungen einen Spielraum zulässt, in dem nationale Grenzwerte festgelegt werden dürfen. Dies geschieht in der Regel durch nationale Umsetzungs-, Ergänzungsnormen oder nationalen Vorwörtern zu den ENs.

EUROCODES – Übersicht

Die Eurocodes, die in der Regel jeweils aus mehreren Teilen bestehen, umfassen den Entwurf, Berechnung und Bemessung von Tragwerken von Hoch- und Ingenieurbau und werden wie folgt unterteilt:

EN 1990, *Eurocode 0 – Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1992, *Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

EN 1993, *Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1994, *Eurocode 4 – Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*

EN 1995, *Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*

EN 1996, *Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*

EN 1997, *Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*

EN 1998, *Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

EN 1999, *Eurocode 9 – Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*

Normen in unmittelbarem Bezug zu EUROCODE 6 bzw. Lehmziegelbau

Die Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten erfolgt mit dem Eurocode 6 (ÖNORM EN 1996) und besteht aus folgenden Teilen, wobei jeder Teil auch ein eigenes nationales Umsetzungsdokument (ÖNORM B) besitzt:

Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall

Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk

Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten

Die Basis für die Anwendung des Eurocodes bildet die EN 1990 „*Grundlagen der Tragwerksplanung*“. In dieser Norm wird die Berechnungsgrundlage nämlich das semiprobabilistische Sicherheitskonzept definiert, nach dem sämtliche Tragwerke gemäß Eurocode dimensioniert werden. In weiterer Folge kann für den Lehmziegelbau der Eurocode 6 herangezogen werden und da im speziellen der Teil 3, der für vereinfachte Berechnungsmethoden bei einem unbewehrten Mauerwerk gilt. Um nun den Eurocode 6 anwenden zu können, wurde auf Basis der EN 1990 im Rahmen einer Dissertation an der Technischen Universität Wien für den Lehmziegel der fehlende Teilsicherheitsbeiwert γ_m für den Baustoff Lehm mit 2,10 abgeleitet sowie die charakteristischen Werte für Druckfestigkeit mit 5,00N/mm² und für Biegezugfestigkeit mit 1,60N/mm² ermittelt. Mit diesen erhalten Grenzwerten ist es schließlich möglich den Eurocode 6 für den Lehmziegelbau anzuwenden.³³⁸

Zur Ermittlung der verschiedenen Einwirkungen und Belastungen auf ein Bauwerk ist der Eurocode 1 heranzuziehen, der wiederum aus folgenden Teilen besteht, wobei auch hier zu beachten ist, dass ebenfalls nationale Festlegungen zu berücksichtigen sind:

Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau

Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke

Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten

Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten

Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen

Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen – Einwirkungen während der Bauausführung

Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen

Mit Hilfe dieser Bemessungsnormen (Eurocode 0, Eurocode 1 und Eurocode 6) ist es nun möglich, die Nachweise auf Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Lehmabauwerken zu führen.

3.9.5 Ausführung

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten allgemeinen Baunormen vorgestellt, die für die Planung und Ausführung von Bauwerken zu berücksichtigen sind und so auch für sämtliche Lehmabauwerke gelten.

³³⁸ Vgl. Andreas Rischaneck: *Sicherheitskonzept für den Lehmsteinbau*, Wien: Dissertation am Institut für Hochbau, TU Wien, 2009, S.2-3

Dach

Das Dach stellt die erste Schutzschicht eines Gebäudes dar gegen die unterschiedlichen Witterungseinflüsse. Für das Steildach gelten die Anforderungen der ÖNORM B 3419, für das Flachdach die der ÖNORM B 3691 und für das Gründach die der ÖNORM L 1131. Die Unterdächer werden in der ÖNORM B 4119 beschrieben. Für sämtliche Dachtypen ist noch die Norm für Planung und Ausführung von Bauspenglerarbeiten, ÖNORM B 3521-1, zu berücksichtigen.

Gerade die ÖNORM B 3691 liefert aber auch neben dem Flachdach selbst, viele wichtige Anforderungen, die auch im speziellen für den Lehmbau von Bedeutung sind. So werden in dieser Norm die An- und Abschlüsse von Wand- und Türelementen beschrieben inklusive einiger schematischer Darstellung für typische Anwendungsfälle.

Im Bezug auf sicherheitsrelevante Anforderungen sei noch auf zwei wichtige Normen hingewiesen. Wie die Sicherheitsausstattung auf einem Dach auszusehen hat, wird in der ÖNORM B 3417 geregelt und Schneeschutzsysteme finden sich in der ÖNORM B 3418.³³⁹

ÖNORM B 3419, *Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen*

ÖNORM B 3521-1, *Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen aus Metall – Teil 1: Bauspenglerarbeiten – handwerklich gefertigt*

ÖNORM B 4119, *Planung und Ausführung von Unterdächern und Unterspannungen*

ÖNORM B 3691, *Planung und Ausführung von Dachabdichtungen*

ÖNORM L 1131, *Gartengestaltung und Landschaftsbau – Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken – Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung*

ÖNORM B 3417, *Sicherheitsausstattung und Klassifizierung von Dachflächen für Nutzung, Wartung und Instandhaltung*

ÖNORM B 3418, *Planung und Ausführung von Schneeschutzsystemen auf Dächern*

Wärmeschutz

Für den Wärmeschutz bzw. Kondensationsschutz von Gebäuden ist die ÖNORM B 8110 heranzuziehen. In dieser Norm werden dafür Mindestanforderungen bzw. Bemessungsverfahren dargestellt. Validierungsbeispiele runden dieses Normpaket ab. Für den Baustoff Lehm ist etwa der

³³⁹ Vgl. Andreas Rischaneck: *Übersicht über Normen der Gebäudehülle 2016*, Wien, Austrian Standards Plus, 2016, S. 24-40

Teil 2 von Relevanz. In diesem wird die Kondensation bzw. die Wasserdampfdiffusion im Bauteil selbst ermittelt. Für massive Bauteile, wie es der Lehmbaudarstellt, wird im Beiblatt 2 ein Beispiel zur Vermeidung von Oberflächenkondensation vorgegeben. Die restlichen Teile gelten für das Lehmbauwerk selbst, wobei vor allem Teil 6 wichtig ist in Hinblick auf das Nachweisverfahren für den Heizwärmebedarf bzw. Kühlbedarf eines Gebäudes.³⁴⁰

ÖNORM B 8110, Wärmeschutz im Hochbau

Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz

Beiblatt 1: Formblatt für die Temperatur- und Wasserdampfdiffusions-Berechnung

Beiblatt 2: Massive Baukonstruktionen – Beispiele zur Vermeidung von Oberflächenkondensation

Beiblatt 3: Leichte Baukonstruktionen – Beispiele zur Vermeidung von Oberflächenkondensation

Beiblatt 4: Hinweise zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden durch raumklimatische Einflüsse

Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung

Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes

Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile

Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf

Teil 6-2: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf – Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf

Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte

Teil 8: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte von Bauteilen

Schallschutz

Welche Anforderungen für den Schallschutz im Hochbau gelten, finden sich in der Normenreihe ÖNORM B 8115. Die Anforderungen, die im Hinblick auf den Schallschutz in Gebäuden wie zB Wohngebäude, Bürogebäude, Bildungseinrichtungen, Krankenhäuser, etc. gestellt werden, finden sich im Teil 2. Zum Unterschied dazu gilt der Teil 3 für die Akustik im Raum selbst abhängig von dessen Nutzung (zB Veranstaltungsraum, Büroräume oder Betriebsstätte). Wie die Anforderungen

³⁴⁰ Vgl. Rischaneck 2016, S. 12-15

aus dem Teil 2 umgesetzt werden können, beschreibt der Teil 4 über Anleitungen und Beispiele von der richtigen Auswahl von Bauteilen.³⁴¹

ÖNORM B 8115 (alle Teile), *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau*

Teil 1: Begriffe und Einheiten

Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz

Teil 3: Raumakustik

Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen

Teil 5: Klassifizierung

Teil 6: Messverfahren zum Nachweis der Erfüllung der schallschutztechnischen Anforderungen in Gebäuden

Teil 7: Bewertung der Trittschallminderung durch eine Deckenauflage auf einer Bezugs-Massivholzdecke

Dämmung

ÖNORM B 6000 stellt die Grundlage für alle werkmäßig hergestellten Dämmstoffe dar. Diese Norm liefert u.a. ein Übersichtsbild über die prinzipielle Anwendung von Dämmstoffen im Hochbau und über eine Reihe von Anhängen wird für jedes Dämmprodukt dessen Anwendungsgebiet aufgezeigt.³⁴²

ÖNORM B 6000, *Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau – Arten, Anwendung und Mindestanforderungen*

Fassade

Für die Ausführung eines Außenwand-Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS), das ein System mit einem vorgefertigten Dämmstoff darstellt, der direkt auf die Außenwand geklebt oder mit zusätzlichen Dübeln befestigt aufgebracht wird, wird in der ÖNORM B 6400 normiert.³⁴³

ÖNORM B 6400, *Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)*

Teil 1: Planung und Verarbeitung

Teil 2: Produkte, Prüfung und Anforderungen

³⁴¹ Vgl. Ebda S. 15-17

³⁴² Vgl. Ebda S 11

³⁴³ Vgl. Ebda S. 43-46

Teil 3: Mindestanforderungen für die Verwendung

Fenster und Türen

Die beiden Bauprodukte Fenster und Türen werden grundsätzlich in der europäischen Produktnormen ÖNORM EN 14351-1 geregelt. Sowie auch beim Eurocode der Fall wurden zu dieser Norm noch zusätzliche nationale Ergänzungsnormen erstellt. Für das Fenster ist dies die ÖNORM B 5300 und für die Außentüre die ÖNORM B 5339. Der Einbau von Türen wird noch in der ÖNORM B 5335 behandelt und der Einbau von Fenstern in der ÖNORM B 5320. Hier finden sich auch Anforderungen für Anschlüsse der Anbauteile an die Außenwand.

Der konstruktive Glasbau wird in der Normenreihe ÖNORM B 3716 geregelt. Unter diesen Bauteilen versteht man vertikale, horizontale und absturzsichernde Verglasungen. Eine Übersicht über die Anwendungsbeispiele solcher Verglasungen liefert der Teil 7 dieser Normenreihe.³⁴⁴

ÖNORM EN 14351-1, *Produktnorm, Leistungseigenschaften*

Teil 1: Fenster und Außentüren

Teil 2: Innentüren

ÖNORM B 5300, *Fenster – Anforderungen – Ergänzungen zur ÖNORM EN 14351-1*

ÖNORM B 5305, *Fenster – Kontrolle und Instandhaltung*

ÖNORM B 5312, *Holzfenster – Konstruktionsregeln*

ÖNORM B 5320, *Einbau von Fenstern und Türen in Wände – Planung und Ausführung des Bau- und des Fenster/Türanschlusses*

ÖNORM B 3716, *Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau*

ÖNORM B 5335, *Türen – Einbau von Türen*

ÖNORM B 5339, *Außentüren – Anforderungen – Ergänzungen zur ÖNORM EN 14351-1*

Erdberührte Bauteile

Erdberührte Bauteile werden nach der ÖNORM B 3692 definiert. Diese Norm enthält wie die ÖNORM B 3691 wichtige Hinweise für die Planung und Ausführung von An- und Abschlüssen. Wie hoch etwa die Abdichtungsebene über das angrenzende Bodenniveau bei Wänden zu führen ist, wird in dieser Norm festgelegt. Über die Ausführung von Dränagen und Schutz erdberührter Bauteile gegen

³⁴⁴ Vgl. Ebda S. 53-61

Feuchtigkeit finden sich zusätzlich zur ÖNORM B 3692 auch noch hilfreiche Angaben in der DIN 4095.³⁴⁵

ÖNORM B 3692, *Planung und Ausführung von Bauwerksabdichtungen*

DIN 4095, *Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung*

3.9.6 Nachhaltigkeit

Das Technische Komitee CEN/TC 350 „*Nachhaltigkeit von Bauwerken*“ erstellte zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Ingenieurbauwerke durch Anwendung eines Lebenszyklusansatzes mehrere europäische Normen. Durch diese Bewertung werden die Auswirkungen auf ökologische, soziale und ökonomische Qualität von Bauwerken bewertet. Zweck dieser Normen ist es, eine Vergleichbarkeit von Bewertungsergebnisse zu erzielen. Jedoch Richtwerte auf die Qualitätsgrenzen werden im Rahmen dieser Normen keine definiert. Neben den genannten Parameter zur Bewertung der Nachhaltigkeit werden auch die technischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerkes in der Bewertung mitberücksichtigt. Diese beiden Bewertungsteile, ökologische, soziale und ökonomische Qualität auf der einen Seite und technische und funktionale Qualität auf der anderen Seite, stehen in einer ständigen Wechselbeziehung, welche in dieser Norm mit betrachtet wird. Daneben wird auch die Nutzungsart der Infrastruktur (innerhalb und außerhalb des Gebäudes) in der Bewertung mit aufgenommen. Betreffend den Beginn der Bewertung spricht das Komitee CEN/TC 350 die Empfehlung aus, mit dieser möglichst bereits in der Entwurfsplanung zu starten und laufend im Planungsprozess zu adaptieren, um so eine optimale Bewertung aller Projektierungsschritte zu erreichen.³⁴⁶ Der Aufbau der Normen gliedert sich nach folgenden Ebenen:

Ebene des Rahmendokuments:

Diese Normenreihe bildet das Rahmenwerk für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden und besteht wiederum aus folgenden Teilen:

ÖNORM EN 15643, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden*

Teil 1: Allgemeine Rahmenbedingungen

Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität

Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität

³⁴⁵ Vgl. Ebda S. 64-66

³⁴⁶ Vgl. Einleitung ÖNORM EN 15643

Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität

Teil 5: Leitfaden zu den Grundsätzen für und den Anforderungen an Ingenieurbauwerke

Ebene des Bauwerks:

Diese Normen werden herangezogen, um konkret nach den ökologischen, sozialen und ökonomischen Faktoren eine Bewertung der Nachhaltigkeit des Bauwerkes durchzuführen:

ÖNORM EN 15978, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode*

ÖNORM EN 16309, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der sozialen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethoden*

ÖNORM EN 16627, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der ökonomischen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethoden*

Ebene der Bauprodukte:

Abschließend erfolgt die Nachhaltigkeitsbewertung am Bauprodukt selbst nach folgenden Normen:

ÖNORM EN 15804, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*

CEN TR 15941, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Methoden für die Auswahl und Verwendung von generischen Daten*

ÖNORM EN 15942, *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Kommunikationsformate zwischen Unternehmen*

Messung der Emissionen von Bauprodukten:

Ferner erarbeitete das Komitee CEN/TC 351 „*Bewertung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten*“ zur Messung der Emissionen von Bauprodukten Normen, die zur Bestimmung der Emissionen in der Innenraumluft heranzuziehen sind. Es handelt sich dabei um folgende Normen:

ÖNORM EN 16687, *Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Terminologie*

ÖNORM EN 16516, *Bauprodukte: Bewertung der Freisetzung gefährlicher Stoffe – Bestimmung der Emissionen in die Innenraumluft*

ÖNORM EN 17087, *Bauprodukte: Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Herstellung von Prüfmengen aus der Laborprobe zur Prüfung der Freisetzung und zur Gehaltsanalyse*

4 VERGLEICH DER WELTWEIT GÜLTIGEN LEHMBAUNORMEN

4.1 Einführung

Normen stellen gerade für öffentliche Ausschreibungen einen wesentlichen Bestandteil dar. Wie *„die Verfahren zur Beschaffung von Leistungen (Vergabeverfahren) im öffentlichen Bereich“* (darunter fallen auch Bauleistungen) zu erfolgen hat, regelt das Bundesvergabegesetz (BVerG 2018). Dazu wird im aktuellen BVerG im Paragraf 105 *„Erstellung eines Leistungsverzeichnisses“* unter (3) folgendes festgehalten: *„Sind für die Beschreibung oder Aufgliederung bestimmter Leistungen geeignete Leitlinien, wie ÖNORMEN oder standardisierte Leistungsbeschreibungen, vorhanden, so ist auf diese Bedacht zu nehmen.“*³⁴⁷ Zwar wurde mit dieser Formulierung die früher bestehende strikte Normenbindung für den öffentlichen Ausschreiber mit dem Zusatz *„so ist auf diese Bedacht zu nehmen“* abgeschwächt, doch gilt weiterhin ein direkter Bezug zu den ÖNORMEN. In gleicher Weise wird auch der Aufbau für einen Bauvertrag definiert. Im Paragraf 110 heißt es unter (2): *„Der öffentliche Auftraggeber kann weitere Festlegungen für den Leistungsvertrag treffen. Bestehen für die Vertragsbestimmungen geeignete Leitlinien, wie ÖNORMEN oder standardisierte Leistungsbeschreibungen, so ist auf diese Bedacht zu nehmen.“*³⁴⁸

Um einen wesentlichen Impuls für eine ökologische Bauweise, wie es der Lehmbau darstellt, herbeiführen zu können, wäre es gerade umso wichtiger dem öffentlichen Auftraggeber die nötigen Instrumentarien zu liefern, dass er diese auch in seiner Ausschreibung mitberücksichtigen kann. Gerade jetzt, wo im Zuge der sich laufenden Änderungen der vorhandenen Rahmenbedingungen wie einsetzender Klimawandel mehr und mehr erkannt wird, dass im Speziellen das Bauwesen immer stärker auf ökologische und ressourcenschonende Bauweisen Bedacht nehmen muss, ist es höchstens an der Zeit, diese fehlende Lücke einer normativen Grundlage für den Lehmbau so rasch wie möglich zu schließen. Im Idealfall wäre dies für Österreich, unter Beachtung der Rangfolge für Technische Spezifikationen gemäß BVerG 2018, durch eine nationale Norm auf Basis eines

³⁴⁷ Bundesgesetz über die Vergabe von Aufträgen (Bundesvergabegesetz 2018 – BVerG 2018), §105, (3)

³⁴⁸ BVerG 2018, §110, (2)

europäischen Grunddokumentes,³⁴⁹ also eine Europäische Norm mit eventuell nationalem Spielraum, um regionale Besonderheiten mitberücksichtigen zu können, wie es zum Beispiel die bestehenden Eurocodes für das Bauwesen bereits darstellen. Und weiter heißt es im BVerG 2018: wenn europäische Normen oder europäische Bewertung bzw. technische Spezifikationen oder internationale Normen, die von europäischen Normungsgremien erarbeitet wurden, fehlen, dann können auch „*nationale Normen, nationale technische Zulassungen oder nationale technische Spezifikationen für die Planung, Berechnung und Ausführung von Bauleistungen*“³⁵⁰ herangezogen werden, wobei das BVerG 2018 eine nationale Norm wie folgt definiert: „*Norm, die von einer nationalen Normungsorganisation angenommen wurde und der Öffentlichkeit zugänglich ist.*“³⁵¹

Im Moment existieren für den Lehmabau weder eine internationale Norm noch ein europäisches Dokument (bis auf den Lehmputz für den Innenbereich), das Anforderungen für die Anwendung von Lehmziegelbau oder Stampflehmabau definiert. Dennoch gibt es weltweit betrachtet eine Reihe von regionalen Standards, die von verschiedenen nationalen Normungsorganisationen erstellt wurden. Daraus lässt sich wohl eine klare Strategie für den Lehmabau ableiten. An erster Stelle sollte die Schaffung einer normativen Grundlage auf Basis eines europäischen Dokumentes stehen. Da dies jedoch ein durchaus zeitintensiver und aufwendiger Prozess bedeutet, könnte als Zwischenschritt die bestehenden nationalen Normen herangezogen werden, um so für Österreich aus diesen Standards eine Leitlinie für die unterschiedlichen Bauleistungen des Lehmabaus zu erstellen.

Im Folgenden werden deshalb die bestehenden regionalen Lehmabau Normen aus Abschnitt 3.3 bis 3.8 für den Lehmziegelbau und Stampflehmabau sowie die fachverwandten Normen³⁵² aus Abschnitt 3.9 untereinander verglichen und versucht die vorhandenen Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede herauszuarbeiten. Diese Untersuchung bezieht sich auf die Prüfung der jeweiligen normativen Anforderungen, die sich vor allem aus den unterschiedlichen klimatischen Rahmenbedingungen bzw.

³⁴⁹ Vgl. Ebda §106, (2)

³⁵⁰ Vgl. Ebda §106, (2), 1.e)

³⁵¹ Vgl. Ebda §2, 25

³⁵² In der Regel handelt es sich dabei um „ÖNORM EN ISO“-Normen, die weltweit gültig sind. Zum Unterschied sind „ÖNORM EN“-Normen europäische Dokumente und „ÖNORM B“-Normen gelten nur in Österreich. Dabei sind zumeist Prüfnormen internationale Regelwerke, Produktnormen europäische und Planung- und Ausführungsnormen „ÖNORM B“ Normen, also rein österreichische Dokumente (siehe auch Abschnitt 3.2).

den möglichen Naturgefahren wie es beispielsweise die Erdbebengefahr ergeben. In Bezug auf das Klima decken die bestehenden Lehmbaunormen nahezu sämtliche Klimazonen ab. Bis auf die polaren und kaltgemäßigten Zonen werden in den Normen das tropische, subtropische und kühlgemäßigte Klima behandelt. Gleiches gilt für das Erdbeben, wo weltweit einige normative Grundlagen für den Lehmabau existieren, die sich im Speziellen nur mit diesem Thema auseinandersetzen. Die Abbildung 22 zeigt eine Übersicht der weltweiten Klimazonen und jene Regionen, die eine erhöhte Erdbebengefahr aufweisen.

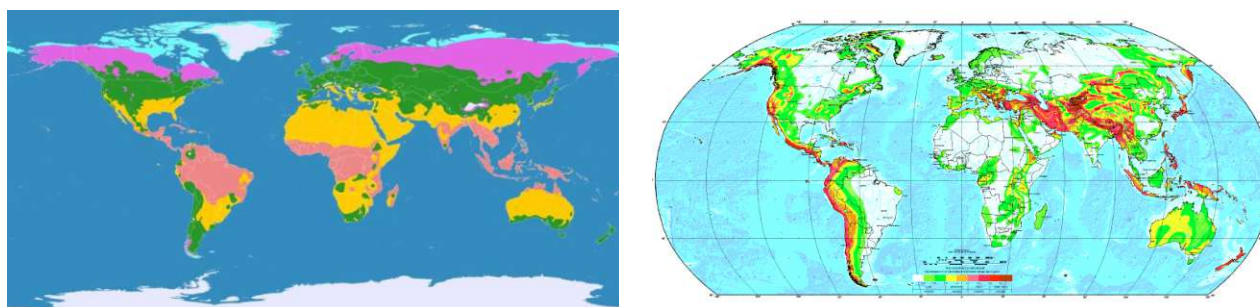


Abbildung 22 – Weltweiten Klimazonen (grün: kühlgemäßigt, gelb: subtropisch, rosa: tropisch) und Erdbebengebiete (rot: erhöhtes Erdbebenrisiko, grün: niedriges Erdbebenrisiko)

Für die weitere Bearbeitung dieses Vergleiches werden jene Lehmbaunormen herangezogen, die in der Tabelle 12 aufgelistet sind. Dazu wird zu jeder Norm, die jeweilige behandelte Lehmbautechnik angeführt, die Region, das dazugehörige Klima und die Angabe, ob die Norm auch spezifische Bestimmungen über das Erdbeben enthält.

Tabelle 12 – Übersicht der Lehmbaunormen nach Lehmbautechnik, Region, Klima und Erdbeben

Lehmbaunormen	Lehmbau-technik	Land/ Kontinent	Klimazone	Erdbeben
DIN 1894x	LZ, LM, LP	Deutschland	kühlgemäßigt	Nein
LB-Regeln	LZ, LM, LP, SL	Deutschland	kühlgemäßigt	Nein
ÖNORM EN 13914-2	LP	Europa	subtropisch und kühlgemäßigt	Nein
ASTM E 2392	LZ, SL	Amerika	kühlgemäßigt	Ja
NMAC 14.7.4	LZ, SL	New Mexiko	subtropisch und kühlgemäßigt	Nein
NTE E.080	LZ, SL	Peru	subtropisch, tropisch und kühlgemäßigt	Ja
NEC-SE-VIVIENDA	LZ, SL	Ecuador	subtropisch, tropisch und kühlgemäßigt	Ja
IS 13827	LZ, SL, LP	Indien	subtropisch und tropisch	Ja
SADC ZW HS 983	SL	Zimbabwe	tropisch	Nein
NZS 429x	LZ, LM, LP, SL	Neuseeland	subtropisch und kühlgemäßigt	Ja
NBC 204	LZ, SL	Nepal	subtropisch	Ja

Um eine leichtere Lesbarkeit für den folgenden Abschnitt zu erreichen, wurden die wichtigsten Abkürzungen im folgenden Abkürzungsverzeichnis zusammengestellt, die nur für diesen Abschnitt gelten.

Abkürzungsverzeichnis

Ab	Abdichtungsbahn
Abst	Abstand
Aw	Außenwand
Bw	Mindestbewehrung
c	Spezifische Wärme [kJ/kgK]
Dim	Dimensionen der Mindestabmessungen
Dü	Dachüberstand
Er	Erdbeben
Fd	Fundament
f_{dr}	Druckfestigkeit in N/mm ²
f_z	Zugfestigkeit in N/mm ²
FdOK	Fundamentoberkante
FOK	Fußbodenoberkante
GOK	Geländeoberkante
Kz	Klimazone: t für tropisches Klima s für subtropisches Klima k für kühlgemäßes Klima
QL	Länge zwischen zwei Querwänden
Qw	Querwand oder Stützwand zur Verstärkung bei Erdbebenbelastung
LB	Lehmbau
LM	Lehmmörtel
LP	Lehmputz
LZ	Lehmziegel
Mat	Material
Mw	Mauerwerk
Rb	Ringbalken
Sg	Schlankheitsgrad einer Lehmwand (Breite : Höhe)
SL	Stampflehm
So	Sockel
St	Steine
Stb	Stahlbeton
Sz	Sturz
Wb	Wandbreite
WD	Wanddurchführung
Wh	Wandhöhe
WI	Wandlänge
Wö	Wandöffnung
Zi	Gebrannter Ziegel
δ	Rohdichte [kg/m ³]
μ	Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl [-]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

4.2 Ermittlung der Baulehmeigenschaften in Feldversuchen

Allgemein kann für die Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden die ÖNORM EN ISO 14688 herangezogen werden. Diese Norm liefert im Teil 1 die Grundprinzipien für die Benennung und Beschreibung und im Teil 2 die Grundlagen für die Bodenklassifizierung. Interessant ist dabei der Teil 1, der im Anhang A visuelle und manuelle Methoden für die Beschreibung eines Bodens liefert, die sich für die Anwendung im Feld eignen. Dabei werden die typischen Eigenschaften beschrieben, über die der Boden anschließend klassifiziert werden kann.

Aber nicht nur die ÖNORM EN ISO 14688 enthält Bestimmungsmethoden für den Boden im Feld, sondern auch die meisten Lehmbaunormen beinhalten für diesen Vorgang eigene Prüfmethode. Im Folgenden werden diese Verfahren zu den verschiedenen Bodenparametern zusammengestellt und untereinander verglichen.³⁵³

4.2.1 Korngrößenverteilung

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung im Feld stehen zwei unterschiedliche Methoden zur Verfügung: die „Kugelfallprobe“ und die „Sichtprüfung“.

Kugelfallprobe

Diese Prüfung wird in den deutschen Lehm-Bau-Regeln näher beschrieben und liefert einen ersten einfachen Aufschluss über die Kornverteilung. Dafür wird ein erdfechter Lehm zu einer Kugel geformt, getrocknet und danach aus 80cm Höhe auf eine feste Unterlage fallen gelassen, das zu folgendem möglichen Ergebnis führt:

- die Kugel zerspringt nicht: dann handelt es sich um fetten Lehm,
- die Kugel zerspringt in wenige Teile: dann handelt es sich um mageren Lehm,
- die Kugel zerspringt in viele Teile, die auf der Unterlage sandig zerfallen: dann handelt es sich um sehr mageren Lehm.³⁵⁴

³⁵³ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 18-20

³⁵⁴ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3

Sichtprüfung

Bei der Sichtprüfung wird der Boden augenscheinlich auf dessen verschiedenen Korngrößen untersucht.

Für den Lehmabau sind die Korngrößenfraktionen vom Ton ($\leq 0,002\text{mm}$) bis zum Feinkies ($> 2,0$ und $\leq 6,3\text{mm}$) von Bedeutung. Die unterschiedlichen Fraktionen bzw. Korngrößenbereiche für den Baulehm sind der Tabelle 13 zu entnehmen.

Tabelle 13 – Korngrößenbereich für den Baulehm³⁵⁵

Bodengruppe	Korngrößenfraktionen	Korngrößenbereich [mm]
grobkörniger Boden	Feinkies	$> 2,0$ und $\leq 6,3$
	Sand	$> 0,063$ und $\leq 2,0$
	Grobsand	$> 0,63$ und $\leq 2,0$
	Mittelsand	$> 0,20$ und $\leq 0,63$
	Feinsand	$> 0,063$ und $\leq 0,20$
feinkörniger Boden	Schluff	$> 0,002$ und $\leq 0,063$
	Grobschluff	$> 0,02$ und $\leq 0,063$
	Mittelschluff	$> 0,0063$ und $\leq 0,02$
	Feinschluff	$> 0,002$ und $\leq 0,0063$
	Ton	$\leq 0,002$

Für die Unterscheidung der einzelnen Kornfraktionen erfolgt zunächst die Trennung nach grobkörnigem und feinkörnigem Boden. Der grobkörnige Anteil lässt sich mit freiem Auge bestimmen. Dazu empfehlen die Lehmabau-Regeln als Vergleichsgröße etwa ein Grieskorn, das einer Korngröße von $0,2\text{mm}$ entspricht, also der unteren Grenze des Mittelsandes.³⁵⁶

Die ÖNORM EN ISO 14688-1 kennt für die Sichtprüfung zwei Methoden, um die unterschiedlichen Korngrößen bestimmen zu können. Eine Möglichkeit ist dabei die Verwendung einer Kornstufenschaulehre. Die Unterscheidung zwischen Kies und Sand lässt sich dabei leicht mit freiem Auge beurteilen.³⁵⁷ Im nationalen Anhang dieser Norm wird noch eine weitere Bestimmungsmethode angeführt. Hier werden als Unterscheidungsmerkmale für den Feinkies bzw. Sand die Größe eines Streichholzkopfes und Hühnereis verwendet.³⁵⁸ Schluff- und Tonanteile sind mit bloßem Auge nicht

³⁵⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Tabelle 1

³⁵⁶ Vgl. Lehmabau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3

³⁵⁷ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Abschnitt 6.1

³⁵⁸ Vgl. Ebda Nationale Anhang NC.2

mehr zu unterscheiden. Die ÖNORM EN ISO 14688-1 liefert dazu in dessen Anhang A.3 eigene Verfahren, um festzustellen, ob der feinkörnige Boden mehr Ton oder Schluff enthält.³⁵⁹

Analyse:

Tabelle 14 – Ermittlung der Korngrößenverteilung im Feld

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
LB-Regeln	Kugelfallprobe	getrocknete Kugel aus 80cm Höhe fallen lassen	k	Nein
	Sichtprüfung	Grieskorn als Vergleichsgröße für D=0,2mm	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 14688-1	Sichtprüfung	Kornstufenschaulehren oder Streichholzkopf als Vergleichsgröße für D=2mm	-	-

Die Tabelle 14 zeigt eine Zusammenstellung der beiden Prüfmethode für eine erste Abschätzung der Korngrößenverteilung. Liefert die Kugelfallprobe eine erste grobe Annäherung an den vorhandenen Bodentyp, so stellt die Zusammenführung der beiden Normen Lehm-Bau-Regeln und ÖNORM EN ISO 14688-1 mit den beiden Grenzwerten Grieskorn und Streichholzkopf einen ersten guten Hinweis auf die Korngrößenverteilung dar. Der für den Lehm-Bau in der Regel angewendete Boden findet sich gerade im Bereich von Grieskorn (D=0,2mm) und Streichholzkopf (D=2mm). So lässt sich gut eine erste Abschätzung der Anteile an grobkörnigen (Feinkies und Sand) sowie feinkörnigen Boden (Ton und Schluff) durchführen.

4.2.2 Rissprüfung

Diese Prüfung hat das Ziel, über das Variieren von unterschiedlichen Lehmmischungen (Lehm, Zusätze und Wasser) die optimale Zusammensetzung für den Baulehm zu ermitteln, indem nach Beendigung der Trocknung die möglichen entstanden Risse am Prüfkörper augenscheinlich untersucht werden.

Diese Prüfung, die sowohl für Lehmziegel als auch für Stampflehm geeignet ist, wird etwa in ASTM E 2392 beschrieben. Dabei wird empfohlen, zunächst Lehmziegel mit unterschiedlichen Kombinationen aus Lehm, Wasser und Zusätzen herzustellen und danach zu trocknen. Nach Ablauf der Trocknung wird der Ziegel augenscheinlich auf Fehlstellen geprüft. Die dabei möglichen entstanden Risse sollten nicht länger als 75mm, nicht breiter als 3mm und nicht tiefer als 10mm

³⁵⁹ Vgl. Ebda Anhang A.3

sein. Bleibt der Ziegel innerhalb der geforderten Rissgrenzen, so kann diese Lehmmischung für die Bauausführung herangezogen werden.³⁶⁰

Ähnliche Grenzen werden in ZW HS 983 festgelegt. In dieser Norm dürfen bei einer fertigen Stampflehmwand die möglichen Schrumpfrisse nicht breiter als 3mm und nicht länger als 75mm sein, wobei auf einer Fläche von 1m² nicht mehr als 20 Risse auftreten dürfen.³⁶¹

Auch IS 13827 kennt eine ähnliche Methode zur Bestimmung der Eignung des aufbereiteten Baulehms. Bei diesem Test werden zunächst acht Ziegel mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von Lehm zu Sand zwischen 1:0 bis 1:3 hergestellt und anschließend für 48 Stunden getrocknet. Nach Ablauf der Trocknung wird geprüft, welche Mischung die wenigsten Risse aufweist und damit am besten für die Bauausführung geeignet ist.³⁶² Um Rissbildung generell zu reduzieren bzw. überhaupt zu vermeiden, empfiehlt IS 13827 neben der Optimierung des Mischungsverhältnisses Lehm zu Sand das Hinzufügen von Strohfasern. Ferner wird noch zur Qualitätserhöhung das Mauken in dieser Norm vorgeschlagen.³⁶³

Eine etwas abgewandelte Methode wird noch in NTE E.080 abgebildet. Hier werden zunächst zwei Lehmziegel mittels Mörtel zusammengefügt (siehe Abbildung 23), wobei für die unterschiedlichen Prüfkörper wieder das Mischungsverhältnis Lehm zu Sand laufend verändert wird, und zwar von 1:0 auf 1:3 bei gleichbleibendem minimalem Wassergehalt. Nach Trocknung von 48 Stunden werden die Risse untersucht. Die Probe weist dann ein optimales Mischungsverhältnis auf, wenn keine Risse entstanden sind.

³⁶⁰ Vgl. ASTM E 2392:2010, Anhang X1.2.1.2

³⁶¹ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 16; Bild 4 dieser Norm zeigt typische Rissbilder.

³⁶² Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 6.2

³⁶³ Vgl. Ebda Abschnitt 7

Analyse:

Tabelle 15 – Risskontrolle im Feld

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
ASTM E 2392	am Lehmziegel	max. Risse: L=75mm, B=3mm, t=10mm	k	Ja
IS 13827	an 8 Lehmziegel	LZ-Mischung mit geringsten Rissen ist optimal	t,s	Ja
NTE E.080	an 2 Lehmziegel	LZ-Mischung ohne Risse ist optimal	t,s,k	Ja
ZW HS 983	Stampflehmwand	max. Risse: L=75mm, B=3mm bei weniger als 20Risse/m ²	t	Nein

Für Lehmziegel bieten die Normen ASTM E 2392, IS 13827 und NTE E.080 sehr einfache Verfahren an, um die optimale Zusammensetzung des Baulehms zu ermitteln. Dabei werden Lehmziegel mit unterschiedlicher Variation von Ton zu Sand hergestellt, getrocknet und augenscheinlich auf Risse geprüft, wobei für das zulässige Rissbild unterschiedliche Toleranzen angegeben werden. Lässt NTE E.080 etwa keine Risse zu, so beinhaltet ASTM E 2392 sehr genaue Grenzwerte dafür.

Für Stampflehmwände gelten zum einen die Angaben aus ASTM E 2392 und zum anderen ZW HS 983, das gegenüber ASTM E 2392 noch genauere Vorgaben beinhaltet. In diesem Standard werden neben den Grenzwerten hinsichtlich der Rissgröße, auch Vergleichsbilder für Risse an der fertigen Oberfläche abgebildet (siehe Abbildung 23) und dazu gleich Angaben zur Behebung des Schadbildes gemacht.

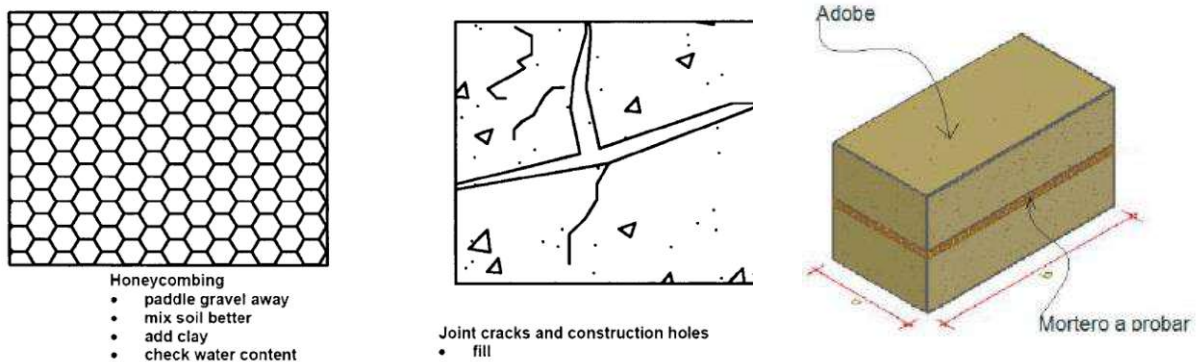


Abbildung 23 – links und Mitte: Rissbilder an der Stampflehmoberfläche nach ZW HS 983; rechts: Versuchsaufbau nach NTE E.080³⁶⁴

4.2.3 Trockenfestigkeit

Der Trockenfestigkeitsversuch wird dafür herangezogen, um festzustellen, ob der Baulehm einen ausreichenden Feinkornanteil aufweist.

³⁶⁴ ZW HS 983:2014, Bild 4 und NTE E.080:2017, Bild 7

Nach den Lehm-Bau-Regeln wird dieser über eine getrocknete Probe bestimmt. Dabei ist ein Baulehm dann als geeignet anzusehen, wenn dieser erst nach erheblichem Fingerdruck in einzelne Bruchstücke zerfällt. Wird die Probe erst gar nicht zerstört, so weist dies auf einen fetten Lehm hin.³⁶⁵

In ähnlicher Weise wird die Trockenfestigkeit in den Normen ASTM E 2392, IS 13827, E.080 und ÖNORM EN ISO 14688-1 bestimmt. Dieser Test wird in diesen Normen als Kugeltest bezeichnet. Dabei werden aus einer Bodenprobe Kugeln geformt und anschließend getrocknet. Nach Ablauf der Trocknung wird die Kugel zwischen Daumen und Zeigefinger gedrückt. Bricht diese nicht, so kann der untersuchte Boden für den Lehm-Bau verwendet werden, ansonsten fehlt der Bodenprobe Ton.³⁶⁶ Die Tabelle 16 zeigt für die vier genannten Standards die Vorgaben für die Durchführung des Versuches zur Bestimmung der Trockenfestigkeit. Wie aus einer Bodenprobe eine Kugel zu formen ist und anschließend geprüft wird, zeigt Abbildung 24.

Die ÖNORM EN ISO 14688-1 liefert einen weiteren nützlichen Hinweis, warum die Trockenfestigkeit zu hoch sein kann. Dies kann nicht nur am hohen Tonanteil im Boden liegen, sondern auch ein Hinweis darauf sein, dass der Boden Kalziumkarbonat enthält, das auch wie eine Art Verkittungsmaterial im Boden wirkt und mittels verdünnter Salzsäure nachgewiesen werden kann.

Analyse:

Tabelle 16 – Ermittlung der Trockenfestigkeit im Feld

LB-Normen	Prüfmethode	Ø [mm]	Probe-körperanzahl	Trocknungs-dauer [h]	Kz	Er
ASTM E 2392	Kugeltest	20	mehrere	k. A.	k	Ja
IS 13827	Kugeltest	20	5 bis 6	48	t,s	Ja
NTE E.080	Kugeltest	k. A.	4	48	t,s,k	Ja
LB-Regeln	Baulehmtrocknung	k. A.	k. A.	k. A.	k	Nein
Fachverwandte Norm						
EN ISO 14688-1	Kugeltest	12	mehrere	k. A.	-	

Es zeigt sich, dass der Trockenfestigkeitstest ein anerkanntes Instrument darstellt, um relativ einfach den Baulehm auf seine mögliche Verwendung für den Lehm-Bau prüfen zu können. Unabhängig von

³⁶⁵ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3

³⁶⁶ Vgl. ASTM E 2392:2010, Anmerkung 1 zu Bild 3; IS 13827:1993, Abschnitt 6.1; NTE E.080:2017, Anhang 2; ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Anhang A.3.5

klimatischen Randbedingungen wird dieser Test in den unterschiedlichen Regionen als Nachweisführung empfohlen.

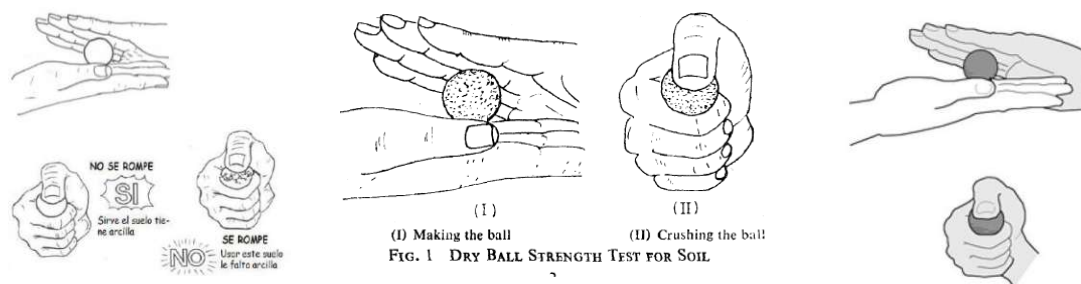


Abbildung 24 – Trockenfestigkeitstest³⁶⁷

4.2.4 Plastizität

Unter der Plastizität oder Konsistenz wird die Beschaffenheit eines feinkörnigen Bodens bezeichnet in Abhängigkeit vom Wassergehalt. Dazu werden in den Normen ebenfalls einige einfache Versuche beschrieben, die im Feldversuch angewendet werden können.

Bandversuch

ASTM E 2392 beschreibt in einer sehr allgemeinen Form die Durchführung eines Bandtests, mit dem eine erste Abschätzung des Baulehms in Bezug auf dessen Plastizität möglich ist. Dafür wird eine nasse Bodenprobe in der Hand so geformt, dass sich ein Band bildet (siehe Abbildung 25). Dieses sollte dann etwa die Länge einer Hand aufweisen und dabei nicht reißen.³⁶⁸ Etwas detaillierter wird der gleiche Versuch in NTE E.080 dargestellt. Dabei wird zunächst ein Zylinder geformt, dessen Höhe in etwa eine Handbreite entsprechen soll und einen Durchmesser von 12mm aufweist. Dieser wird dann zwischen Daumen und Zeigefinger zu einem 4mm dicken Band geformt, das nach unten hängt. Erreicht dieses Band eine Länge von 20 bis 25cm, so ist der Boden tonig. Ist dieses kürzer als 10cm, so ist der Boden sandig.³⁶⁹

³⁶⁷ Von links nach rechts: NTE E.080:2017, Anhang 2; IS 13827:1993, Bild 1; ASTM E 2392:2010, Bild 3

³⁶⁸ Vgl. ASTM E 2392:2010, Anmerkung 1 zu Bild 2

³⁶⁹ Vgl. NTE E.080:2017, Anhang 1



Abbildung 25 – Bandtest³⁷⁰

Ein detailliertes Verfahren zur Prüfung auf Plastizität des Baulehms findet sich in ZW HS 983. Zunächst wird aus dem Baulehm ein Ball geformt, der in der Sonne getrocknet wird. Zerfällt der Ball während der Trocknung, so ist dieser Baulehm ungeeignet. Ist dies nicht der Fall, so kann mit der Prüfung des Lehms fortgesetzt werden. Nun wird der trockene Lehm langsam durchfeuchtet und anschließend zu einer Kugel geformt und auf eine harte Oberfläche gelegt. Danach wird ein Bewehrungsseisen mit einem Durchmesser von 10mm und einer Länge von 500mm vertikal auf den Ball gesetzt. Dringt das Eisen von alleine 20mm in die Kugel ein, so ist der Wassergehalt für den Rolltest richtig eingestellt. Nun beginnt man mit der eigentlichen Prüfung. Aus dem Lehm wird nun eine Rolle geformt mit einem Durchmesser von 25mm und einer Länge von 200mm und diese dann auf einen Tisch abgelegt. Danach schiebt man die Rolle vorsichtig über die Tischkante, und zwar solange bis diese reißt. Wenn dies bei weniger als 80mm der Fall ist, so enthält der Lehm zu wenig Tonanteile. Reißt sie erst nach 120mm, dann ist der Tonanteil zu hoch. Mit diesem Test kann für den Stampflehmbau der optimale Tongehalt für den Baulehm eingestellt werden.³⁷¹

Schneideversuch

Bei diesem Versuch wird eine erdfeuchte Probe mit einem Messer durchschnitten. Ist das Erscheinungsbild der Schnittfläche glänzend, so weist dies auf einen tonigen Lehm hin. Ist diese jedoch stumpf, so handelt es sich um Schluff oder tonig-sandigen Schluff, der eine geringe Plastizität aufweist. Gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1 kann dieser Versuch dann durchgeführt werden, wenn die Oberfläche der Probe mit einem Fingernagel eingeritzt oder geglättet werden kann.³⁷²

³⁷⁰ ASTM E 2392:2010, Bild 2

³⁷¹ Vgl. ZW HS 983:2014, Anhang A

³⁷² Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Nationaler Anhang NC.6; Lehmbau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.

Reibeversuch

Die ÖNORM EN ISO 14688-1 beschreibt sehr detailliert, wie unterschiedlich griffig ein feinkörniger Boden sein kann. Ton fühlt sich demnach glatt an und erscheint beim Verschmieren glänzend. Dieses glänzende Erscheinungsbild nimmt mit zunehmendem Schluffanteil ab. Zum Unterschied vom Ton fühlt sich Schluff „*seidig*“ an.³⁷³ Die Lehm-Regeln kennen ebenfalls diesen Versuch. Hier wird das Anzeichen auf tonigen Lehm so beschrieben, dass sich dieser „*seifig*“³⁷⁴ anfühlt und an den Fingern kleben bleibt. Auch im trockenen Zustand lässt sich dieser ohne Abwaschen nur schwer entfernen.

Walzentest („Zähigkeit“ oder „Knetversuch“)

Eine weitere Methode, um eine Aussage über die Plastizität treffen zu können, wird im Knetversuch in der ÖNORM EN ISO 14688-1 beschrieben. Dazu wird eine Lehmprobe in eine längliche Form gebracht und danach mit der Hand auf einer glatten Oberfläche zu einer Walze mit einem Durchmesser von 3mm ausgerollt. Das Ergebnis bei der Herstellung dieser Walze liefert einen Aufschluss über die Plastizität des Lehms. Kann etwa unabhängig vom Wassergehalt keine Walze gerollt werden, so ist der Boden nicht plastisch. Auf der anderen Seite, wenn viel Zeit für das Rollen und Kneten des Lehms gebraucht wird und eine Walze mehrmals gerollt werden kann, so ist der Boden hoch plastisch.³⁷⁵

Analyse:

Tabelle 17 – Untersuchung der Plastizität des Baulehms im Feld

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
ASTM E 2392	Bandversuch	Band so lange wie eine Hand ohne zu reißen	k	Ja
LB-Regeln	Schneideversuch	Glänzt die Schnittfläche → hoher Tonanteil	k	Nein
	Reibeversuch	Lehm fühlt sich seifig an, bleibt auf der Hand kleben und ist nur schwer abwaschbar → hoher Tonanteil		
NTE E.080	Bandversuch	Zylinder mit D=12mm, Länge=Handbreite aus diesem ein 4mm dickes Band	t,s, k	Ja

³⁷³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Abschnitt A.3.6. Dieser Versuch wird in der ISO-Norm mit „*Griffigkeit*“ bezeichnet. Im Nationalen Anhang zu dieser Norm wird dieser auch als „*Reibeversuch*“ tituliert.

³⁷⁴ Vgl. Lehm-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3; Nach ÖNORM EN ISO 14688-1 ist „*seifig*“ auch ein Hinweis auf organische Anteile im Lehm.

³⁷⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Anhänge A.3.3 und A.3.4. Dieser Abschnitt wird in der ISO-Norm mit „*Zähigkeit*“ und im Nationalen Anhang dieser Norm als „*Knetversuch*“ bezeichnet.

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

		Bandlänge=20-25cm toniger Lehm, Bandlänge 10cm sandiger Lehm		
ZW HS 983	Bandversuch	Zylinder mit D =25mm, Länge=200mm Tonanteil optimal, wenn Rolle zwischen 80 und 120mm reißt	t	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 14688-1	Schneideversuch	Glänzt die Schnittfläche → hoher Tonanteil	-	
	Reibeversuch	Lehm fühlt sich glatt an und glänzt → hoher Tonanteil	-	
	Walzentest (Bandversuch)	D=3mm; kann <ul style="list-style-type: none"> keine Walze gerollt werden: nicht plastisch Mehrere Walzen: hoch plastisch 	-	

Zur Untersuchung des Baulehms auf dessen Plastizität gibt es in den Normen eine Reihe von einfachen Prüfmethode. Ein Baulehm ist dann plastisch, wenn dieser einen hohen Tonanteil aufweist. Damit liefern diese Prüfverfahren auch eine Aussage über die Zusammensetzung des Baulehms und des Weiteren einen Rückschluss auf den vorhandenen Wassergehalt, der wiederum ein wichtiges Element darstellt, um die Festigkeit von Lehmbauteile zu optimieren. Im Wesentlichen gibt es für die Untersuchung drei unterschiedlichen Methoden: Reibeversuch, Schneideversuch und der am häufigsten zur Anwendung kommende Bandversuch.

4.2.5 Wassergehalt

Der optimale Wassergehalt stellt einen wesentlichen Parameter dar, um ein Maximum an Verdichtung des Baulehms zu erreichen, das schließlich zu einer bestmöglichen Festigkeit beispielsweise von einer Stampflehmwand führt. Deshalb ist es gerade für diesen Parameter wichtig, eine einfache Versuchsform für die Baustelle zu besitzen, um so laufend den Baulehm auf dessen Brauchbarkeit prüfen zu können. Der typische Test dafür ist der sogenannten „Falltest“. Dieser Test wird in den Normen NTE E.080, ZW HS 983 und NZS 4298 näher beschrieben. Dabei wird aus feuchtem Baulehm eine Kugel geformt und aus einer bestimmten Höhe auf einen festen und glatten Untergrund fallen gelassen. Abhängig davon, wie die Probe zerfällt, kann ein Rückschluss auf den Feuchtegehalt des Baulehms gezogen werden (siehe dazu Tabelle 18 und Abbildung 26).³⁷⁶

³⁷⁶ Vgl. NTE E.080:2017, Anhang 3; ZW HS 983:2014, Anhang B und NZS 4298:1998, Anhang G



Abbildung 26 – links: Falltest gemäß NTE E0.080 bzw. rechts: nach ZW HS 983 bzw. NZS 4298³⁷⁷

Analyse:

Alle drei Normen zeigen einen fast gleichen Prüfablauf, wie der Wassergehalt im Feld relativ einfach und rasch ermittelt werden kann. Mit dieser Methode wird sichergestellt, dass durch das optimale Einstellen des Wassergehaltes auch eine optimale Festigkeit im fertigen Lehmbauteil erreicht werden kann.

Tabelle 18 – Wassergehalt im Feld

LB-Normen	Prüf-methode	Ø [mm]	Fallhöhe [m]	Ergebnis	Kz	Er
NTE E.080	Falltest	Faust	1,1	Zerfällt die Probe: <ul style="list-style-type: none"> • vollkommen: zu trocken • in fünf Teile: ideal • nicht: zu feucht 	t,s,k	Ja
ZW HS 983	Falltest	40	1,5	Zerfällt die Probe in: <ul style="list-style-type: none"> • viele Teile: zu trocken • wenige Teile: ideal • nicht od. 2-3Teile: zu feucht 	t	Nein
NZS 4298	Falltest	Faust	1,5		s,k	Ja

4.2.6 Bindekraft

Unter der Bindekraft (oder auch Kohäsion genannt) versteht man die zusammenhaltenden Kräfte in einem Boden, die ab einem bestimmten Tonanteil hervorgerufen werden und wesentlich für den Baulehm sind.

Eine sehr einfache Methode zur ersten Einschätzung dieser Bindekraft beschreiben die Lehmbau-Regeln. Dabei wird erdfeuchter Lehm mit den Händen zu mehreren Kugeln mit einem Durchmesser

³⁷⁷ NTE E.080:2017, Anhang 3; ZW HS 983:2014, Bild 14 und NZS 4298:1998, Bild G1

von etwa 5cm geformt. Klebt beim Formen der Kugel der Lehm an den Händen, so ist dies ein Anzeichen, dass es sich um einen Lehm mit hohem Tonanteil, also fetten Lehm, handelt. Ein Lehm, der zu mager ist, also ohne ausreichenden Tonanteil, lässt sich nicht zu einer Kugel formen oder er zerbröckelt nach dem Trocknen.³⁷⁸

Um die Haftfestigkeit des Bodens zu überprüfen, kennt die ÖNORM EN ISO 14688-1 ebenfalls einen einfachen Handtest. Dafür wird eine Kugel mit einem Durchmesser von 25mm geformt und anschließend zwischen den Fingern zusammengedrückt. Ein Ton neigt dazu plastisch zu verformen, während ein Schluff eher zum Zerschneiden tendiert.³⁷⁹

Analyse:

Tabelle 19 – Ermittlung der Bindekraft im Feld

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
LB-Regeln	Kugelformprobe	Ø=5cm: klebt beim Formen → hoher Tonanteil	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 14688-1	Kugelformprobe	Ø=2,5cm: Kugel verformt sich plastisch → hoher Tonanteil		

Beide Normen beschreiben eine weitere Methode, um das Verhältnis von Ton zu Sand in einem Baulehm einfach abschätzen zu können. Dabei wird eine Kugel in den beiden genannten Normen mit unterschiedlichem Durchmesser geformt und anschließend durch dessen Verhalten festgestellt, ob der Tonanteil ausreichend hoch für den Lehmbau ist.

4.2.7 Festigkeitsprüfung

Die Norm IS 13827 kennt eine einfache Methode, um die Festigkeit von einem Lehmziegel nachzuweisen. Dieser Test wird an einem Lehmziegel mit den Abmessungen von 380x250x110mm durchgeführt, der nach dessen Herstellung für vier Wochen getrocknet wurde. Nach Ablauf der Trocknung sollte der Lehmziegel, wie in Abbildung 27 dargestellt, ein Personengewicht zwischen 60 und 70kg tragen können. Bricht der Ziegel, so ist entweder der Tongehalt zu erhöhen oder eine faserige Bewehrung (z.B. Stroh) in den Lehm unterzumischen.³⁸⁰

³⁷⁸ Vgl. Lehmbau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3

³⁷⁹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Anhang A.3.8.

³⁸⁰ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 6.3

Ebenso eine einfache Möglichkeit, um Lehmziegel auf dessen Festigkeit zu prüfen, liefert NZS 4298. Dabei wird ein nach vier Wochen getrockneter Lehmziegel aus einer Höhe von 90cm auf eine ebene Prüffläche fallen gelassen. Der Lehmziegel weist dann eine ausreichende Festigkeit auf, wenn dieser weder in zwei große Teile zerfällt noch die größte Bruchstelle länger als 10cm ist. Weitere Tests, die in NZS 4298 für die Festigkeitsprüfung angeführt werden, sind etwas aufwendiger und benötigen auch Hilfsmitteln bzw. Gerätschaften, jedoch können diese auch als Feldversuch herangezogen werden. Diese Tests werden in dieser Arbeit im Abschnitt 4.3.6.2 „Ermittlung der Baulehmeigenschaften in Laborversuchen“ eingereicht.³⁸¹

Analyse:

Tabelle 20 – Festigkeitsprüfung am Lehmziegel im Feld

LB-Normen	Prüfmethode	Prüfkörper [mm]	Prüflast	Trocknungs-dauer	Kz	Er
IS 13827	Lehmziegelbruch	380x250x110	60-70kg	4 Wochen	t,s	Ja
NZS 4298	Lehmziegel-Falltest	k.A.	Fallhöhe=90cm	4 Wochen	s,k	Ja

Die Abbildung 27 zeigt zum einen die Prüfung des Lehmziegels nach IS 13827 und zum anderen nach NZS 4298. Die Prüfmethode nach IS 138237 stellt eine unkomplizierte Methode dar, um rasch den Lehmziegel auf seine Biegezugfestigkeit zu überprüfen. Mit der Gleichung (4-1) lässt sich die Biegezugfestigkeit für den Lehmziegel mit den Abmessungen 380x250x110mm wie folgt ermitteln:

$$\sigma_{BZ} = 1,5 \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \tag{4-1}$$

Nachweis gemäß IS 13827:

F = 70kg ≈ 700N, l = 250mm, b = 250mm, d = 110mm → $\sigma_{BZ} = 0,09\text{N/mm}^2$

Es bedeutet:

- σ_{BZ} Biegezugfestigkeit, in N/mm²
- F auf den Prüfkörper aufgebrachte Höchstlast, in N
- l Abstand zwischen den Auflagerflächen, in mm
- b Breite des Prüfkörpers, in mm
- d Höhe des Prüfkörpers, in mm.

Dabei stellt sich heraus, dass mit $\sigma_{BZ} = 0,09\text{N/mm}^2$ dieser Wert knapp unter dem Grenzwert für die Biegezugfestigkeit liegt, wie dies etwa nach NZS 4297:1998, Tabelle 4.1 gefordert wird³⁸². Erhöht man jedoch etwa die Prüfkraft auf 100kg, so ergibt sich dann eine vorhandene Biegezugfestigkeit von

³⁸¹ Vgl. NZS 4298:1998, Anhang H bzw. Anhang J für Labortests

³⁸² Ebda Tabelle 4.1: $f_{et} = 0,1\text{N/mm}^2$

0,12N/mm² und damit einen erfolgreichen Festigkeitsnachweis nach NZS 4297. Nach dieser Norm kann dann auch die Druckfestigkeit abgeschätzt werden, die dem 3,5-fachen der Biegezugfestigkeit entspricht.³⁸³

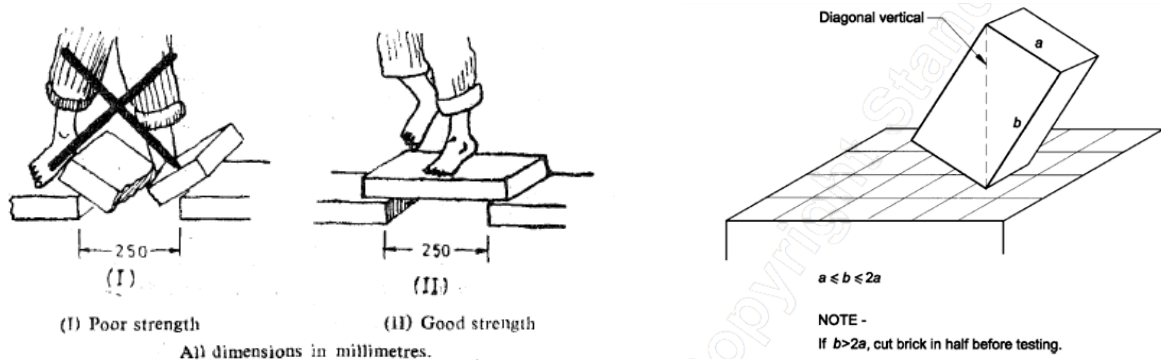


Abbildung 27 – links: Festigkeitstest nach IS 13827 und rechts: Falltest nach NZS 4298³⁸⁴

4.2.8 Organischer Anteil

Damit Lehm für die diversen Lehmbautechniken verwendet werden kann, ist es notwendig, dass dieser frei von organischen Anteilen ist.

Eine einfache Bestimmung zur Prüfung, ob Lehm einen organischen Anteil aufweist, wird im Nationalen Anhang der ÖNORM EN ISO 14688-1 mit dem Riechversuch beschrieben. Riecht ein Boden im frisch-feuchten Zustand modrig, das sich beim Erhitzen der feuchten Probe noch verstärkt, so weist dies auf einen erhöhten organischen Anteil im Boden hin. Nach dieser Norm bewirkt das Anfeuchten eines trockenen, anorganischen Tones einen erdigen Geruch.³⁸⁵

Eine weitere Methode nach ÖNORM EN ISO 14688-1 stellt der Reibeversuch dar, mit dem auch das Vorhandensein von organischem Anteil überprüft werden kann. Fühlt sich der Boden dabei seifig an, so kann dies ein Hinweis darauf sein.³⁸⁶

³⁸³ Vgl. Ebda 4.5.2: $f_e = 3,5 \times f_{et}$, wobei f_e die Druckfestigkeit und f_{et} die Zugfestigkeit bedeutet.

³⁸⁴ IS 13827:1993, Bild 2; NZS 4298:1998, Bild H1

³⁸⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Nationale Anhang NC.7

³⁸⁶ Vgl. Ebda Abschnitt A.3.6

Die Lehmbau-Regeln enthalten zwei Methoden für die Bestimmung von organischem Anteil im Boden. Ein erster Hinweis auf Humusanteile kann die Färbung des Bodens liefern. Ist die Färbung dunkel, so ist dies ein erstes Indiz darauf, dass sich organische Anteile im Boden befinden. Wie im nationalen Anhang der ÖNORM EN ISO 14688-1 beschrieben, kennt auch die Lehmbau-Regel in gleicher Weise die Bestimmungsmöglichkeit von organischen Anteilen durch den Riechversuch.³⁸⁷

Analyse:

Tabelle 21 – Prüfung des organischen Anteils im Baulehm

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
LB-Regeln	Riechversuch	Humusgeruch: organischer Anteil	k	Nein
	Farbbestimmung	Dunkler Boden: organischer Anteil	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 14688-1	Riechversuch	Modriger Geruch: organischer Anteil Erdiger Geruch: anorganischer Anteil	-	
	Reibeversuch	Seifiger Boden: organischer Anteil	-	

Zur Abschätzung, ob der Boden einen organischen Anteil enthält, stehen drei unterschiedliche Methoden zur Verfügung, die sehr einfach durchzuführen sind. Neben der wohl gebräuchlichsten Methode des Riechversuches, liefert die Bodenfarbe und wie sich Lehm beim Verreiben anfühlt einen ersten Hinweis, ob der Boden für den Lehmbau verwendbar ist.

Stellt sich im Zuge der oben beschriebenen Überprüfung heraus, dass der Lehm einen organischen Anteil enthält, so ist dieser als Baulehm nach den Lehmbau-Regeln unbrauchbar.

4.2.9 Kalkgehalt

Kalk kann prinzipiell auf zwei Arten im Baulehm vorliegen. So kann der Lehm selbst einen natürlichen Kalkanteil aufweisen oder der Baulehm wird mit Kalk als Zusatzstoff angereichert.

Ein zu hoher natürlicher Kalkanteil im Baulehm führt dazu, dass die Bindekraft herabgesetzt wird. Daher ist dieser im Baulehm zu vermeiden. Der Kalkgehalt wird durch das Betropfen einer Bodenprobe durch eine verdünnte Salzsäure bestimmt.³⁸⁸ Anstelle von Salzsäure kann auch

³⁸⁷ Vgl. Lehmbau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3; Bis auf die Bestimmung des Humusanteils hat die Färbung des Lehms für die Verwendbarkeit des Bodens keine weitere Bedeutung. Gemäß Lehmbau-Regeln kann dies von grau, gelbbraun, lehm Braun, rotbraun bis rot reichen.

³⁸⁸ Vgl. Lehmbau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3

konzentrierter Haushaltssessig verwendet werden.³⁸⁹ Zur Verwendung von Baulehm mit natürlichen Kalkgehalt hält Minke Folgendes fest: *„Kalkhaltige Lehme sehen in der Regel weisslich aus, haben eine geringe Bindekraft und sind deshalb ungeeignet für den Lehm bau.“*³⁹⁰ In diesem Zusammenhang halten jedoch Röhlen/Ziegert fest:

*„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.“*³⁹¹

Neben dem natürlichen Kalkgehalt kann der Baulehm auch durch die Zugabe von reaktivem Kalk³⁹² einen Einfluss auf dessen Festigkeitseigenschaften aufweisen, dies wird von Röhlen/Ziegert wie folgt beurteilt:

*„Nicht zu verwechseln sind die hier beschriebenen Prozesse mit den Effekten, die am Lehmbaustoff mit der Zugabe von reaktivem Kalk als Bindemittel (Calciumhydroxid) ausgelöst werden. Im Gegensatz zum natürlichen Kalkgehalt führt die Zugabe von reaktivem Kalk zu erheblichen Wechselwirkungen mit den Tonmineralen und u. U. zur negativen Beeinflussung der Festigkeitseigenschaften.“*³⁹³

Diese Aussage wird auch von Minke bestätigt: *„Wie im folgenden beschrieben wird, kann die Druckfestigkeit des Lehms durch Zusatz von Kalk oder Zement jedoch auch abnehmen, insbesondere wenn diese Zusätze weniger als 5% betragen.“*³⁹⁴

In den Diplomarbeiten von Trojan und Stummer konnte über Versuche ebenfalls nachgewiesen werden, dass die Bindekraft durch die Zugabe von Kalk in der Regel herabgesetzt wird. In diesem Zusammenhang hält Trojan folgendes fest:

³⁸⁹ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 24

³⁹⁰ Minke 2009, S. 38

³⁹¹ Röhlen/Ziegert 2020, S. 25; Röhlen/Ziegert vergleichen dies mit den Tropfsteinhöhlen, wo aus einer kalkhaltigen Lösung Stalagmiten und Stalaktiten entstehen.

³⁹² Durch die Zugabe von Kalk wird der Baulehm zu einem stabilisierten Lehmbaustoff, der jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit ist.

³⁹³ Röhlen/Ziegert 2020, S. 25

³⁹⁴ Minke 2009, S. 87

„Kalk als Zugabe, ist ein weit verbreiteter Zusatzstoff, speziell bei Lehmörtel. Leider bewirkt Kalk in den meisten Fällen keine Verbesserung des Lehmes. Er hat die Eigenschaft, die Bindekraft des Tones teilweise aufzuheben. [...] Bei den meisten Lehmarten und Dosierungen werden die Bauteile durch Kalkzugabe porös und brüchig.“³⁹⁵

Stummer führte in diesem Zusammenhang mehrere Versuchsserien durch, in denen sie den Baulehm mit unterschiedlichen Mengen an Kalk durchmischte und anschließend die Festigkeitswerte mit jenen des Baulehm ohne Zusatz verglich. Dabei konnte sie Folgendes feststellen:

„Durch die Kalkzugabe wurde die Lehmmischung sehr trocken und bröselig. [...] Die Druckfestigkeitswerte der 5% und 10% Serien lagen durchschnittlich 55% unterhalb der Vergleichswerte von Lehm ohne Zusatz, bei den Biegezugfestigkeitswerten waren es sogar 65%.“³⁹⁶

Für die Untersuchung des natürlichen Kalkgehaltes kennt auch die ÖNORM EN ISO 14688-1 eine Prüfmethode. Nach dieser Norm wird dafür eine 10%ige Salzsäure (dies entspricht einer Stoffmengenkonzentration von 3,6mol/L) verwendet und in den Lehm-Bau-Regeln ist dies eine Mischung aus Wasser mit Salzsäure unter einem Mischungsverhältnis von 3:1. Je stärker durch das Betropfen mit Salzsäure die Bodenprobe aufbraust, desto höher ist der Kalkgehalt des Lehms.³⁹⁷

Analyse:

Tabelle 22 – Prüfung des Kalkgehalts im Baulehm

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
LB-Regeln	Salzsäure	Verhältnis Wasser zu Salzsäure von 3:1	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 14688-1	Salzsäure	10%ige Salzsäure	-	-

Dies ist eine sehr einfache und effektive Methode, um ausschließen zu können, dass der vorhandene Baulehm einen zu hohen natürlichen Kalkgehalt aufweist. Im Versuchsablauf sind beide Verfahren ident und unterscheiden sich nur in der Stärke der verwendeten Salzsäure.

³⁹⁵ Martin Trojan. *Auswirkungen durch Beimischen von Zusatzstoffen auf die Druckfestigkeit von Lehmstoffen*. Wien: Diplomarbeit (TU Wien), 2007, S. 47

³⁹⁶ Astrid Stummer. *Maßnahmen zur Vermeidung der Druckfestigkeitsverluste bei Lehmsteinen in feuchten Klimaten*. Wien: Diplomarbeit (TU Wien), 2007, S. 101

³⁹⁷ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.3, Röhlen/Ziegert 2020, S. 25 und ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Abschnitt 6.1.9

4.3 Ermittlung der Baulehmeigenschaften in Laborversuchen

Im folgenden Abschnitt werden jene Normen näher vorgestellt, die für die Ermittlung der Baulehmeigenschaften in Laborversuchen verwendet werden können.³⁹⁸

4.3.1 Korngrößenverteilung

Im Labor wird die Kornverteilungskurve oder auch Sieblinie nach der ÖNORM EN ISO 17892-4 bestimmt.

Anwendungsbereich:

„[...] Dieser Teil von ISO 17892 ist auf die labortechnische Bestimmung der Korngrößenverteilung von Bodenproben durch Siebung oder Sedimentation oder auf eine Kombination beider innerhalb des Anwendungsbereichs geotechnischer Untersuchungen anwendbar.

Die Korngrößenverteilung ist eine der wichtigsten physikalischen Kenngrößen eines Bodens. Die Klassifikation von Böden beruht in der Hauptsache auf der Korngrößenverteilung. Viele geotechnische und geohydraulische Eigenschaften von Böden sind abhängig von der Korngrößenverteilung.

Die Korngrößenverteilung ermöglicht eine Beschreibung des Bodens auf der Grundlage von Unterteilungen in bestimmte Klassen von Korngrößen. Die Größe jeder Klasse kann durch Siebung und/oder durch Sedimentation bestimmt werden. Grobkörnige Böden werden im Normalfall mittels Siebung analysiert, feinkörnige Böden und gemischtkörnige Böden hingegen, in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Bodens, im Allgemeinen durch eine Kombination aus Siebung und Sedimentation.

Das beschriebene Siebverfahren kann bei allen nicht zementierten Böden mit Korngrößen von weniger als 125 mm angewendet werden. Zwei Sedimentationsverfahren werden beschrieben: das Aräometerverfahren und das Pipettenverfahren.“³⁹⁹

Dabei werden auf einer logarithmischen Skala die unterschiedlichen Korngrößen bezogen auf dessen Anteil auf die Gesamtmasse des Bodens aufgetragen. Die so ermittelte Kurve liefert dabei bereits einen ersten Hinweis über die Eignung des Bodens für den Lehmabbau. Diese kann man dann noch durch die Zugabe von entweder Sand, das als „Abmagern“ des Lehms bezeichnet wird, oder Tonmineralen, das man „Auffetten“ nennt, verändern.

³⁹⁸ Vgl. ÖNORM EN 16907-2:2019, Anhang A; Dieser Anhang enthält eine Liste maßgebender Versuchsnormen für Erdarbeiten, die auch teilweise für den Lehmabbau von Interesse sind. In der Regel handelt es sich dabei um einzelne Teile der Normenreihen ÖNORM EN ISO 17892.

³⁹⁹ ÖNORM EN ISO 17892-4:2017, Abschnitt 1

Die Abbildung 28 zeigt den prinzipiellen Ablauf zur Ermittlung der Kornverteilungskurve für eine Bodenprobe. Dazu stehen zwei Verfahren zur Verfügung. Für Körner, dessen Durchmesser größer als 0,063mm ist, wird das Siebverfahren angewendet und für die, die kleiner als 0,063mm sind, das Sedimentationsverfahren (in der Regel das Aräometerverfahren). Aus diesem Grund wird zunächst die Bodenprobe von den feinkörnigen Bestandteilen abgetrennt. Dafür wird die Probe im Trocknungssofen bei 105°C bis zur Massenkonstanz getrocknet, abgewogen und der Wassergehalt bestimmt. Daraufhin wird die Probe wieder mit Wasser angereichert und durch ein Feinsieb mit der Maschenbreite von 0,063 gesiebt. Der Siebdurchgang wird aufgefangen und der Siebrückstand erneut durch das Feinsieb gesiebt. Dieser Vorgang wird so lang wiederholt, bis der Siebdurchgang nur mehr reines Wasser darstellt.

Nun wird der Siebrückstand bei 105°C getrocknet und anschließend mit den unterschiedlichen Sieben die jeweiligen Gewichtsanteile für jede Korngröße bestimmt. ÖNORM EN ISO 17892-12 empfiehlt dazu Siebe mit den Größen 63mm, 20mm, 6,3mm, 2,0mm, 0,63mm, 0,2mm und 0,063mm.

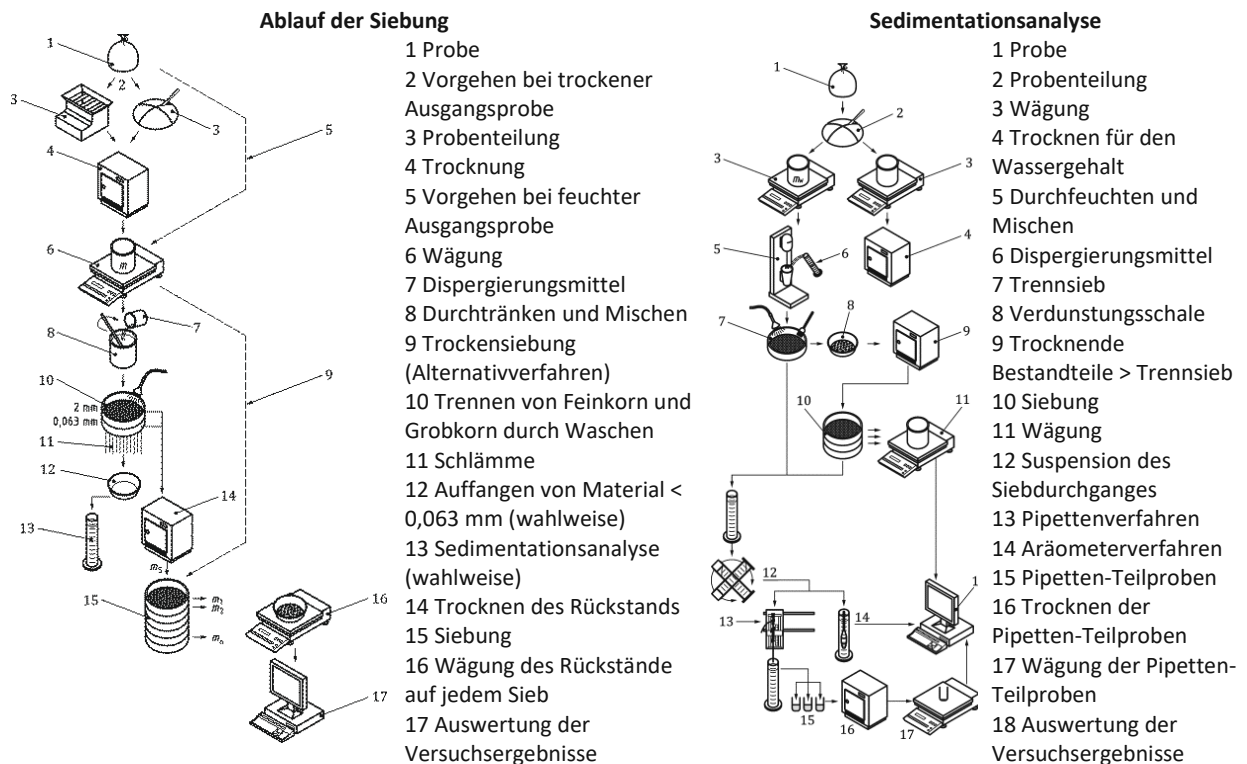


Abbildung 28 – Schematische Darstellung des Prüfungsablaufes zur Ermittlung der Korngrößenverteilung⁴⁰⁰

⁴⁰⁰ Ebda Bild 1 und Bild 3

Für die Auswertung der Siebung wird der Massenanteil für jeden Siebdurchgang mit Gleichung (4-2) bestimmt. Dieser wird dann in das Korngrößenverteilungs-Diagramm aufgetragen, indem auf der Abszisse in logarithmischer Darstellung der Korndurchmesser eingetragen wird und in der Ordinate der jeweilige zur Korngröße zugehörige Massenanteil.

$$f_n = 100\% - \sum_{i=1}^i \frac{m_{ssi}}{m} \cdot 100\% \quad (4-2)$$

Es bedeutet:

f_n	Siebdurchgang für eine gegebene Siebgröße n , in %
m_{ssi}	Masse der Siebrückstände, in g
m	Gesamtrockenmasse der anfänglichen Bodenprobe, in g

Die Feinanteile des Siebdurchganges werden in der Regel durch das Aräometerverfahren ausgewertet. Unter Grundlage des Gesetzes von Stokes⁴⁰¹, das besagt, dass Körner mit unterschiedlicher Korngröße unterschiedliche Sinkgeschwindigkeiten aufweisen und so sich die Dichte der Suspension unterschiedlich verändert, wird nun die Kornverteilung der Feinanteil ermittelt und nach Gleichung (4-3) für die unterschiedlichen äquivalenten Korndurchmesser bestimmt. Damit kann die komplette Kornverteilungskurve aufgetragen werden. Die Abbildung 29 zeigt ein typisches Beispiel für eine Sieblinie für einen Lehmziegel.

$$d_i = 0,005531 \sqrt{\frac{\eta \cdot H_r}{(\rho_s - \rho_w) \cdot t}} \quad (4-3)$$

Es bedeutet:

d_i	äquivalente Korndurchmesser, in mm
η	dynamische Viskosität des Wassers bei Versuchstemperatur, in mPa·s
H_r	Tauchtiefe des Aräometers, in mm
ρ_s	Korndichte, in Mg/m ³
ρ_w	Dichte der Sedimentationsflüssigkeit bei Versuchstemperatur, in Mg/m ³
t	Dauer seit Beginn der Sedimentation, in min

In den Lehm bau-Regeln wird für die Ermittlung der Kornverteilung im Labor auf DIN 18123 verwiesen. Diese Norm wurde jedoch 2017 zurückgezogen und durch EN ISO 17892-4 ersetzt. Damit gilt auch für diese Lehm baunorm nun die internationale Norm EN ISO 17892-4. Ferner liefern die Lehm bau-Regeln eine Vorgabe, für welchen Bereich die Sieblinie für den Lehm bau von Interesse ist.

⁴⁰¹ Sir George Gabriel Stokes (1819-1903) war englischer Mathematiker und Physiker und lehrte als Professor der Mathematik an der Universität Cambridge.

Da der Baulehm nur bis zum Feinkies reichen soll, genügt es eine detaillierte Siebabstufung bis zur Korngröße von 2,0mm vorzunehmen.⁴⁰²

Mit der nun ermittelten Korngrößenverteilung kann nun eine Benennung bzw. Einteilung des Bodens nach Tabelle 1 der ÖNORM EN ISO 14688-1:2018 vorgenommen werden. Diese Norm unterscheidet zwischen drei verschiedenen Bodengruppen: sehr grobkörniger Boden, grobkörniger Boden und feinkörniger Boden. In der nachfolgenden Tabelle 23 werden diese Bodengruppen aufgelistet und dazu die einzelnen Bezeichnungen für die Korngrößenfraktion inklusive deren Symbol, sowie der dazugehörige Korngrößenbereich angegeben. Für den Lehmabau ist im Wesentlichen der Bereich vom Ton bis zum Feinkies von Relevanz.

Tabelle 23 – Korngrößenfraktionen nach ÖNORM EN ISO 14688-1⁴⁰³

Bodengruppe	Korngrößenfraktionen (Symbol)	Korngrößenbereich [mm]
sehr grobkörniger Boden	großer Block (IBo, en: large boulder)	> 630
	Block (Bo, en: boulder)	> 200 und ≤ 630
	Stein (Co, en: cobble)	> 63 und ≤ 200
grobkörniger Boden	Kies (Gr, en: gravel)	> 2,0 und ≤ 63
	<i>Grobkies (cGr, en: coarse gravel)</i>	> 20 und ≤ 63
	<i>Mittelkies (mGr, en: medium gravel)</i>	> 6,3 und ≤ 20
	<i>Feinkies (fGr, en: fine gravel)</i>	> 2,0 und ≤ 6,3
	Sand (Sa, en: sand)	> 0,063 und ≤ 2,0
	<i>Grobsand (cSa, en: coarse sand)</i>	> 0,63 und ≤ 2,0
	<i>Mittelsand (mSa, en: medium sand)</i>	> 0,20 und ≤ 0,63
	<i>Feinsand (fSa, en: fine sand)</i>	> 0,063 und ≤ 0,20
feinkörniger Boden	Schluff (Si, en: silt)	> 0,002 und ≤ 0,063
	<i>Grobschluff (cSi, en: coarse silt)</i>	> 0,02 und ≤ 0,063
	<i>Mittelschluff (mSi, en: medium silt)</i>	> 0,0063 und ≤ 0,02
	<i>Feinschluff (fSi)</i>	> 0,002 und ≤ 0,0063
	Ton (Cl, en: clay)	≤ 0,002

Über die so aufgetragene Sieblinie können noch weitere Beschreibungen des Bodens vorgenommen werden. Dazu definiert ÖNORM EN ISO 14688-2 zwei zusätzlichen Bezeichnungsgrößen: die Ungleichförmigkeitszahl C_U und die Krümmungszahl C_c . Diese beiden Zahlen werden nach den Gleichungen (4-4) und (4-5) berechnet:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4-4)$$

⁴⁰² Lehmabau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.4

⁴⁰³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Tabelle 1

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10} \cdot D_{60})} \quad (4-5)$$

Es bedeutet:

- C_u Ungleichförmigkeitszahl⁴⁰⁴
- C_c Krümmungszahl⁴⁰⁵
- D_{60} Korndurchmesser, die der Ordinate 60% Massenanteil der Korngrößensummenkurven entspricht
- D_{30} Korndurchmesser, die der Ordinate 30% Massenanteil der Korngrößensummenkurven entspricht
- D_{10} Korndurchmesser, die der Ordinate 10% Massenanteil der Korngrößensummenkurven entspricht

Mit den so gewonnenen Zahlen kann nach ÖNORM EN ISO 14688-2 eine weitere Beschreibung über die Form der Sieblinie vorgenommen werden, wie dies die Tabelle 24 zeigt.

Tabelle 24 – Formen der Körnungslinie nach ÖNORM EN ISO 14688-2⁴⁰⁶

Bezeichnung	C_u	C_c
gleichmäßig gestuft	< 3	< 1
eng gestuft	3 bis 6	< 1
mäßig gestuft	6 bis 15	< 1
weit gestuft	> 15	1 bis 3
intermittierend gestuft	> 15	< 0,5

Analyse:

Tabelle 25 – Ermittlung der Korngrößenverteilung im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
LB-Regeln	Siebverfahren	Siebung bis 2,0mm	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 17892-4	Siebverfahren	für $d > 0,063\text{mm}$: Siebe mit 2,0 - 0,63 - 0,2 - 0,063mm		
	Sedimentationsanalyse	für $d < 0,063\text{mm}$: Mit Aräometerverfahren		
EN ISO 14688	Beschreibung	Bodengruppe, Ungleichförmigkeitszahl, Krümmungszahl		

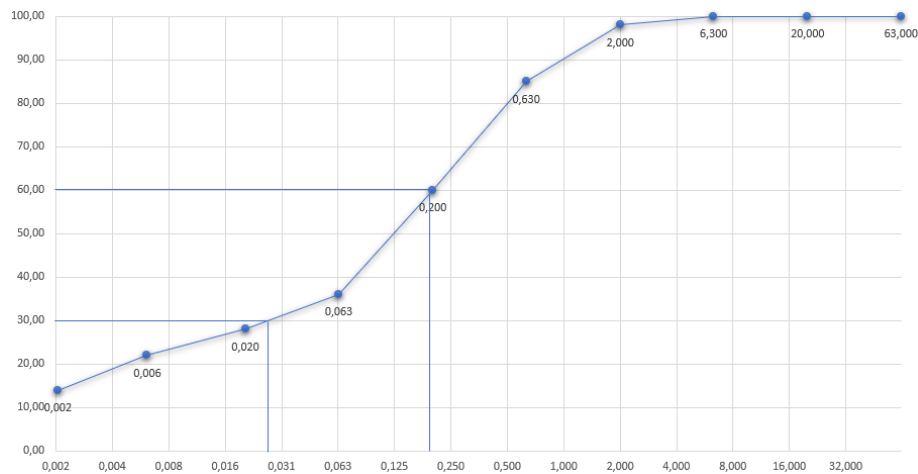
Nach den Lehm-Bau-Regeln wird empfohlen nur bis 2,0mm eine Siebung durchzuführen, da genau in diesem Bereich der für den Lehm-Bau relevante Korngrößenverteilung liegt. Ferner gibt diese Norm den Hinweis, dass zwar mit dem Sedimentationsverfahren die Schluff- und Tonanteile des vorhandenen Baulehms bestimmt werden können, jedoch liefert dies keine Aussage über dessen Plastizität sowie Bindekraft, das jedoch wiederum von entscheidender Relevanz für den Lehm-Bau ist. Abbildung 29 zeigt eine typische Sieblinie für einen Lehmziegel. Mit Hilfe der Krümmungszahl und

⁴⁰⁴ ÖNORM EN ISO 14688-2:2019, Begriff 3.14

⁴⁰⁵ Ebda Begriff 3.1

⁴⁰⁶ Ebda Tabelle 2

Ungleichförmigkeitszahl kann festgestellt werden, dass für Lehmziegel nach den Definitionen von ÖNORM EN ISO 14688-2 die Form der Kurve als typisch „weit gestuft“ zugeordnet werden kann.



Berechnung: $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,2}{0,002} = 100$; $C_C = \frac{D_{30}^2}{(D_{10} \cdot D_{60})} = \frac{0,025^2}{(0,002 \cdot 0,2)} = 1,56$

Abbildung 29 – Typische Sieblinie für einen Lehmziegel⁴⁰⁷

Das Ergebnis einer Kornverteilungskurve darf jedoch nicht als alleinige Eignungsprüfung für den Baulehm herangezogen werden. Dies kann auf Grund folgender Tatsachen zu Fehleinschätzungen des Baulehms führen:

- Für die Bindekraft ist wesentlich, ob es sich um ein Zweischicht- oder Dreischichttonmineral handelt. Diese Unterscheidung kann durch die Schlämmanalyse nicht durchgeführt werden.
- Ferner können etwa bestimmte Tone (zB Kaolinite) einen größeren Durchmesser als 0,002mm aufweisen bzw. Quarz, Feldspäte, Carbonate auch unter 0,002mm groß sein.⁴⁰⁸

4.3.2 Dichte

Die Dichte eines Materials ist neben der Porenstruktur ein wesentlicher Parameter, um eine Aussage über die jeweilige Baustoffeigenschaft treffen zu können. So hat sie einen Einfluss auf die Druckfestigkeit, Wärmedämmung⁴⁰⁹, Wärmespeicherung⁴¹⁰, Dampfdiffusion⁴¹¹ und Schallschutz.

⁴⁰⁷ Darstellung vom Verfasser

⁴⁰⁸ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 21

Für die Dichtebestimmung einer Bodenprobe im Labor⁴¹² wird die ÖNORM EN ISO 17892-2 herangezogen.

Anwendungsbereich:

„Diese Internationale Norm legt folgende drei Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Bodenproben im Labor fest, die Folgendes umfassen:

a) das Verfahren, bei dem ein geometrisch regelmäßiger Probekörper ausgemessen wird (Ausmessverfahren);

b) das Tauchwägeverfahren;

c) das Verfahren mittels Flüssigkeitsverdrängung. [...]

Das Ausmessverfahren eignet sich für die Dichtebestimmung einer Bodenprobe mit regelmäßiger Form, einschließlich der Proben, die für andere Prüfungen erstellt wurden. Die verwendeten Proben sind entweder rechteckige Prismen oder Zylinder mit kreisförmigen Querschnitten.

Beim Tauchwägeverfahren wird die Dichte einer Probe natürlichen oder verdichteten Bodens über eine Massenermittlung in Luft und eine Ermittlung ihrer in Flüssigkeit getauchten Masse bestimmt. Das Verfahren kann angewendet werden, wenn Materialklumpen in passender Größe zur Verfügung stehen.

Beim Flüssigkeitsverdrängungsverfahren wird die Bodendichte einer Probe über eine Massenermittlung in Luft und eine Ermittlung der durch die getauchte Masse verdrängten Flüssigkeit bestimmt. Das Verfahren kann angewendet werden, wenn Materialklumpen in passender Größe zur Verfügung stehen. [...]

Falls benötigt, kann die Trockendichte einer Probe aus der Bodendichte und dem Wassergehalt, wenn bekannt, berechnet werden.“⁴¹³

⁴⁰⁹ Für die Wärmedämmung eines Baustoffes gilt, dass je leichter und mehr Luftporen der Baustoff aufweist, umso größer ist seine Wärmedämmwirkung. Diese wird wiederum durch die Wärmeleitfähigkeit λ ausgedrückt. Zum Beispiel liefert ein Strohleichteilm mit einer Dichte von 750kg/m^3 einen λ -Wert von $0,20\text{W/mK}$.

⁴¹⁰ Die Wärmespeicherfähigkeit Q_s wird durch die Dichte, Bauteildicke und spezifische Wärme bestimmt.

⁴¹¹ Die Dampfdiffusion wird durch die Dampfdiffusionswiderstandszahl μ beschrieben. Diese ist abhängig von der Dichte und der Kornverteilung des Lehms. So ist für einen schluffigen Lehm der μ -Wert um 20% niedriger als bei stark sandigem und stark tonigem Lehm. Vgl. Gernot Minke: *Handbuch Lehm: Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur*, ökobuch, 2009, Abschnitt 2.4.2

⁴¹² ÖNORM B 4414-2, *Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Dichte des Bodens; Feldverfahren* stellt ein Verfahren vor zur Bestimmung der Dichte eines gewachsenen oder geschütteten Bodens, wobei die Auswertung der Bodenprobe wieder im Labor erfolgt.

⁴¹³ ÖNORM EN ISO 17892-2:2015, Abschnitt 1

Im Folgenden wird das Ausmessverfahren nach ÖNORM EN ISO 17892-2 näher vorgestellt. Dieses eignet sich für Probekörper, bei der das Volumen durch Abmessen festgestellt werden kann. Dabei können Proben aus einer Blockprobe geschnitten werden oder es wird ein eigener zylindrischer Probekörper hergestellt. Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, dass durch Wägung des Prüfkörpers und durch das ausgemessene Volumen die Dichte der Probe berechnet wird.⁴¹⁴ Das Volumen, die Bodendichte und die Trockendichte lassen sich dann durch folgende Gleichungen berechnen:⁴¹⁵

$$V = L \cdot W \cdot H \quad \text{bei einem Prisma} \quad (4-6)$$

$$V = \left[\pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot L \right] \quad \text{bei einem Zylinder} \quad (4-7)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{für die Bodendichte} \quad (4-8)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \left(\frac{w}{100} \right)} \quad \text{für die Trockendichte} \quad (4-9)$$

Es bedeutet:

L Länge, in m

W Breite, in m,

H Höhe, in m

d Durchmesser, in m

m Masse der Probe, in kg

V Volumen der Probe, in m³

w Wassergehalt des Bodens, angegeben als prozentualer Anteil der Trockenmasse, in %

Für den Lehm- und Ziegelbau wird in der Regel das Ausmessverfahren herangezogen. So werden nach den Lehm- und Ziegelbau-Regeln für die unterschiedlichen Lehm- und Ziegelbautechniken die verschiedenen Prüfkörpergrößen festgelegt. Für den Stampflehm wird ein Probewürfel mit den Kantenlängen von 20cm verwendet, für den Lehmziegel der Ziegel selbst und für Lehm- und Mörtel ein Probewürfel mit der Kantenlänge von 10cm.⁴¹⁶

Nach DIN 18945, DIN 18946 und DIN 18947 wird die Rohdichte ebenfalls nach dem Ausmessverfahren bestimmt. Gemäß DIN 18945 wird für die Rohdichte der Lehmziegel bis zum Erreichen der Massenkonstanz gelagert und anschließend die Rohdichte bestimmt und gemäß DIN 18946 bzw. DIN 18947 werden zunächst Mörtelprismen mit den Abmessungen nach ÖNORM

⁴¹⁴ Vgl. Ebda Abschnitt 5.1

⁴¹⁵ Vgl. Ebda Abschnitt 6

⁴¹⁶ Vgl. Lehm- und Ziegelbau-Regeln 2009, Abschnitte 3.2.5, 3.7.5 und 3.9.6

EN 1015-11 (160x40x40mm) hergestellt, diese wieder bis zur Massenkonstanz gelagert und danach die Rohdichte ermittelt.

ZW HS 983 beschreibt für den Stampflehmbau ebenfalls ein Verfahren, wie die Dichte bestimmt werden kann.⁴¹⁷ Dabei werden sofort nach Fertigstellung einer Wand aus nichtverwendeten Baulehm drei Probekörper mit den Abmessungen von 150x150x150mm hergestellt, abgewogen und anschließend der Wassergehalt w mittels Ofentrocknung bestimmt. Nun kann die Schüttdichte P_b und die Trockendichte P_a nach den Gleichungen (4-10) und (4-11) von jedem Block berechnet werden.

$$P_b = \frac{\text{ungetrocknete Bodenmasse}}{\text{Volumen des Probewürfels}} \quad (4-10)$$

$$P_a = \frac{100 \cdot P_b}{(100 + w)} \quad (4-11)$$

Es bedeutet:

- P_b Schüttdichte, in kg/m^3
- P_a Trockendichte, in kg/m^3
- w Wassergehalt, in %

Analyse:

Tabelle 26 – Ermittlung der Bodendichte im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
LB-Regeln	Ausmessverfahren	SL: Würfel mit Kantenlängen von 20cm LZ: Ziegel selbst LM: Würfel mit Kantenlängen von 10cm	k	Nein
DIN 18945	Ausmessverfahren	Ziegel nach Erreichen der Massenkonstanz	k	Nein
DIN 18946	Ausmessverfahren	Probekörper: 16x4x4cm	k	Nein
DIN 18947	Ausmessverfahren	Probekörper: 16x4x4cm	k	Nein
ZW HS 983	Ausmessverfahren	SL: Würfel mit Kantenlängen von 15cm	t	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 17892-2	Ausmessverfahren	Probekörper: Prisma oder Zylinder	-	

Als Grundnorm für die Ermittlung der Dichte vom Boden oder einem Probekörper kann ÖNORM EN ISO 17892-2 herangezogen werden. Das in dieser Norm detailliert beschriebene Ausmessverfahren wird auch in den Lehmbaunormen verwendet, die noch zusätzlich Anforderungen für die unterschiedlichen Lehmprüfkörpern enthalten.

⁴¹⁷ Vgl. ZW HS 983:2014, Anhang E

4.3.3 Plastizität

Allgemein kann die Plastizität des Lehms in unterschiedlicher Form vorliegen. Sie reicht dabei von festem über plastischem bis hin zu flüssigem Zustand. Dabei kann der Wassergehalt bei unterschiedlichen Lehmen variieren, obwohl der gleiche Zustandsbereich vorliegt. Ein Lehm der zum Beispiel einen hohen Tongehalt aufweist, braucht mehr Wasser, als ein Lehm dessen Tongehalt niedriger ist, um den gleichen Zustandsbereich aufzuweisen.⁴¹⁸ Damit ist es möglich über die Fließgrenze w_L bzw. die Plastizitätszahl I_P eine Aussage über die Korngrößenverteilung zu treffen.

Die Grundnorm für die Ermittlung der unterschiedlichen Zustandsgrenzen eines Bodens im Labor stellt die ÖNORM EN ISO 17892-12 dar.

Anwendungsbereich:

„Dieses Dokument legt Verfahren zur Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen eines Bodens fest. [...] Dieses Dokument beschreibt die Bestimmung der Fließgrenze an einer natürlichen Bodenprobe oder einer Bodenprobe, bei der die Körner mit einem Korndurchmesser größer als etwa 0,4mm entfernt wurden. [...] Die Bestimmung der Ausrollgrenze erfolgt üblicherweise in Verbindung mit der Bestimmung der Fließgrenze.“⁴¹⁹

In der ÖNORM EN ISO 17892-12 werden folgende wichtige Begriffe für die Anwendung der Norm definiert:⁴²⁰

- Die Fließgrenze w_L ist jener Wassergehalt, bei dem ein Boden vom flüssigen in den plastischen Zustand übergeht und wird in Prozent angegeben.
- Die Ausrollgrenze w_P ist jener Wassergehalt, bei dem eine Bodenprobe bei weiterer Trocknung aufhört, sich plastisch zu verhalten und wird ebenfalls in Prozent angegeben.
- Die Plastizitätszahl I_P ist die Differenz zwischen Fließgrenze und Ausrollgrenze eines Bodens.

Um nun mit den gewonnenen Werten eine einheitliche Beschreibung der Plastizität von feinkörnigem Boden sicherzustellen, wird die ÖNORM EN ISO 14688-2 herangezogen. Diese definiert noch einen weiteren wichtigen Begriff:

⁴¹⁸ Vgl. Minke 2009, Abschnitt 2.3.4

⁴¹⁹ ÖNORM EN ISO 17892-12:2018, Abschnitt 1

⁴²⁰ Vgl. Ebda Begriffe 3.1, 3.2 und 3.3

- Die Konsistenzzahl I_C ist der Verhältniswert der Differenz zwischen der Fließgrenze w_L und dem natürlichem Wassergehalt w und der Plastizitätszahl I_P (siehe Gleichung (4-12)).⁴²¹ Die Konsistenzzahl stellt demnach ein Maß für die Konsistenz des Bodens im durchmischten Zustand dar.

$$I_C = (w_L - w) / I_P \quad (4-12)$$

Es bedeutet:

I_C	Konsistenzzahl
w_L	Fließgrenze, in %
w	Wassergehalt, in %
I_P	Plastizitätszahl, in %

Gemäß EN ISO 17892-12 stehen für die Ermittlung der Fließ- und Ausrollgrenzen zwei Verfahren zur Verfügung: das Fallkegelverfahren und das Verfahren nach Casagrande. Abbildung 30 zeigt eine schematische Darstellung der Prüfmodelle dieser beiden Verfahren.

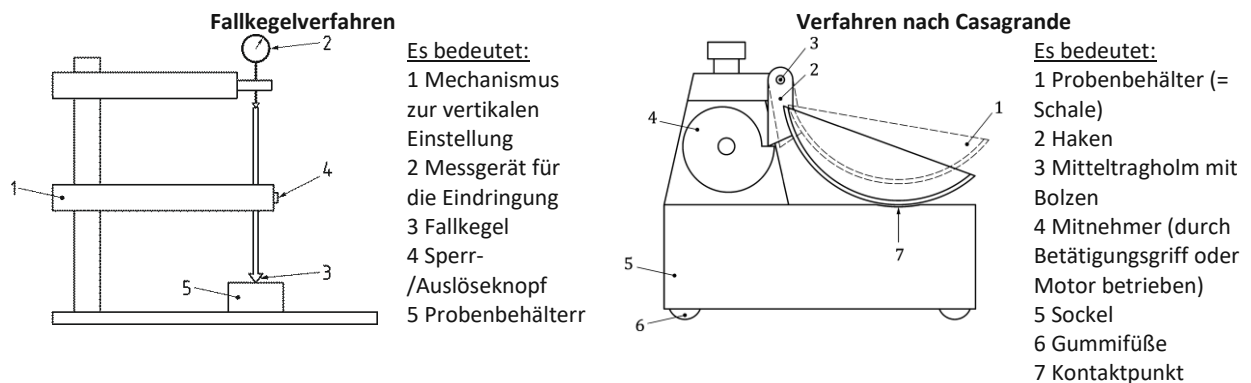


Abbildung 30 – Schematische Darstellung der Prüfmodelle⁴²²

Im Folgenden wird nun gezeigt, wie mit dem Verfahren nach Casagrande zunächst die Fließgrenze ermittelt werden kann und danach die Ausrollgrenze. Für die Ermittlung der Fließgrenze wird die in Abbildung 30 dargestellte Probeschale zu Versuchsbeginn mit der vorbereiteten Bodenprobe gefüllt und anschließend mit einem Furchenzieher senkrecht zur Drehachse bis zum Grund der Schale eine Furche gezogen. Über den Mitnehmer wird nun die Schale so oft angehoben und wieder fallengelassen, bis das durch die Furche getrennte Material auf einer Länge von 10mm wieder zusammengeflossen ist. Die Fließgrenze ist jener Wert, bei der dies genau nach 25 Schlägen eintritt. Da dies sehr aufwendig ist, den Wassergehalt so lange zu variieren bis dieser Fall genau eintritt, wird die Ermittlung mit dem Vierpunktverfahren vorgenommen. Nun wird die Prüfung viermal durchgeführt mit jeweils einem unterschiedlichen Wassergehalt und anschließend die Ergebnisse

⁴²¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14688-2:2018, Begriff 3.3

⁴²² ÖNORM EN ISO 17892-12:2018, Bild 1 und Bild 3

grafisch dargestellt. Auf der Abszisse wird die Anzahl der Schläge aufgetragen und auf der Ordinate der gemessene Wassergehalt. Die vier Punkte werden verbunden und danach kann der Wert w_L für die Schlagzahl 25 abgelesen werden (siehe Abbildung 31).

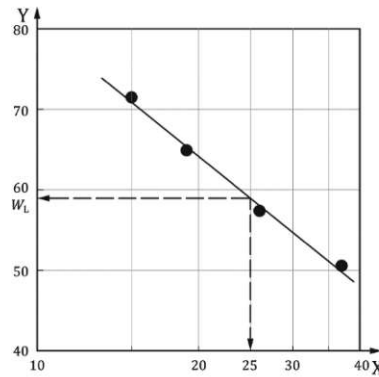


Abbildung 31 – Beispiel für eine Auswertung des Vierpunktverfahrens⁴²³

Eine näherungsweise Abschätzung liefert noch der Einpunktversuch von Lambe⁴²⁴. Lambe hat dazu eine einfache Formel entwickelt mit der bei einer Schlagzahl n (die Anzahl der Schläge soll zwischen 20 und 30 liegen) und den bekannten Wassergehalt w , die Fließgrenze w_L bestimmt werden kann (siehe Gleichung (4-13)).⁴²⁵

$$w_L = w \cdot \left(\frac{n}{25}\right)^{0,121} \quad (4-13)$$

Es bedeutet:

- w_L Fließgrenze
- w Wassergehalt
- n Anzahl der Schläge

Die Ausrollgrenze w_p wird in der Regel im Anschluss an den Versuch zur Ermittlung der Fließgrenze durchgeführt. Der für den Versuch nach Casagrande aufbereitete Boden wird nun auf einer Feuchtigkeit aufsaugenden Unterlage (z.B. Holzplatte) zu einer 3mm dicken Walze ausgerollt. Danach wird die Probe wieder zusammengefaltet und erneut ausgerollt. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt bis die Probe bei 3mm zerbröckelt. Nun wird von diesem Material erneut der Wassergehalt bestimmt, das dann der Ausrollgrenze w_p entspricht.

⁴²³ Ebda Bild 7

⁴²⁴ Thomas William Lambe (1920-2017) war ein US-amerikanischer Geotechniker und Professor am Massachusetts Institute of Technology.

⁴²⁵ Vgl. Rolf Katzenbach: *Studienunterlagen Geotechnik, Labor- und Feldversuche*, Darmstadt: Versuchsanstalt für Geotechnik der TU Darmstadt, 2013, S. 7

Anhand der gewonnenen Werte w_L und w_P können nun I_P und schließlich I_C mit Gleichung (4-12) berechnet werden.

Da für die Versuche nach ÖNORM EN ISO 17892-12 nur ein Material mit einer Korngröße kleiner als 0,4mm verwendet wird, kann es sein, dass vor Versuchsdurchführung eventuell der Probe die Körner, die größer als 0,4mm sind, entfernt werden müssen. Ist dies der Fall, so ist auch ein äquivalenter Wassergehalt⁴²⁶ für die Konsistenzzahl wie folgt zu berechnen:

$$K = \frac{\left[\left(\frac{100 \cdot m_1}{100 + w} \right) - m_r \right]}{\left(\frac{100 \cdot m_1}{100 + w} \right)} \cdot 100 \% \quad (4-14)$$

$$w_{<0,4} = 100 \cdot w / K \quad (4-15)$$

Es bedeutet:

- $w_{<0,4}$ äquivalenter Wassergehalt, in %
- w Wassergehalt der repräsentativen Probe, in %
- m_1 Masse des ungetrockneten Bodens, in g
- m_r Trockenmasse von den entfernten, groben Partikeln, die größer als 0,4 mm sind, in g
- K Prozentsatz der Probe, kleiner als 0,4 mm oder die nächste Sieb-Maschenweite, bezogen auf das Trockengewicht

Mit diesem gewonnen äquivalenten Wassergehalt $w_{<0,4}$ kann nun wieder I_C berechnet werden.

Aus den gewonnenen Werten w_L , w_P , I_P und I_C können nun folgende Rückschlüsse auf den vorliegenden Boden getroffen werden. Für Schluffe und Tone kann mit der Konsistenzzahl I_C eine Beschreibung gemäß Tabelle 27 vorgenommen werden und die Tabelle 28 zeigt für die unterschiedlichen Lehmarten die Bereiche für die Fließ-, Ausrollgrenze und die Plastizitätszahlen.

Tabelle 27 – Konsistenzzahl I_C von Schluffen und Tonen⁴²⁷

Bezeichnung	I_C
breiig	< 0,25
sehr weich	0,25 bis 0,50
weich	0,50 bis 0,75
steif	0,75 bis 1,0
Halbfest	> 1,00

Tabelle 28 – Fließ-, Ausrollgrenze und Plastizitätszahlen von verschiedenen Lehmarten⁴²⁸

Lehmart	w_L [%]	w_P [%]	I_P [%]
stark sandiger Lehm	10-23	5-20	<5
stark schluffiger Lehm	15-35	10-25	5-15
stark toniger Lehm	28-150	20-50	15-95
Betonit	40	8	32

⁴²⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 17892-12:2018, Abschnitt 6.1 und Anhang B.1.4

⁴²⁷ Vgl. ÖNORM EN 14688-2:2018, Tabelle 8

⁴²⁸ Minke 2009, Tabelle 2.4

Nach Casagrande lassen sich die unterschiedlichen Böden auch in einem Diagramm darstellen (siehe Abbildung 32). Die Fließgrenze ist auf der Abszisse aufgetragen und die Plastizitätszahl auf der Ordinate. Nun kann über dieses Diagramm, mit dem im Versuch von Casagrande ermittelten Werten die Bodenart abgelesen werden. Liegt der I_p -Wert über der A-Linie, so handelt es sich um Ton, liegt er darunter, so handelt es sich um Schluff.

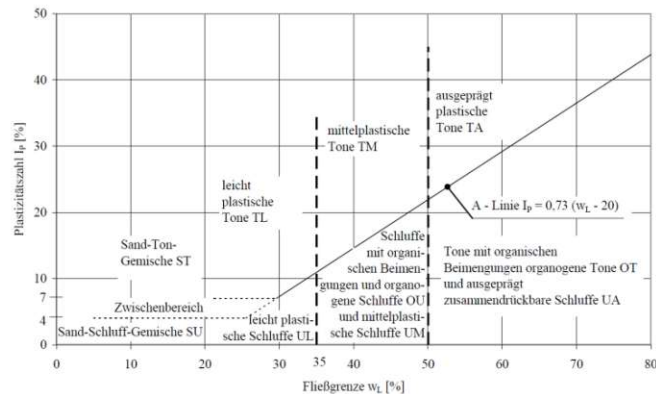


Abbildung 32 – Plastizitätsdiagramm von Casagrande⁴²⁹

Ein weiterer Parameter, der mittels der gewonnenen Werte nach Atterberg definiert werden kann, ist der Aktivitätsindex I_A . Dieser gibt einen Aufschluss über die kolloidalen Eigenschaften des Tons und ist ein Maß, wie ein bindiger Boden auf Wassergehaltsänderungen mit Volumenänderungen reagiert. Der Index ist von der Menge und der Art der Tonminerale abhängig und wird wie folgt bestimmt⁴³⁰:

$$I_A = (w_L - w_p) / CF \quad (4-16)$$

Es bedeutet:

CF Trockenmasse der Partikel mit einem äquivalenten Durchmesser kleiner als 0,002 mm, dividiert durch die Trockenmasse der Probe (oder die der Trockenmasse der Probe nach Entfernung der Grobfraction) kleiner als 0,4mm, ausgedrückt als Prozentsatz

Die Tabelle 29 zeigt für Tonminerale allgemein den Aktivitätsindex I_A und die Tabelle 30 liefert schließlich für die unterschiedlichen Tonminerale wie Kaolinit, Illit und Montmorillonit die Fließgrenze sowie den Aktivitätsindex I_A .

⁴²⁹ Katzenbach 2013, Abbildung 3

⁴³⁰ Vgl. ÖNORM EN ISO 17892-12:2018, Anhang B.1.3

Tabelle 29 – Aktivität des Tons⁴³¹

Bezeichnung	I_A
Inaktiver Ton	< 0,75
Normaler Ton	0,75 bis 1,25
Aktiver Ton	> 1,25

Tabelle 30 – Aktivität feinkörniger Böden⁴³²

Feinkörniger Boden	w_L [%]	I_A
Schluff	-	0
Ton (Kaolinit)	70	0,4
Ton (Illit)	100	0,9
Ton (Ca-Montmorillonit)	500	1,5
Ton (Ca-Montmorillonit)	700	7

Analyse:

Tabelle 31 - Ermittlung der Plastizität für einen Baulehm im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
keine				
Fachverwandte Norm				
EN ISO 17892-2	Fallkegelverfahren Verfahren nach Casagrande	Ermittlung der Fließ- und Ausrollgrenzen	-	-
EN ISO 14688-2	Beschreibung	Beschreibung der Plastizität	-	-

Zusammenfassend kann damit gesagt werden, dass der Atterbergsche Versuch eine Möglichkeit darstellt festzustellen, welche Art von Lehm und Tonmineral vorliegt. Dies trifft vor allem für den Lösslehm zu, dessen Kornverteilung nahezu komplett kleiner als 0,4mm ist. Näher zu untersuchen wäre für andere Lehmarten inwieweit die Aussage für die Kornfraktion kleiner 0,4mm auf den gesamten Baulehm umlegbar ist.⁴³³

4.3.4 Wassergehalt

Jeder Lehm bindet Wasser. Dabei können drei Arten von Wasserbindung unterschieden werden:

- „strukturelles Wasser“ oder „Kristallwasser“: dieses ist chemisch gebunden und entweicht erst bei einer Temperatur von 400 bis 900°C.
- „absorbiertes Wasser“ oder „Absorptionswasser“: hier wird das Wasser durch die elektrische Sorption der Tonminerale im Lehm gebunden.
- „Kapillarwasser“ oder „Porenwasser“ ist jenes Wasser, das in den luftgefüllten Poren des Lehmes durch die Kapillarkräfte eindringt.⁴³⁴

⁴³¹ Vgl. Katzenbach 2013, S. 5

⁴³² Ebda Tabelle 2

⁴³³ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 24

⁴³⁴ Vgl. Minke 2009, Abschnitt 2.1.6

Für eine optimale Verdichtung des Lehms spielt neben der Plastizität auch der Wassergehalt eine wesentliche Rolle. Der optimale Wassergehalt kann dabei durch den Proctorversuch erreicht werden (siehe dazu Abschnitt 4.3.10.3).

Allgemein wird der Wassergehalt für den Lehmabau durch das Poren- und Absorptionswasser bestimmt und wird im Labor gemäß ÖNORM EN ISO 17892-1 ermittelt.

Anwendungsbereich:

„Diese Internationale Norm beschreibt die Bestimmung des Wassergehalts von Bodenproben [...] durch Ofentrocknung im Labor im Rahmen geotechnischer Untersuchungen. [...] Die Bestimmung des Wassergehalts von Böden besteht in der Ermittlung des Masseverlusts, der beim Trocknen der Probe bis zur Massenkonzanz bei festgelegter Temperatur im Trocknungsofen eintritt. Der Masseverlust wird dem freien Wasser zugeschrieben und in Bezug zur verbleibenden Trockenmasse der Bodenbestandteile gesetzt.“⁴³⁵

Die Mindestprobemasse, die zur Durchführung des Versuches notwendig ist, orientiert sich nach dem Korndurchmesser D_{max} , wie in Tabelle 32 angegeben.

Tabelle 32 – Mindestprobenmasse zur Bestimmung des Wassergehaltes⁴³⁶

D_{max} [mm]	Mindestprobemasse [g]	D_{max} [mm]	Mindestprobemasse [g]
0,063	30	31,5	3000
2,0	100	63	21000
10,0	500		

Für die Prüfung wird die Bodenprobe im Trockenofen bei 105°C bis 110°C solange getrocknet bis kein Massenverlust mehr feststellbar ist. Anschließend kann der Wassergehalt mit Gleichung (4-17) berechnet werden.

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \cdot 100 = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 \tag{4-17}$$

Es bedeutet:

- w der Wassergehalt, in %
- m_1 die Masse des Behälters und der feuchten Probe, in g
- m_2 die Masse des Behälters und der getrockneten Probe, in g
- m_c die Masse des Behälters, in g
- m_w die Masse des Wassers, in g
- m_d die Masse der getrockneten Probe, in g

⁴³⁵ ÖNORM EN ISO 17892-1:2015, Abschnitt 1

⁴³⁶ Vgl. Ebda Tabelle 1

Tabelle 33 – Ermittlung des Wassergehaltes im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
keine				
Fachverwandte Norm				
EN ISO 17892-1	Ofentrocknung	Mindestprobemasse für Lehmabau: 100g	-	

4.3.5 Bindekraft

Der Widerstand, den ein Lehm beim Reißen aufweist, wird als Bindekraft bezeichnet und ist abhängig von Art und Gehalt der Tonminerale.⁴³⁷ Über die Bindekraft kann der Baulehm als „*mager*“ bezeichnet werden, wenn der Lehm einen geringen Tonanteil aufweist, oder als „*fett*“, wenn der Lehm einen hohen Tonanteil hat.

In den Lehmabau-Regeln wird ein Verfahren zur Bestimmung der Bindekraft beschrieben, das sich im Prinzip aus der Prüfung der zurückgezogenen DIN 18952, Blatt 2 herleitet. Dabei wird die Lehmprobe zunächst zerkleinert und durch ein Sieb mit einer Maschenbreite von einem Durchmesser von 2mm gesiebt. Vom Durchgangsmaterial werden Dreiviertel-Liter entnommen und dieses dann langsam mit Wasser vermischt. Die so gewonnene Lehmmischung wird nun durch einen Hammer, der eine Kopffläche von 2,5x2,5cm aufweisen soll, zu einem zusammenhängenden Fladen geschlagen. Dieser Fladen wird mit Hilfe eines Messers abgehoben und in Streifen (gemäß DIN 18952 mit einer Breite von 2cm) geschnitten. Diese werden nun hochkant nebeneinandergestellt und erneut zu einem Fladen geschlagen. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis man ein gleichmäßiges Gefüge erhält. War der Lehm zu Beginn der Aufbereitung zu trocken, so muss er, um eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Lehms zu garantieren, nach dem Durchhämmern unter einem feuchten Tuch ruhen, und zwar bei fettem Lehm 12 Stunden und bei mageren Lehmen 6 Stunden lang. Von diesem aufbereiteten Lehm wird nun 200g entnommen, dieser durch mehrmaliges Aufschlagen auf eine Platte verdichtet und daraus eine Kugel geformt. Aus einer Höhe von 2m wird die Kugel nun auf eine glatte, unelastische Platte fallengelassen. Der Lehm hat dann die Versuchskonsistenz erreicht, wenn die Abplattung einen Durchmesser von 50mm aufweist.

Für die Ermittlung der Bindekraft wird der so erhaltene Lehm in die Prüfform laut der Abbildung 33 in drei Lagen eingebracht und mittels eines Stampfers von Hand verdichtet. Daraufhin wird der Prüfkörper mit einem Messer auf beiden Seiten abgezogen und der Prüfkörper aus der Prüfform entnommen. Der so gewonnene Prüfkörper wird nun sogleich in das in Abbildung 33 abgebildete Prüfgerät eingebaut und durch die Zuführung von Sand mit einer Korngröße von 1mm belastet, bis er

⁴³⁷ Vgl. Lehmabau-Regeln 2009, 2.1

reißt. Sobald der Probekörper reißt, wird die Sandzufuhr gestoppt und das Gewicht des Sandes, welches sich im Behälter befindet, abgewogen.

Aus dem Gewicht des Sandes und der Querschnittsfläche des Prüfkörpers (5cm²) kann die Bindekraft ermittelt werden. Der endgültige Wert ergibt sich aus dem Mittelwert von mindestens drei Proben. Die Abweichungen der Proben dürfen dabei nicht größer als 10% sein. Sonst muss der komplette Prüfungsvorgang wiederholt werden.⁴³⁸ Die Bindekraft liegt in der Regel zwischen 50 und 360g/cm² (siehe Tabelle 34) und liefert einen Hinweis, um welchen Typ von Lehm es sich handelt.

Tabelle 34 – Bindekraft in [g/cm²] von Baulehm

Bindekraft	50-80	>80-110	>110-200	>200-360	>280-360	>360
Benennung	sehr magerer Lehm	magerer Lehm	fast fetter Lehm	fetter Lehm	sehr fetter Lehm	Ton

Problematisch an der Bindekraftprüfung ist, dass hinsichtlich des zu erwartenden Schwindmaßes und der Druckfestigkeit keine gute Abschätzung erfolgen kann. Dafür eignen sich besser andere Prüfmethode, die etwas später im Abschnitt zur Bestimmung der Druckfestigkeit und Schwindmaß näher beschrieben werden.⁴³⁹

⁴³⁸ DIN 18952 Blatt 2:1956, Abschnitt 2 und Lehm-Bau-Regeln 2009, Anlage 1 zu Abschnitt 2

⁴³⁹ Vgl. Röhlen/Ziegert 2020, S. 23

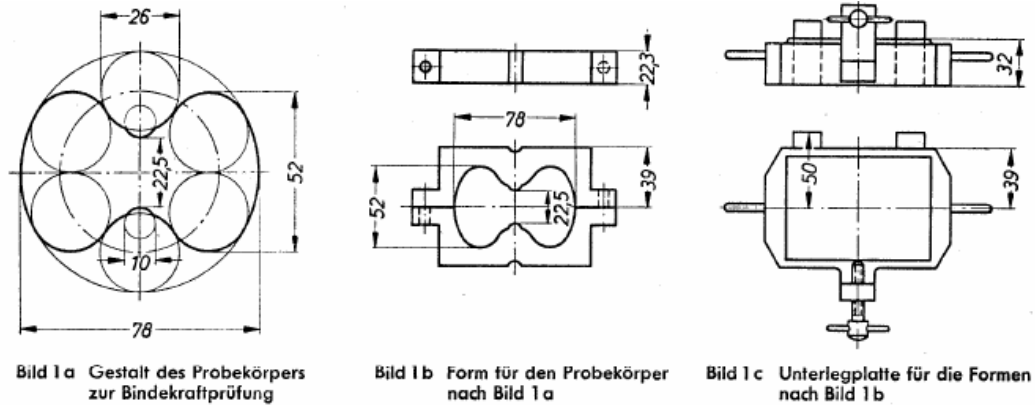


Bild 1 a Gestalt des Probekörpers zur Bindekraftprüfung

Bild 1 b Form für den Probekörper nach Bild 1 a

Bild 1 c Unterlegplatte für die Formen nach Bild 1 b

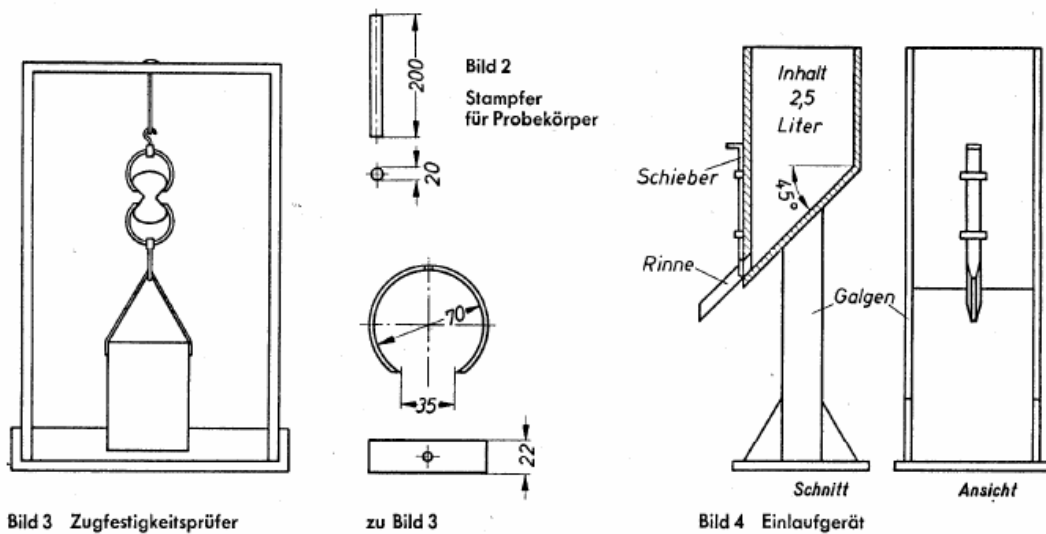


Bild 3 Zugfestigkeitsprüfer

zu Bild 3

Bild 4 Einlaufgerät

Abbildung 33 – Prüfkörperform (Maße in mm) und Prüfeinrichtung nach DIN 18952⁴⁴⁰

Tabelle 35 - Ermittlung der Bindekraft im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Besonderheit	Kz	Er
LB-Regeln	Bindekraftprüfung	Nach DIN 18985, Blatt 2	k	Nein

4.3.6 Biegezugfestigkeit

Allgemein kann gesagt werden, dass Lehmbauteile nicht bzw. nur gering auf Zug belastet werden dürfen. Für einige Sonderfälle hat die Zugfestigkeit trotzdem seine Relevanz, und zwar für folgende Fälle:

- Kantenfestigkeit des Lehmziegels: je höher die Zugfestigkeit des Lehms desto resistenter ist auch die Lehmziegelkante.

⁴⁴⁰ Lehm-Bau-Regeln 2009, Bild 2-1

- Innere Zugbeanspruchung des Lehmziegels infolge von Druckbelastung: durch die unterschiedlichen Steifigkeiten der Zuschläge im Lehmziegel kann es infolge von Kraftumlenkungen, die quer oder schräg zur Krafteinwirkung sich ausbilden, ebenfalls zu Zugbelastungen im Lehmziegel kommen.
- Lehmputz.

Wie hoch die Zugfestigkeit eines Ziegels letztendlich ist, hängt vom Tongehalt und von der Tonart des Baulehms ab. Verbessert werden kann sie dann nur noch durch diverse Zusätze wie etwa Molke oder Stroh.

4.3.6.1 Bodenprobe

Für die Prüfung der Zugfestigkeit von Baulehm kann allgemein die ÖNORM EN 1015-11 herangezogen werden. Diese Norm stammt aus der Prüfnormenreihe des Mörtels für das Mauerwerk und behandelt im Teil 11 die Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel.⁴⁴¹ Diese Prüfungen können analog auch für den Baulehm herangezogen werden, da die Zusammensetzung der Gesteinskörnung für den Mauermörtel ähnlich dem des Lehmziegels ist. Denn gemäß ÖNORM EN 998-2 (in dieser Norm werden die allgemeinen Festlegungen für den Mörtel getroffen) wird für die Gesteinskörnungen ein Größtkorn von maximal 2mm vorgegeben.⁴⁴² Betrachtet man nun eine typische Kornverteilungskurve für den Lehmziegel (siehe Abbildung 29), so erkennt man, dass auch hier das Größtkorn in der Regel annähernd bei 2mm liegt. So hat sich diese Prüfnorm in den letzten Jahren in der Laborpraxis für die Untersuchung des Baulehms auf Biegezugfestigkeit bestens bewährt.

Für die Prüfung nach ÖNORM EN 1015-11 werden zunächst Prüfkörper in der Form von Prismen mit den Maßen 160x40x40mm hergestellt. Dieser Prüfkörper wird nun für die Biegezugprüfung über eine Dreipunktbelastung gemäß den Abstände nach Abbildung 34 bis zum Bruch belastet.

⁴⁴¹ ÖNORM EN 1015-11:2020, *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel*

⁴⁴² Vgl. ÖNORM EN 998-2:2010, *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 2: Mauermörtel*, Abschnitt 5.5.2

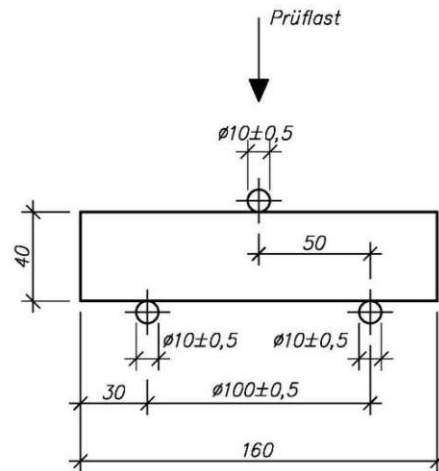


Abbildung 34 – Abstände der Dreipunktbelastung nach ÖNORM EN 1015-11 (Maße in mm)⁴⁴³

Die Prüfmaschine besteht aus drei Stahllagen (Durchmesser von 10mm und einer Länge von 45 bis 50mm). Der Abstand der beiden unteren Auflagerrollen beträgt 100mm. Für die Prüfung wird die Prüflast gleichmäßig und stoßfrei auf den Prüfkörper aufgebracht bis der Bruch eintritt. Dies soll innerhalb von 30s bis 90s der Fall sein. Die dabei auftretende Bruchlast wird gemessen und damit die Biegezugfestigkeit nach Gleichung (4-18) berechnet.

$$\sigma_{BZ} = 1,5 \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (4-18)$$

Es bedeutet:

- σ_{BZ} Biegezugfestigkeit, in N/mm²
- F auf den Prüfkörper aufgebrachte Höchstlast, in N
- l Abstand zwischen den Achsen der Auflagerrollen, in mm
- b Breite des Prüfkörpers, in mm
- d Höhe des Prüfkörpers, in mm.

4.3.6.2 Lehmziegel

Eine allgemeine Prüfnorm zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit an Mauerziegel stellt die ÖNORM B 3200 dar. In dieser Norm wird im Anhang A.5.2 ein Verfahren beschrieben, wie ein fertighergestellter Mauerziegel auf dessen Zugfestigkeit geprüft werden kann.⁴⁴⁴ Dabei ist der Prüfaufbau ähnlich dem der ÖNORM EN 1015-11, nur dass hier der Abstand zwischen den beiden

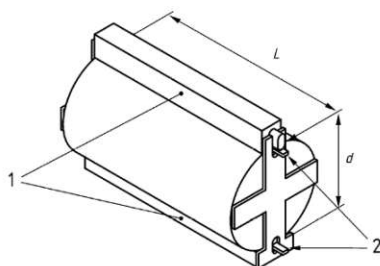
⁴⁴³ Vgl. ÖNORM EN 1015-11:2007, Bild 1

⁴⁴⁴ Vgl. ÖNORM B 3200:2016, *Mauerziegel – Anforderungen, Prüfungen, Klassifizierung und Kennzeichnung – Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 771-1*, Anhang A.5.2; die ÖNORM B 3200 enthält ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN 771-1 und ist gemeinsam mit dieser anzuwenden. Diese Bestimmungen gelten für Mauerziegel die in Österreich zur Anwendung kommen.

Auflagerrollen nun 200mm beträgt. Die Biegezugfestigkeit wird wieder nach Gleichung (4-18) berechnet.

Auch NMAC 14.7.4 enthält Bestimmungen für die Prüfung eines Lehmziegels auf Biegezug. Diese wird gleich wie nach ÖNORM B 3200 durchgeführt und mittels Gleichung (4-18) berechnet.⁴⁴⁵

In NTE E.080 wird ein Verfahren zur Feststellung der Zugfestigkeit des Baulehms beschrieben, das als „ensayo brasileño de tracción“ bezeichnet wird und dem Verfahren der Spaltzugfestigkeit nach ÖNORM EN 12390-6 entspricht.⁴⁴⁶ Die Zugkraft wird dabei an einem Prüfzylinder mit den Abmessungen von 15cm Durchmesser und 30cm Länge ermittelt. Bei der Herstellung des Prüfkörpers soll die Anfangsfeuchtigkeit für Lehmziegel 20% bis 25% und für Stampflehm 10% bis 15% sein. Danach wird der Prüfzylinder geschützt vor Sonne und Wind 28 Tage lang getrocknet. Die anschließende Prüfung erfolgt mit der in Abbildung 35 gezeigten Prüfvorrichtung.



Es bedeutet:

- 1 Belastungskörper aus Stahl
- 2 Zwischenstreifen aus Hartfaserplatte
- L Länge des Probekörpers
- d Durchmesser des Probekörpers

Abbildung 35 – Zentriervorrichtung für die Prüfung zylindrischer Probekörper⁴⁴⁷

Die Spaltzugfestigkeit kann dann nach der Gleichung (4-19) gemäß ÖNORM EN 12390-6 berechnet werden. Diese darf dabei gemäß NTE E.080 nicht kleiner als 0,08N/mm² sein.

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (4-19)$$

Es bedeutet:

- f_{ct} Spaltzugfestigkeit, in N/mm²
- F Höchstlast, in N
- L Länge der Kontaktlinie des Probekörpers, in mm
- d Durchmesser des Probekörpers, in mm

NZS 4298 enthält im Anhang J zwei unterschiedliche Testmethoden, um die Biegezugfestigkeit ermitteln zu können, die auch als Feldversuch angewendet werden können. Bei der ersten Methode

⁴⁴⁵ Vgl. NMAC 14.7.4.11:2015, Abschnitt 11 (D)

⁴⁴⁶ ÖNORM EN 12390-6:2010, Prüfung von Festbeton – Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern

⁴⁴⁷ Ebda Bild 1

werden auf dem zu prüfenden Lehmziegel zwei Holzlatten gelegt und darauf als Prüflast Lehmziegel gestapelt, und zwar solange bis der Prüfziegel auf Zug versagt (siehe Abbildung 36).⁴⁴⁸ Anschließend kann die Biegezugfestigkeit nach Gleichung (4-20) ermittelt werden.

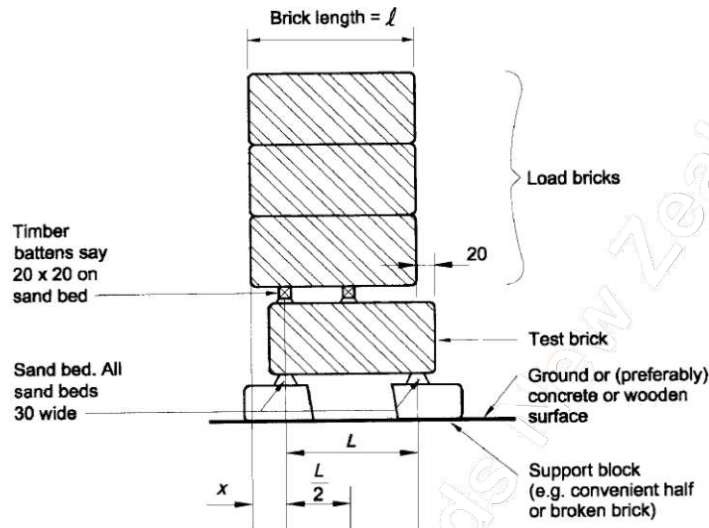


Abbildung 36 – Ermittlung der Biegezugfestigkeit mittels Lehmziegelaufplast⁴⁴⁹

$$f_{et} = \frac{0,015 \cdot n \cdot W \cdot L \cdot (l - 2 \cdot x)}{b \cdot d^2} \cdot \frac{l - 2 \cdot x}{L} \quad (4-20)$$

Es bedeutet:

f_{et}	Biegezugfestigkeit, in N/mm ²
n	Anzahl der Lastziegel
W	Gewicht von jedem Lastziegel, in N
L	Abstand zwischen den beiden Auflagern, in mm
b	Länge des Testziegels, in mm
d	Breite des Testziegels, in mm
l	Länge des Lastziegels, in mm
x	Versatz, in mm

Eine zweite Methode zur Prüfung des Lehmziegels auf Biegezugfestigkeit wird im Anhang J2 beschrieben. Dabei wird der Lehmziegel mittels eines Hebels auf Zug, wie in Abbildung 37 dargestellt, belastet und anschließend die Biegezugfestigkeit nach Gleichung (4-21) berechnet.

⁴⁴⁸ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt J1

⁴⁴⁹ Ebda Bild J1

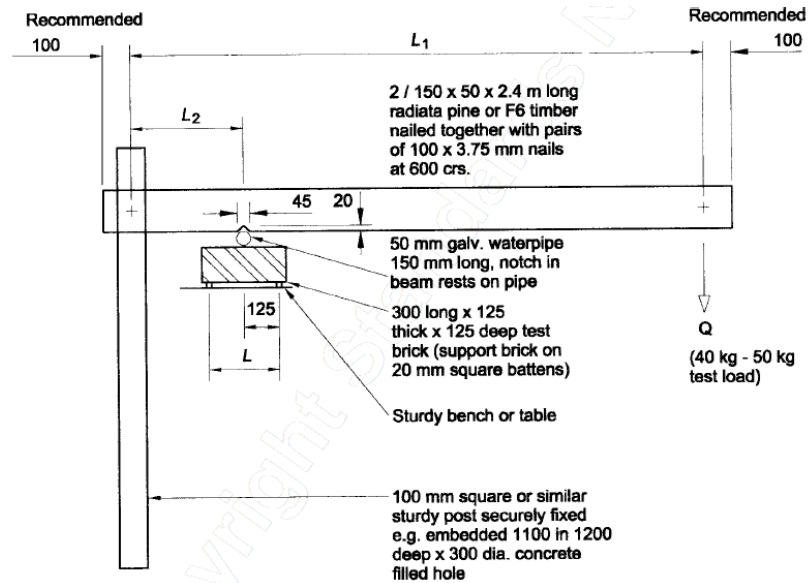


Abbildung 37 – Ermittlung der Biegezugfestigkeit mittels Hebelprüfung⁴⁵⁰

$$f_{et} = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{0,015 \cdot (Q + \frac{G}{2}) \cdot L}{b \cdot d^2} \quad (4-21)$$

Es bedeutet:

- f_{et} Biegezugfestigkeit, in N/mm²
- L_1, L_2 gemäß Abbildung 37
- Q Prüflast, in N
- G Trägerlast, in N
- L Abstand zwischen den beiden Auflagern, in mm
- b Länge des Testziegels, in mm
- d Breite des Testziegels, in mm

Analyse:

Tabelle 36 – Ermittlung der Biegezugfestigkeit für Lehmziegel im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Abmessungen [mm]	Prüflast [N/mm ²]	Kz	Er
NTE E.080	Spaltzugprüfung	D≈150, L≈300	0,08	t,s,k	Ja
NZS 4298	LZ-Auflast	Lehmziegel	0,1	s,k	Ja
	Hebelprüfung	Lehmziegel	0,1		
NMAC 14.7.4	Dreipunktbelastung	Lehmziegel	0,35	k	Nein
Fachverwandte Norm					
ÖNORM B 3200	Dreipunktbelastung	Lehmziegel	k. A.		-

Für die Biegezugfestigkeit werden in den Lehmbaunormen unterschiedliche Prüfungsmethoden beschrieben. Im Wesentlichen können diese zunächst unterschieden werden in den Spaltzugversuch und Dreipunktversuch. Neben den reinen Laborprüfungen bilden die beiden Zugversuche nach

⁴⁵⁰ Ebda Bild J2

NZS 4298 eine interessante Alternative für einen Prüfablauf, der sowohl im Labor als auch im Feld anwendbar ist.

4.3.6.3 Lehmörtel

Neben dem Verfahren nach ÖNORM EN 1015-11 (siehe Abschnitt 4.3.6.1) bildet NTE E.080 auch ein Verfahren zur Ermittlung der Mindestzugfestigkeit eines Lehmörtels. Dafür werden zunächst zwei Lehmziegel aufeinander vermauert, wobei die Dicke des Mörtelbetts 15mm betragen soll. Danach wird der Versuchskörper gemäß Abbildung 38 geprüft und anschließend nach Gleichung (4-22) die Festigkeit berechnet. Die so nach dieser Methode ermittelte Mörtelfestigkeit muss nach NTE E.080 mindestens 0,012N/mm² betragen.⁴⁵¹

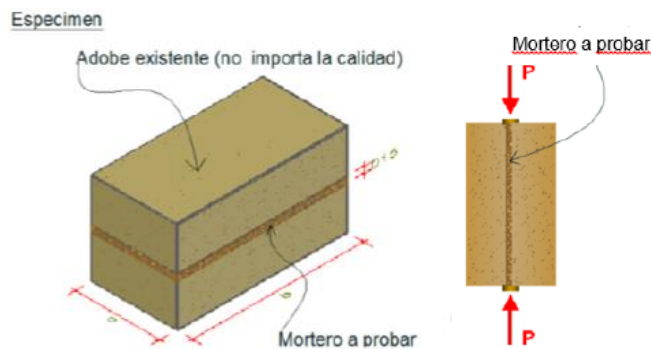


Abbildung 38 – Ermittlung der Mörtelzugfestigkeit nach NTE E.080⁴⁵²

$$\delta = \frac{P}{2 \cdot a \cdot b} \quad (4-22)$$

Es bedeutet:

- δ die Mörtelzugfestigkeit, in (N/mm²)
- P die Höchstlast, in (N)
- a Breite des Lehmziegels, in (mm)
- b Länge des Lehmziegels, in (mm)

Analyse:

Tabelle 37 - Ermittlung der Biegezugfestigkeit für Lehmörtel im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Abmessungen [mm]	Kz	Er
NTE E.080	Zugfestigkeit	2 Lehmziegel	t,s,k	Ja
Fachverwandte Norm				
ÖNORM EN 1015-11	siehe 4.3.6.3	160x40x40		-

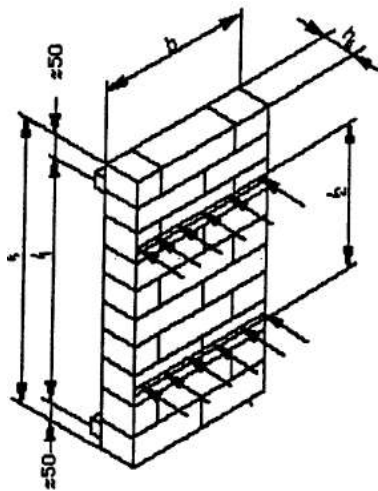
⁴⁵¹ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 8.3

⁴⁵² Ebda, Bild 7

Für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Lehmörtel stellt die in der ÖNORM EN 1015-11 beschriebene Methode eine allgemein anerkannte und gängige Prüfmethode dar, um diesen Festigkeitswert zu ermitteln, wobei DIN 18946 keine Anforderungen an die Biegezugfestigkeit für den Lehmörtel fordert.

4.3.6.4 Mauerwerk

Die ÖNORM EN 1052-2 dient zur Prüfung des Mauerwerkes auf Biegezugfestigkeit. Für die Herstellung des Prüfkörpers werden Mauerziegel gemäß ÖNORM EN 772 und Mörtel gemäß ÖNORM EN 1015-11 verwendet. Aus diesen Materialien wird der Probekörper hergestellt, wie dies Abbildung 39 zeigt, und anschließend auf Biegezug geprüft. Die Auswertung der Biegezugfestigkeit erfolgt nach Gleichung (4-23).



Es bedeutet:

h_s	Höhe des Prüfkörpers, in mm
b	Breite des Prüfkörpers, in mm
h_u	Höhe des Mauersteins, in mm
l_1	Abstand zwischen den äußeren Auflagern, in mm
l_2	Abstand zwischen den inneren Auflagern, in mm

Abbildung 39 – Mauerwerksprüfkörper für die Biegezugprüfung⁴⁵³

$$f_i = \frac{3 \cdot F_{i,max} \cdot (l_1 - l_2)}{2 \cdot b \cdot t_u} \quad (4-23)$$

Es bedeutet:

A_i	belastete Querschnittsfläche eines einzelnen Mauerwerksprüfkörpers, in mm ²
$F_{i,max}$	Höchstlast, die für einen einzelnen Mauerwerksprüfkörper erreicht wird, in N
b	Höhe oder Breite eines Mauerwerksprüfkörpers senkrecht zur Spannweite, in mm
t_u	Breite des Mauersteins, in mm
l_1	Abstand zwischen den äußeren Auflagern, in mm
l_2	Abstand zwischen den inneren Auflagern, in mm

Eine weitere Form der Mauerwerksprüfung wird in der Lehmbaunorm NTE E.080 beschrieben. Bei dieser Prüfung wird ein Mauerwerkskörper mit den Abmessungen von 0,65 x 0,65m x Wandbreite

⁴⁵³ ÖNORM EN 1052-2:1999, Bild 1: „Biegezugfestigkeit für eine parallel zu den Lagerfugen verlaufende Bruchebene“

gemäß Abbildung 40 auf diagonalen Druck oder indirekten Zug geprüft. Nach Herstellung des Probekörpers wird dieser zunächst 28 Tage getrocknet und anschließend mit der Prüflast P bis zum Bruch belastet. Mit den Gleichungen (4-24) und (4-25) kann nun die diagonale Druckspannung oder indirekte Zugspannung f'_t sowie die Schubspannung v_m ermittelt werden. Die Grenzspannung liegt in diesem Versuch laut NTE E.080 bei $0,025\text{N/mm}^2$.⁴⁵⁴

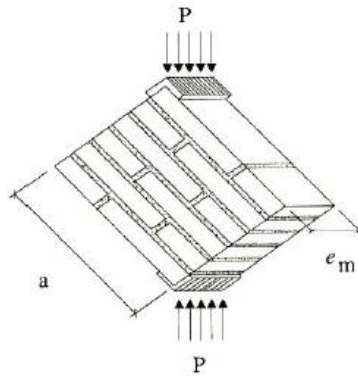


Abbildung 40 – Versuchsaufbau der Wandprüfung nach NTE E0.080⁴⁵⁵

$$f'_t = \frac{P}{2 \cdot a \cdot e_m} \quad (4-24)$$

$$v_m = 0,40 \cdot f'_t \quad (4-25)$$

Es bedeutet:

- f'_t Diagonale Druckspannung oder indirekte Zugspannung, in N/mm^2
- P Prüfkraft, in N
- a Wandlänge, in mm
- e_m Wandbreite, in mm
- v_m Schubspannung, in N/mm^2

Analyse:

Tabelle 38 - Ermittlung der Biegezugfestigkeit für das Mauerwerk im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Abmessungen [mm]	Kz	Er
NTE E.080	Mauerwerksprüfung auf diagonalen Druck oder indirekten Zug	650x650xWB	t,s,k	Ja
ÖNORM EN 1052-2	Mauerwerksprüfung auf Biegezug	lt. Norm	-	-

Die Normreihen ÖNORM EN 1052 beschreibt das Prüfverfahren, wie ein Mauerwerk auf Biegezug, Druck und Scherfestigkeit geprüft werden kann. Zum Unterschied dazu findet sich in der

⁴⁵⁴ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 8.5

⁴⁵⁵ Ebda, Bild 9

Lehmbaunorm NTE E.080 ein Verfahren, das eine diagonale Druckspannung bzw. indirekte Zugspannung ermittelt. Dieses Prüfergebnis entspricht jedoch eher dem nach Teil 3 und Teil 4 der ÖNORM EN 1052 gezeigten Verfahren zur Ermittlung der Scherfestigkeit.

4.3.7 Druckfestigkeit

Allgemein kann gesagt werden, dass die Druckfestigkeit des Baulehms von folgenden Faktoren beeinflusst wird:

- Korngrößenverteilung,
- Art der Tonmineralien,
- Aufbereitung und Verdichtung,
- Zugabe diverser Zusätze.

4.3.7.1 Bodenproben

Um die Druckfestigkeit allgemein an einer Bodenprobe im Labor ermitteln zu können, ist die ÖNORM EN ISO 17892-7 heranzuziehen.⁴⁵⁶

Anwendungsbereich:

„Dieses Dokument gilt für die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit eines homogenen Probekörpers aus ungestörtem, verfestigtem, gestörtem oder aufbereitetem Boden unter Druckbelastung innerhalb des Anwendungsbereichs geotechnischer Erkundungen.“⁴⁵⁷

Aus der Bodenprobe ist zunächst ein Prüfkörper nach folgenden Kriterien herzustellen:

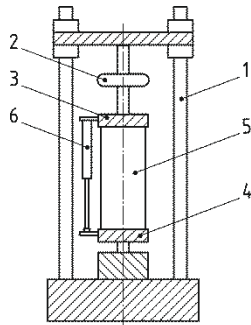
- Probekörper mit einer quadratischen Querschnittsfläche: Mindestfläche von $A = 1000\text{mm}^2$ und ein Verhältnis zwischen Höhe und der Kantenlänge von 2,0 bis 2,8;
- Probekörper mit einer kreisförmigen Querschnittsfläche: Mindestdurchmesser von 34mm und ein Verhältnis von Höhe zu Durchmesser von 1,8 bis 2,5.
- Das Größtkorn sollte ein Sechstel des Durchmessers oder ein Sechstel der Kantenlänge des Probekörpers nicht überschreiten.

⁴⁵⁶ ÖNORM EN ISO 17892-7:2018, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 7: Einaxialer Druckversuch (ISO 17892-7:2017)*

⁴⁵⁷ Ebda Abschnitt 1

Damit ergibt sich etwa für einen Baulehm mit einem Größtkorn von 6,3mm⁴⁵⁸ folgende Probekörperabmessungen: für einen zylindrischen Probekörper ein Durchmesser von 38mm mit einer Höhe von 68 bis 95mm und für einen prismatischen Probekörper eine Kantenlänge von 38mm mit einer Höhe von 76 bis 106,4mm.⁴⁵⁹

Anschließend wird der Prüfkörper auf einaxialen Druck geprüft. Abbildung 41 zeigt eine schematische Darstellung für eine solche typische Prüfeinrichtung.



Legende

1. Belastungseinrichtung
2. Belastungsmessgerät
3. obere Druckklappe
4. untere Druckklappe
5. Bodenprüfkörper
6. Verformungsmesseinrichtung

Abbildung 41 – Schematische Darstellung einer typischen Prüfeinrichtung zur Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit an Bodenprüfkörpern⁴⁶⁰

Aus dem Versuch kann nun die vertikale Verformung (Stauchung) und die einaxiale Druckfestigkeit nach den Gleichungen (4-26) und (4-27) berechnet werden.

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_i} \quad (4-26)$$

$$\sigma_v = \frac{P}{A_i / (1 - \varepsilon_v)} \quad (4-27)$$

Es bedeutet:

- σ_v einaxiale Druckfestigkeit des Probekörpers, in N/mm²
- ε_v vertikale Verformung (Stauchung)
- H_i Ausgangsprobenhöhe, in mm
- ΔH Höhenänderung des Probekörpers unter Druck, in mm
- A_i Anfangsquerschnittsfläche des Probekörpers, in mm²
- P Vertikallast auf dem Probekörper, in N

Eine weitere Prüfungsnorm stellt die ÖNORM EN 1015-11 dar. Dabei werden für die Prüfung auf Druckfestigkeit die aus der Biegezugprüfung gewonnenen Lehmprismenhälften nun auf Druck

⁴⁵⁸ Der Baulehm reicht von Ton bis zum Feinkies, wobei der Korngrößenbereich von Feinkies zwischen 2,0 und 6,3mm liegt. Deshalb wird hier für das Größtkorn 6,3mm angenommen.

⁴⁵⁹ Diese Maße entsprechen auch in etwa dem Probekörper gemäß ÖNORM EN 1015-11.

⁴⁶⁰ Vgl. ÖNORM EN ISO 17892-7:2018, Bild 1

beansprucht, indem eine zunehmende Prüflast kontinuierlich aufgebracht wird, bis der Bruch eintritt. Aus der so gewonnenen Bruchlast F kann nun die Druckfestigkeit nach Gleichung (4-28) ermittelt werden:

$$\sigma_D = \frac{F}{A} \quad (4-28)$$

Es bedeutet:

- σ_D Druckfestigkeit, in N/mm²
- F auf den Prüfkörper aufgebrachte Höchstlast, in N
- A Fläche mit der der Prüfkörper belastet wird, in mm²

Die beiden Lehmbaunormen NTE E.080 und IS 13827 beinhalten ebenfalls allgemeine Prüfungen für Baulehm zur Überprüfung auf dessen Druckfestigkeit. Diese werden an einem Probewürfel vorgenommen. Dabei wird in beiden Normen zunächst ein Würfel mit den Kantenlängen von 10cm hergestellt und dieser dann auf Druck geprüft. Laut NTE E.080 darf dann die minimale Druckkraft nicht unter 1N/mm² liegen und nach IS 13827 nicht unter 1 bis 2N/mm².⁴⁶¹

Analyse:

Tabelle 39 – Ermittlung der Druckfestigkeit für Bodenproben im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Kantenlänge [mm]	Prüflast [N/mm ²]	Kz	Er
IS 13827	Würfeldruckfestigkeit	100	1-2	t,s	Ja
NTE E.080	Würfeldruckfestigkeit	100	1	t,s,k	Ja
Fachverwandte Norm					
EN ISO 17892-7	Einaxialer Druckversuch	Abh. vom Größtkorn	k.A.	-	
EN 1015-11	Einaxialer Druckversuch	160x40x40	k.A.	-	

Über das Größtkorn lässt sich nach ÖNORM EN ISO 17892-7 die Mindestmaße des Probekörpers zur Prüfung auf Druck festlegen. Für den Baulehm entsprechen diese dabei in etwa den typischen Prüfkörperabmessungen aus ÖNORM EN 1015-11. Daher hat sich in den letzten Jahren diese Norm als typische Prüfnorm für Baulehm, die auf Druckfestigkeit geprüft werden sollen, etabliert.

4.3.7.2 Stampflehm

Nach NTE E.080 können bei nicht vorhanden sein von Trockenproben zur Prüfung des Stampflehms auch eigene Probekörper hergestellt werden mit den Abmessungen von 100x100x150mm, die mit

⁴⁶¹ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 8.1 und IS 13827:1993, Abschnitt 6.4

zehn Schlägen unter Verwendung eines 5kg schweren Verdichtungsstempels hergestellt werden. Die Mindestdruckkraft, die der Probewürfel widerstehen muss, beträgt nach dieser Norm $1,0\text{N}/\text{mm}^2$.⁴⁶²

In den Lehm-Bau-Regeln wird die Druckfestigkeit für den Stampflehm anhand von drei Probewürfeln mit einer Kantenlänge von 200mm ermittelt. Die Druckprüfung erfolgt dann, wenn die Gleichgewichtsfeuchte des Würfels erreicht wurde, das heißt, dass bei einem Innenraumklima keine Gewichtsreduktion des Probekörpers feststellbar ist. Für einen Würfel mit einer Kantenlänge von 200mm ist dies in der Regel nach etwa sechs Wochen erreicht.⁴⁶³

Der Standard NZS 4298 empfiehlt allgemein, die Prüfung des Baulehms auf Druckfestigkeit an einem Würfel mit den Seitenlängen von 200mm durchzuführen. Für den Stampflehm kann auch die Probegröße ein Verhältnis von Höhe zu Breite mit 2:1 betragen. Für den ermittelten Druckfestigkeitswert gibt es dann noch abhängig vom Verhältnis Höhe zu Breite einen Korrekturfaktor, mit dem die Druckfestigkeit zu multiplizieren ist. Die Herstellung der Stampflehmprobe soll in der gleichen Art erfolgen, wie dies für den Bau vorgesehen ist. Die Prüfung der Probe kann nach 28 Tagen durchgeführt werden.⁴⁶⁴ Um anschließend die charakteristischen Festigkeitswerte für den Baulehm zu erhalten, beschreibt NZS 4298 im Anhang B ein Verfahren, wie aus dem Testergebnis die charakteristischen Festigkeitswerte berechnet werden können.

In der Norm ZW HS 983 wird noch eine Methode vorgestellt, wie an einer fertiggestellten Stampflehmwand die Druckfestigkeit bestimmt werden kann. Ähnlich der Funktionsweise eines Rückprallhammers aus der Betontechnologie, wird in diesem Verfahren eine Feder so vorgespannt, dass sie einer Prüfkraft von $1,5\text{N}/\text{mm}^2$ (bei eingeschößigem Bauwerk) oder $2,0\text{N}/\text{mm}^2$ (bei zweigeschößigem Bauwerk) entspricht. Das so vorgespannte Prüfgerät wird nun auf die Wand aufgebracht und nach erfolgtem Prüfstoß durch die Entlastung der Federspannung wird die Wand auf Schäden kontrolliert.⁴⁶⁵

⁴⁶² Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 8.1

⁴⁶³ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 3.2.5

⁴⁶⁴ Vgl. NZS 4298:1998, Anhang A

⁴⁶⁵ Vgl. ZW HS 983:2014, Anhang D; Alternativ dazu könnte auch der Rückprallhammer bekannt aus der Ortbetontechnologie verwendet werden. Die Prüfungsnorm dafür stellt die ÖNORM EN 12504-2 dar.

Analyse:

Tabelle 40 – Ermittlung der Druckfestigkeit für Stampflehm im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Abmessungen [mm]	Prüflast [N/mm ²]	Kz	Er
NTE E.080	einaxialer Druckversuch	100x100x150	1	t,s,k	Ja
NZS 4298	einaxialer Druckversuch	200x200x200 oder H:B=2:1	1,4 ^a	s,k	Ja
LB-Regeln	einaxialer Druckversuch	200x200x200	3 – 5 ^b 2 – 3 ^c	k	Nein
ZW HS 983	vorgespannte Feder	am Bauwerk	1,5-2,0	t	Nein

^a für einen Würfel, ansonsten ist der Wert mit einem Korrekturfaktor zu modifizieren.
^b Baulehm mit mineralischem Zuschlag⁴⁶⁶
^c Baulehm mit Faserzuschlag⁴⁶⁶

Ähnlich der Prüfung an Bodenproben nach ÖNORM EN ISO 17892-7 werden in den genannten Lehmbaunormen Prüfungen an Stampflehmproben vorgegeben. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Norm ZW HS 983, die eine Prüfmethode an bestehenden Bauwerken darstellt. Ähnlich dem Rückprallhammer aus der Ortbetontechnologie kann mit diesem Verfahren eine zerstörungsfreie Prüfung der Druckfestigkeit an einer fertigen Stampflehmwand durchgeführt werden.

4.3.7.3 Lehmziegel

Nach den Lehm bau-Regeln soll die Prüfung der Druckfestigkeit analog zur DIN V 105-1 erfolgen. Diese Norm wurde jedoch bereits 2005 zurückgezogen und durch ÖNORM EN 771-1 ersetzt. In dieser Norm wird zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Mauerziegel auf ÖNORM EN 772-1 verwiesen.⁴⁶⁷ Des Weiteren wird in den Lehm bau-Regeln angegeben, dass für die Druckprüfung zunächst der Lehmziegel halbiert werden soll. Die beiden gewonnen Hälften werden dann mit einem Zementmörtel (Mindestdicke 5mm) übereinander vermauert und anschließend senkrecht zur Lagerrichtung auf Druck nach ÖNORM EN 772-1 geprüft. Die Druckfestigkeit ergibt sich dann aus der Bruchlast bezogen auf die Prüfkörpergrundfläche.⁴⁶⁸

⁴⁶⁶ Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Tabelle T5-2

⁴⁶⁷ ÖNORM EN 771-1:2011, *Festlegung für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel* sowie ÖNORM EN 772-1, *Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit*

⁴⁶⁸ Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 3.7.5

Die DIN 18945 für industriell gefertigten Lehmziegel enthält ebenfalls einen eigenen Abschnitt für die Durchführung und Ermittlung der Druckfestigkeit. Die Prüfung wird dabei an fertigen Lehmziegeln vorgenommen. Dabei werden zwei Lehmziegel aufeinander mittels eines in dieser Norm definierten Zementmörtel vermauert und diese dann bis zum Erreichen der Massekonstanz bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte gelagert.⁴⁶⁹ Anschließend erfolgt die Prüfung auf Druck. Die konstante Belastungsgeschwindigkeit ist dabei so zu wählen, sodass der Bruch innerhalb von 30 bis 90s eintritt. Anschließend wird die Druckfestigkeit nach Gleichung (4-28) ermittelt.⁴⁷⁰

Nach NMAC 14.7.4 wird für die Prüfung eines Lehmziegels auf Druck ein Lehmziegel verwendet, der eine Länge von mindestens der doppelten Ziegelbreite aufweist. Der aufzubringende Prüfdruck ist langsam zu steigern bis der Bruch eintritt und anschließend wird die Druckfestigkeit wieder nach Gleichung (4-28) berechnet.⁴⁷¹

NZS 4298 beschreibt zwei Varianten zur Ermittlung der Druckfestigkeit eines Lehmziegels. Zum einen kann diese direkt durch einen Druckversuch an einem Würfel mit der Seitenlänge von 200mm ermittelt werden (siehe dazu auch 4.3.7.2) oder zum anderen über die beiden Versuche zur Biegezugfestigkeit (siehe dazu auch 4.3.6.2) abgeschätzt werden. Dabei wird zur Ermittlung der Druckfestigkeit die Biegezugfestigkeit mit 3,5 multipliziert. Falls nur die Würfeldruckfestigkeit ermittelt wurde, so entspricht die Biegezugfestigkeit nach NZS 4298 dem 0,1fachen der Druckfestigkeit (siehe Gleichung (4-29)).⁴⁷²

$$f_e = 3,5 f_{es} \text{ oder } f_{es} = 0,1 f_e \quad (4-29)$$

Es bedeutet:

f_e Druckfestigkeit
 f_{es} Biegezugfestigkeit

⁴⁶⁹ Ausnahmen bilden Lehmziegel mit einer Nennhöhe kleiner 71mm. Hier wird der Ziegel mit einer Säge halbiert und die beiden gewonnenen Hälften aufeinander vermauert

⁴⁷⁰ Vgl. DIN 18945:2018, Abschnitt 9.4

⁴⁷¹ Vgl. NMAC 14.7.4.11:2015, Abschnitt 11 C

⁴⁷² Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitte 4.5.2 und 4.5.5 bzw. Anhänge A und J

Zur Ermittlung der Druckfestigkeit nach NTE E.080 werden zunächst vier Lehmziegel aufeinander gemauert und anschließend 28 Tage getrocknet. Danach wird der Probekörper auf Druck geprüft und dessen Festigkeit berechnet.⁴⁷³

Tabelle 41 – Ermittlung der Druckfestigkeit für Lehmziegel im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Abmessungen [mm]	Kz	Er
DIN 18945	Druckprüfung	2 Lehmziegel	k	Nein
LB-Regeln	Druckprüfung	Lehmziegel	k	Nein
NMAC 14.7.4	Druckprüfung	Lehmziegel: $L \geq 2B$ des LZ	t,s	Nein
NZS 4298	Druckprüfung	200x200x200	s,k	Ja
NTE E.080	Druckprüfung	4 Lehmziegel	t,s,k	Ja
Fachverwandte Norm				
ÖNORM EN 772-1	Druckprüfung	Mauerstein	-	

Analyse:

Die Druckfestigkeit von Lehmziegel wird nach den obengenannten Lehmbaunormen in der Regel an fertigen Lehmziegel vorgenommen. Eine Alternative dazu bildet die Prüfung an Probekörpern, entweder Prisma oder Würfel, wie dies in der Norm NZS 4298 oder ÖNORM EN 1015-11 beschrieben wird. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Formeln nach NZS 4297 betreffend den Zusammenhang zwischen Druck- und Biegezugfestigkeit, mit denen der jeweils fehlende Festigkeitswert bestimmt werden kann. Gerade für die Untersuchung im Feld stellt dies eine interessante Alternative dar. Da für die Untersuchung der Biegezugfestigkeit eine wesentlich geringere Prüfkraft notwendig ist, lässt sich damit mittels einfachen Versuchsaufbaus die Druckfestigkeit abschätzen.

4.3.7.4 Lehmörtel

Die beiden Regelwerke DIN 18946 und Lehm-Regeln verweisen für die Ermittlung Druckfestigkeit für Lehmörtel jeweils auf ÖNORM EN 1015-11. Der Versuchsablauf nach dieser Norm wurde bereits im Abschnitt 4.3.7.1 genauer beschrieben.⁴⁷⁴

⁴⁷³ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 8.4

⁴⁷⁴ Gemäß DIN 18947 wird ebenfalls mit ÖNORM EN 1015-11 geprüft.

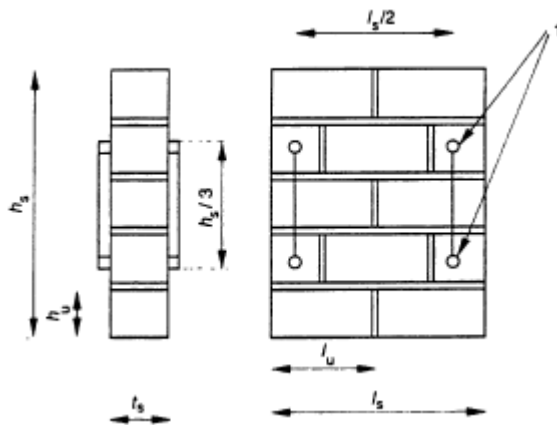
4.3.7.5 Mauerwerk

Die ÖNORM EN 1052-1 dient zur Prüfung eines Mauerwerkes auf dessen Druckfestigkeit. Für die Herstellung des Prüfkörpers werden Mauerziegel gemäß ÖNORM EN 772 und Mörtel gemäß ÖNORM EN 1015-11 verwendet. Aus diesen wird dann der Probekörper hergestellt, wie dies die Abbildung 39 zeigt, und anschließend auf Druck geprüft. Die Auswertung der Druckfestigkeit erfolgt nach Gleichung (4-30).

$$f_i = \frac{F_{i,max}}{A_i} \quad (4-30)$$

Es bedeutet:

- f_i Druckfestigkeit eines einzelnen Mauerwerksprüfkörpers, in N/mm²
- A_i belastete Querschnittsfläche eines einzelnen Mauerwerksprüfkörpers, in mm²
- $F_{i,max}$ Höchstlast, die für einen einzelnen Mauerwerksprüfkörper erreicht wird, in N



Es bedeutet:

- h_s Höhe des Prüfkörpers, in mm
- h_u Höhe des Mauersteines, in mm
- l_s Länge des Prüfkörpers, in mm
- l_u Länge des Mauersteines, in mm
- t_s Dicke des Prüfkörpers, in mm
- 1 Messungen der Längenänderung

Abbildung 42 – Mauerwerksprüfkörper für die Druckprüfung⁴⁷⁵

4.3.8 Schwindmaß

Beim Austrocknen des Lehms kommt es zu einer Volumenverringerng, das als Schwinden bezeichnet wird. Zur Prüfung dieses Vorganges wird das sogenannte Schwindmaß definiert, das die lineare Verkürzung eines Lehmprüfkörpers im Zuge der Trocknung angibt. Liefert die Prüfung des Schwindmaßes einen zu hohen Wert für den Baulehm, so ist dies durch die Zugabe beispielsweise von mineralischen Zuschlägen zu korrigieren.

Nach den Lehmbau-Regeln ist im Speziellen für den Stampflehm und Lehmmörtel das Schwindmaß zu bestimmen. Bei der Schwindmaß-Prüfung des Stampflehms ist zunächst ein Probekörper mit den Abmessungen von 600x100x50mm herzustellen. Auf diesem werden zwei Messmarken in Abstand von 500mm eingeritzt. Nach Ablauf der Trocknung wird der Abstand zwischen den beiden

⁴⁷⁵ ÖNORM EN 1052-1:1999, Bild 1

Messmarken gemessen und in Relation zur Anfangslänge gesetzt. Dies wird dann als Endschwindmaß bezeichnet. Diese Prüfung ist vor Baubeginn bei der ersten Charge durchzuführen und danach gilt nach den Lehmnormen, dass dies bei Baustellenmischungen ca. alle 10m³ und bei Werksmischungen ca. alle 50m³ Baulehm zu wiederholen ist. Das Schwindmaß des verdichteten Baustoffs darf nicht mehr als 2% betragen und bei Sichtbauten nicht mehr als 0,5%.⁴⁷⁶ Für Lehmputz wird das Schwindmaß an drei Prüfkörpern mit den Abmessungen von 160x40x40mm mit einem Ausbreitmaß von 140mm in Anlehnung an ÖNORM EN 1015-3⁴⁷⁷ ermitteln. Nach vollständiger Trocknung wird das Endschwindmaß gemessen.⁴⁷⁸ Dieses Verfahren gilt auch für den Lehmputz.

Nach DIN 18946 und DIN 18947 werden zunächst Mörtelprismen mit den Abmessungen von 160x40x40mm hergestellt und solange gelagert, bis sich die Massenkonstanz einstellt. Anschließend wird die Längenänderung des Prismas bezogen auf die Ausgangslänge in Prozent angegeben. Das Schwindmaß darf bei Lehmputzmörtel nicht mehr 2,5% und bei Lehmputzmörtel nicht mehr 2,0% betragen. Höhere Werte sind bei Verwendung entsprechender Zuschläge wie Strohfasern nach diesen Normen zulässig.

Eine weitere Testmethode zur Ermittlung des Schwindmaßes liefert die Norm NZS 4298. Dafür wird eine Schalungsbox aus Holz oder Stahl mit den Innenmaßen von 600x50x50mm verwendet. In diese Box wird nun das zu untersuchende Lehmmaterial eingebracht und anschließend getrocknet. Danach wird das Schwindmaß ermittelt. Dieses muss dabei für Stampflehm kleiner als 0,05% sein und für Mörtel kleiner als 3,0%.⁴⁷⁹

Analyse:

In sämtlichen Normen wird gefordert, dass das Schwindmaß für Stampflehmwerke und Lehmputz zu prüfen ist. Dabei sind die Prüfmethode bzw. die Grenzwerte für das Schwindmaß beinahe ident. Nur beim Stampflehm kennt NZS 4298 deutlich strengere Kriterien, als dies etwa bei den Lehmnormen der Fall ist.

⁴⁷⁶ Vgl. Lehmnormen 2009, Abschnitte 3.2.4 und 3.2.5

⁴⁷⁷ ÖNORM EN 1015-3:2007, *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch)*

⁴⁷⁸ Vgl. Lehmnormen 2009, Abschnitt 3.9.6

⁴⁷⁹ Vgl. NZS 4298:1998, Anhang F und Tabelle 2.1

Tabelle 42 – Ermittlung des Schwindmaßes im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Abmessungen [mm]	zul. Schwindmaß	Kz	Er
LB-Regeln	Schwindmaß	SL: 600x100x50 LM: 160x40x40	2% bzw. 0,5% k.A.	k	Nein
DIN 18946	Schwindmaß	160x40x40	i.R. 2,5%	k	Nein
DIN 18947	Schwindmaß	160x40x40	i.R. 2,0%	k	Nein
NZS 4298	Schwindmaß	600x50x50	SL: 0,05% LM: 3,0%	s,k	Ja

4.3.9 Wasser- und Frosteinwirkung

4.3.9.1 Wasseraufnahme

Baustoffe weisen allgemein auf Grund ihrer Porenstruktur die Fähigkeit auf, Wasser aufzunehmen. Dies geschieht im Wesentlichen durch die Kapillarität, die in den einzelnen Poren wirkt. Man kann nun für jeden Baustoff über den Wasseraufnahmekoeffizienten das Potential für dessen Wasseraufnahme bestimmen. Der Wasseraufnahmekoeffizient gibt an, wie viel Kilogramm Wasser ein Baustoff auf einer Fläche von einem Quadratmeter in Abhängigkeit von der Zeit aufnehmen kann.

Diese Fähigkeit eines hygroskopischen, kapillarporösen Baustoffes Feuchte aus seiner Umgebung aufzunehmen, wird etwa in der ÖNORM EN ISO 15148 beschrieben.⁴⁸⁰ Dabei kann die Feuchtebewegung eine Kombination aus dampfförmigen und flüssigen Feuchteströmen sein.

Anwendungsbereich:

„EN ISO 15148 legt ein Verfahren zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten für kurze Zeitspanne durch teilweises Eintauchen ohne Temperaturgradienten fest. Sie dient zur Beurteilung der Intensität der Wasseraufnahme aufgrund von Kapillarkräften bei anhaltender Beregnung oder Schlagregen, auch im unüblichen Fall während einer ungeschützten Lagerung von Dämm- oder anderen Baustoffen auf der Baustelle oder während der Bauphase. Das Verfahren ist geeignet für die Prüfung von Putzen oder Beschichtungen in Verbindung mit dem Untergrund, auf den sie üblicherweise aufgebracht werden.“⁴⁸¹

⁴⁸⁰ ÖNORM EN ISO 15148:2016, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002 + Amd 1:2016) (konsolidierte Fassung)

⁴⁸¹ Ebda Abschnitt 1

Die Wasseraufnahme kann nun im Labor⁴⁸² durch die Messung der Gewichtszunahme eines Prüfkörpers bei Wasserzugabe in Abhängigkeit von der Zeit erfasst werden. Dies wird in der ÖNORM EN ISO 15148 durch teilweises Eintauchen des Probekörpers in Wasser über eine Zeitspanne (i.R. mindestens über 24 Stunden) erreicht. Die Berechnung des Koeffizienten wird anschließend nach den Gleichungen (4-31) und (4-32) durchgeführt.

$$\Delta m_t = \frac{(m_t - m_i)}{A} \quad (4-31)$$

$$W_w = \frac{\Delta m'_{t_f} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}} \quad (4-32)$$

Es bedeutet:

- W_w Wasseraufnahmekoeffizient, in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$
- m_t Masse des Probekörpers nach der Zeit t , in kg
- t Zeit, in s oder h
- t_f die Prüfdauer (im Allgemeinen ein Tag), in s
- Δm_t Flächenbezogene Massenzunahme nach der Zeit t , in kg/m^2
- $\Delta m'_{t_f}$ der Wert von Δm auf der Geraden der Zeit t_f , in kg/m^2
- A Wasseraufnehmende Fläche, in m^2

Die nachfolgende Tabelle 43 zeigt für unterschiedliche Materialien den zugehörigen Wasseraufnahmekoeffizient. Dabei sieht man sehr gut, dass etwa bei Lehm dieser um das bis zu 30fache von Stahlbeton höher ist und sogar beim Ziegel annähernd das Dreifache darstellt.

Tabelle 43 – Wasseraufnahmekoeffizient in $[\text{kg}/\text{m}^2\text{h}^{0,5}]$
für unterschiedliche Bauteile⁴⁸³

Material	Bauteil	W_w
Lehm	Mauerwerk, Verkleidung, etc.	30
Lehmputz	Verkleidung	30
Ziegel	Innenwandstoff	10-15
Stahlbeton	Wandbaustoff	1,1
Holz (Fichte)	Tragwerk, Innenausbau	2-3
Zementputz	Wetterschutz	2
Hydraulischer Kalkputz	Wetterschutz	4
Kalkputz	Verkleidung	4-7
Polystyrol (EPS oder XPS)	Wärmedämmung	3

Analog zur ÖNORM EN ISO 15148 für die Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten an Baustoffen, kann auch noch die DIN 18132 zur Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens des getrockneten Bodens herangezogen werden.⁴⁸⁴

⁴⁸² Auch an bestehenden Bauwerken ist es möglich, die Wasseraufnahme zu bestimmen. Die Prüfung erfolgt dabei nach der Methode „Karstensen Rohr“, vgl. Minke 2009, 2.3.5.

⁴⁸³ Vgl. Baustoffkennwerte unter <https://www.ib-rauch.de> [Zugriff am 16.06.2020]

Anwendungsbereich:

„DIN 18132 gilt im Erd- und Grundbau. Durch den in dieser Norm festgelegten Versuch wird das Wasseraufnahmevermögen der Feinbestandteile eines Bodens ermittelt. Das Wasseraufnahmevermögen hängt ab von der spezifischen Oberfläche des Feinkorns und von der Aktivität der Tonmineralien. Der Versuch liefert einen Indexwert, der zu bodenmechanischen Kenngrößen, wie beispielsweise zur Fließ- und Ausrollgrenze, zum Quell- und Schrumpfmaß, korreliert ist und daher zur Beurteilung von Böden, die für bautechnische Zwecke verwendet werden, sowie zur Beurteilung von mineralischen Baustoffen, z. B. von Bentoniten für Abdichtungszwecke, geeignet ist.“⁴⁸⁵

Das Wasseraufnahmevermögen wird nach DIN 18132 im Labor ermittelt. Dabei werden als Bodenprobe ein trockener Boden mit Körner unter 0,4mm verwendet. Diese Probe wird zunächst bei 105°C getrocknet, pulverfein zerrieben und anschließend nochmals bei 105°C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Anschließend wird mittels dem in dieser Norm beschrieben Wasseraufnahmegeräte die Wasseraufnahme bestimmt und nach den Gleichungen (4-33) und (4-34) berechnet.

$$m_w = \frac{(V_w - V_k)}{\rho_w} \quad (4-33)$$

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 \% \quad (4-34)$$

Es bedeutet:

V_w	das Volumen des aufgesaugten Wassers zum Zeitpunkt t
V_k	das Volumen des verdunsteten Wassers zum Zeitpunkt t
ρ_w	die Dichte des Wassers, $\rho_w = 1,0\text{g/cm}^3$
m_d	die Trockenmasse der auf die Glasserfilterplatte aufgebrauchten Bodenprobe, in g
m_w	der Grenzwert, der im Laufe der Zeit aufgesaugten Wassermasse, in g

Im Anhang A dieser Norm befinden sich noch zwei Anwendungsbeispiele mit folgenden Ergebnissen:

- Beispiel 1: Schluff, tonig und feinsandig, kalkhaltig, leicht plastisch mit einem Massenanteil der Körner kleiner 0,4mm von 95% ergibt ein Wasservermögen von 54%.
- Beispiel 2: Ton, ausgeprägt plastisch mit einem Massenanteil der Körner kleiner 0,4mm von 100% und stark quellfähige Tonmineralien ergibt ein Wasservermögen von 82%.

Die linke Darstellung der Abbildung 43 zeigt sehr schön wie das Wasseraufnahmevermögen abhängig ist von der Art der Tonminerale.

⁴⁸⁴ DIN 18132:2012, *Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens*

⁴⁸⁵ DIN 18132:2012, Abschnitt 1

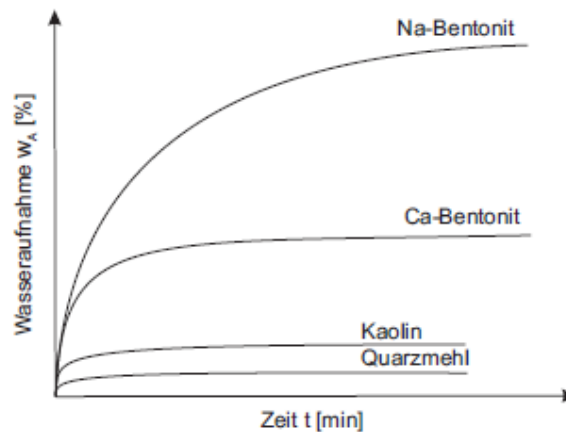


Abbildung 43 – Wasseraufnahmefähigkeit unterschiedlicher Tonminerale⁴⁸⁶

Neben der Prüfung nach ÖNORM EN ISO 15148 zur Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten liefern DIN 18945, DIN 18946 und DIN 18947 abgewandelte Prüfungen zur Kontrolle des Lehmbaustoffs auf Feuchteeinwirkung. Es handelt sich dabei um folgende Prüfungen:

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

Für diese Prüfungen gilt, dass zunächst der Lehmbaustoffe bis zur Massekonstanz gelagert werden muss. Dies ist dann erreicht, wenn im Abstand von 24 Stunden sich die Masse um höchstens 0,2% ändert.

Tauchprüfung

Dabei wird der zu prüfende Lehmziegel stirnseitig 10cm tief für 10 Minuten in ein Wasserbecken getaucht. Der dadurch entstandene Materialverlust wird aus dem Tauchbecken gefiltert, getrocknet und abgewogen. Der Tauchverlust ermittelt sich dann aus der Masse des Filtrates bezogen auf die Ausgangsmasse des Lehmziegels.

Kontaktprüfung

Für die Kontaktprüfung wird auf der zum Verputzen vorgesehenen Seite eine geeignete mit Wasser getränkte Zellstoff-Vliesstoff-Kompresse in der Größe der Steinfläche aufgelegt. Danach werden die

⁴⁸⁶ Vgl. Katzenbach 2013, Abbildung 25

Prüfkörper in einem geschlossenen Behälter auf einem Gestell über Wasser für 24 Stunden gelagert und abschließend für zwei Tage bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte nochmals gelagert. Zur Auswertung wird die mit der Kompressen beaufschlagte Fläche mit bloßem Auge auf Risse bzw. Quellverformungen kontrolliert.

Saugprüfung

Für die Saugprüfung werden die Lehmziegel in eine Wanne mit flachem Boden gelagert. Anschließend wird die Wanne mit Wasser befüllt bis der Wasserstand im Bereich von 1 bis 5mm unter der Oberkante der Ziegel liegt. Als nächsten Schritt werden die Ziegel mit einem Schwammtuch abgedeckt. Mit dem eigentlichen Versuch kann begonnen werden, wenn die Ziegel vollständig wassergesättigt sind, was in der Regel nach 24 Stunden der Fall ist. Die Lehmsteine werden mit ihrer Lagerfläche auf die Schwammtücher gelegt und dessen Zustand nach 30min, 2h und 24h beobachtet. Ausgewertet wird wieder per Augenschein auf mögliche Risse hervorgerufen durch das Quellen des Lehms.

Frostprüfung⁴⁸⁷

Für die Frostprüfung sind die Lehmziegel auf die lange schmale Seite zu stellen. Auf der gegenüberliegenden Seite wird eine Zellstoff-Vliesstoff-Kompressen mit der Größe einer Ziegelfläche aufgelegt, die mit Wasser gleichmäßig getränkt ist. Danach wird der Prüfkörper zunächst für 24 Stunden bei 23°C gelagert und anschließend in einer Frosttruhe bei mindestens -15°C. Hierauf folgt wieder eine Lagerung bei 23°C. Dieser Zyklus wird mehrmals wiederholt und nach jedem Durchgang wird per Augenschein geprüft, ob es zu Quellverformungen oder Materialverlusten durch Absprengungen gekommen ist bzw. Rissbildungen festzustellen sind.

Feuchte von Trockenmörtel

Um die Feuchte von einem Trockenmörtel zu überprüfen, ist zunächst eine Mörtelprobe von 200g so lange zu lagern, bis sich die Massenkonstanz einstellt. Anschließend werden die Masse vor bzw. nach der Lagerung im Klimaschrank miteinander verglichen. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die Massen gleich oder nach der Lagerung im Klimaschrank kleiner sind.

⁴⁸⁷ ÖNORM B 3200:2016 beschreibt im Anhang A ebenfalls ein Verfahren zur Bestimmung der Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von Mauerziegeln.

Analyse:

Tabelle 44 – Ermittlung der Wasseraufnahme im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Prüfform	Kz	Er
DIN 18945	Tauchprüfung	Lehmziegel	k	Nein
	Kontaktprüfung	Lehmziegel	k	Nein
	Saugprüfung	Lehmziegel	k	Nein
	Frostprüfung	Lehmziegel	k	Nein
DIN 18946	Feuchte	200g Lehmprobe	k	Nein
DIN 18947	Feuchte	200g Lehmprobe	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 15148	Tauchprüfung	Mindestfläche: 50cm ²		-

Während ÖNORM EN ISO 15148 die allgemeine Prüfnorm zur Ermittlung der Wasseraufnahme von Baustoffen darstellt, finden sich in den Produktnormen DIN 1894x einfache Prüfmethode, wie ein Lehmstoff auf dessen Feuchteeinwirkungen untersucht werden kann.

4.3.9.2 Bewitterungstest

Auch wenn Lehmwerke grundsätzlich durch konstruktive Maßnahmen vor einer möglichen Bewitterung, wie z.B. Schlagregen zu schützen sind, stellt sich trotzdem die Frage, wie eine Lehmoberfläche auf solch eine Belastung reagiert. Dazu führte Minke zahlreiche Untersuchungen durch und als Ergebnis konnte er feststellen, dass prinzipiell ein magerer Lehm wenig Widerstand gegen Regenerosion zeigt. Dafür ist dieser Lehm, sofern er ohne Risse ist, nahezu frostfest. Anders verhält es sich bei fettem Lehm. Dieser neigt eher zur Bildung von Rissen im Zuge der Schwindung und ist deshalb frostgefährdet. Dafür ist diese Art von Lehm nahezu regenfest.⁴⁸⁸

Um nun Lehmstoffe auf Bewitterungsbelastung testen zu können, gibt es Prüfverfahren sowohl in den Lehmbaunormen als auch in fachverwandten Normen, die zeigen, wie diese durchzuführen sind. Im Folgenden werden diese Verfahren näher vorgestellt.

Drucksprühverfahren

Dieses Verfahren wird in den Normen ZW HS 983 und NZS 4298 beschrieben. Dabei wird ein fertiggestellter Lehmkörper, der bereits zumindest 28 Tage ausgetrocknet ist, für eine Stunde mit Wasser besprüht. Die Versuchsanordnung ist der Abbildung 44 zu entnehmen. Alle 15 Minuten wird der Test angehalten und die Erosionstiefe gemessen. Nach einer Stunde wird schlussendlich die

⁴⁸⁸ Vgl. Minke 2009, Abschnitt 2.3.8; Minke bezeichnet diesen Vorgang als „Abschlämbarkeit“ des Lehms.

tiefste Erosion gemessen. Nach NZS 4298 darf die gemessene Eindringtiefe nicht größer als 120mm sein, damit die Lehmwand als regensicher gilt.⁴⁸⁹

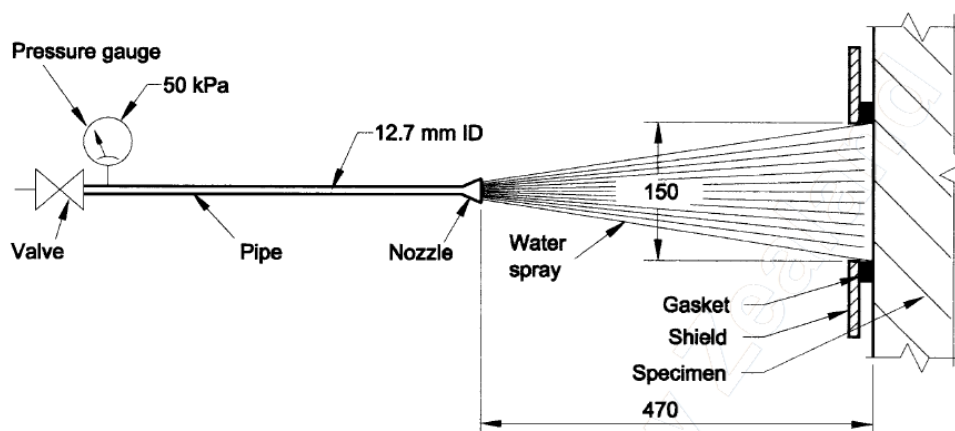


Abbildung 44 – Schematische Darstellung des Drucksprühverfahrens⁴⁹⁰

Ein ähnlicher Bewitterungstest befindet sich auch in der indischen Norm IS 1725. Dabei werden Regentropfen mit einem Durchmesser von 2mm (bei hoher Intensität mit 4mm) simuliert und diese mit einer Endgeschwindigkeit beim Aufprall von 6,5m/sec auf den Probekörper gesprüht. Der Versuch wird an drei Lehmziegeln durchgeführt. Für diesen Sprühtest wird ein Sprühkopf mit einem Durchmesser von 10cm verwendet, der 36 Löchern mit einem Durchmesser von 2mm aufweist. Dieser Sprühkopf wird in einem Abstand von 18cm zum Lehmziegel platziert und hiernach der Ziegel für zwei Stunden mit Wasser besprüht. Danach wird dieser auf Schäden augenscheinlich untersucht. Die durch den Versuch entstandenen Löcher dürfen nicht tiefer als 1cm sein.⁴⁹¹

„Geelong“ Methode

Dieses Verfahren beinhalten ebenfalls die beiden Normen ZW HS 983 und NZS 4298⁴⁹² und gilt für das Testen von Stampflehmwänden. Dazu werden Testblöcke mit den Abmessungen von 300x300x125mm hergestellt, die dann anschließend für 28 Tage getrocknet werden. Während dem Versuchsablauf gemäß Abbildung 45 darf weder Wind noch direkte Sonnenbestrahlung auf die Testblöcke einwirken. Analog kann der Test auch für Lehmziegel angewendet werden.

⁴⁸⁹ Vgl. ZW HS 983:2014, Anhang F und NZS 4298:1998, Anhang D

⁴⁹⁰ NZS 4298:1998, Bild D.1

⁴⁹¹ Vgl. IS 1725:1982, Anhang A

⁴⁹² Vgl. ZW HS 983:2014, Anhang G und NZS 4298:1998, Anhang E

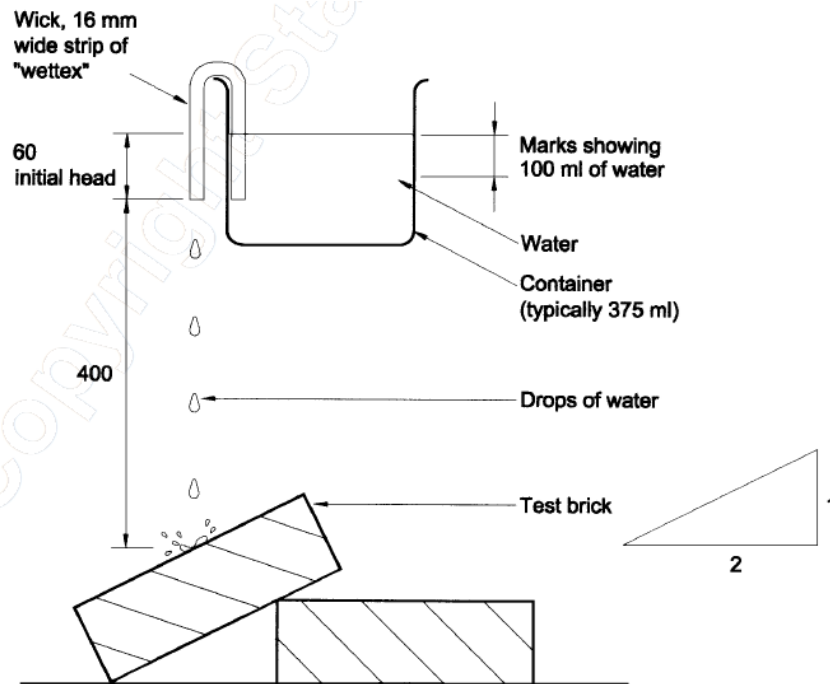


Abbildung 45 – Schematische Darstellung der „Geelong“ Methode⁴⁹³

Die Versuchsdauer soll zwischen 20 und 60 Minuten liegen. Danach wird die Eindringtiefe gemessen. Nach dieser Methode ist die maximal zulässige Eindringtiefe bei 15mm.

Schlagregen bei pulsierendem Luftdruck

Eine weitere Möglichkeit zur Prüfung auf Bewitterung eines Bauteils bietet die ÖNORM EN 12865.⁴⁹⁴

Anwendungsbereich:

„Diese Norm legt ein allgemeines Verfahren zur Beurteilung des Schlagregenwiderstandes von Wandsystemen durch Bestimmung der Wasserdichtheit der Wandsysteme oder dessen Teilen bei pulsierendem Luftdruck fest.“⁴⁹⁵

Bei dieser Schlagregen-Prüfung wird der Probekörper an den Außenflächen ständig mit einer bestimmten Wassermenge belastet. Die Luftdruckdifferenz wird dabei zwischen Außen- und raumseitiger Oberfläche des Probekörpers in definierten Schritten langsam erhöht. Als Ergebnis

⁴⁹³ NZS 4298:1998, Bild E.1

⁴⁹⁴ ÖNORM EN 12865:2001, Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Bauteilen - Bestimmung des Widerstandes des Außenwandsystems gegen Schlagregen bei pulsierendem Luftdruck

⁴⁹⁵ Ebda Abschnitt 1

werden die Zeit bis zum Durchdringen des Wassers, die höchste Luftdruckdifferenz und der Ort der Durchdringung erfasst.

Analyse:

Tabelle 45 – Bewitterungstests im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Probekörper [mm]	Kz	Er
NZS 4298	Drucksprühverfahren	Lehmwand	s,k	Ja
ZW HS 983			t	Nein
NZS 4298	„Geelong“ Methode	300x300x125 oder LZ	s,k	Ja
ZW HS 983			t	Nein
IS 1725	Sprühstest	Lehmwand	t,s	Ja
Fachverwandte Norm				
ÖNORM EN 12865	Schlagregentest	1200x2400	-	

Interessant sind die beiden Prüfmethode nach NZS 4298. Diese beschreiben nicht nur, wie eine Analyse bei Bewitterung von Lehmwänden zu erfolgen hat, sondern liefern auch über einen Erosionsindex ein Bewertungsschema, mit dem dann in weiterer Folge auch die Dauerhaftigkeit von Lehmgebäuden bewertet werden kann.

Des Weiteren sind diese Verfahren eine gute Entscheidungsgrundlage für die zu wählende Korngrößenverteilungen von Baulehmmischungen, wie dies die Versuche von Minke klar zeigten:

- magerer Lehm: kaum regenfest jedoch frostsicher
- fetter Lehm: regenfest, dafür nicht frostsicher.

4.3.9.3 Wasserdampfeinwirkung

Hat die direkte Wassereinwirkung auf Lehmbaustoffe eine negative Auswirkung auf das Bauwerk, so verhält es sich mit dem Wasserdampf genau gegenteilig. Hier zeigt der Baustoff Lehm einen seiner großen Stärken, in dem er in der Lage ist, aus der Umgebungsluft mit erhöhtem Wasserdampf diesen aufzunehmen und sobald die Luft abtrocknet diesen wieder langsam abzugeben.

Nach den Produktnormen DIN 18945, DIN 18946 und DIN 18947 wird für die Prüfung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes auf ÖNORM EN ISO 12572 verwiesen. Vereinfachend kann gemäß diesen DIN-Normen auch der Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl auf die Lehmbau-Regeln zurückgegriffen werden, wo μ mit 5 bis 10 für sämtlichen Baulehm festgelegt ist.⁴⁹⁶

⁴⁹⁶ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Tabelle 5-5

Falls der Wasserdampfdiffusionswiderstand nach Prüfung ermittelt werden soll, geschieht dies gemäß ÖNORM EN ISO 12572.

Anwendungsbereich:

„Dieses Dokument legt ein Verfahren zur Bestimmung des Wasserdampfdiffusions-Durchlasskoeffizienten von Bauprodukten und des Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizienten von Baustoffen unter isothermischen Bedingungen fest, das auf Prüfungen mit Prüfgefäßen basiert. Verschiedene Prüfbedingungen werden festgelegt. Die allgemeinen Prinzipien gelten für alle hygroskopischen und nicht hygroskopischen Baustoffe und -produkte einschließlich Wärmedämmstoffen und Baustoffen mit Beschichtungen oder Häuten. [...]“⁴⁹⁷

Analyse:

Tabelle 46 – Ermittlung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	μ	Kz	Er
LB-Regeln	k. A.	5/10	k	Nein
DIN 18945	nach ÖNORM EN ISO 12572	5/10	k	Nein
DIN 18946	nach ÖNORM EN ISO 12572	5/10	k	Nein
DIN 18947	nach ÖNORM EN ISO 12572	5/10	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN ISO 12572	lt. Norm	k. A.		-

Falls der Wasserdampfdiffusionswiderstand ermittelt werden soll, so erfolgt dies nach den Lehmbaunormen, die sich diesem Thema annehmen, gemäß ÖNORM EN ISO 12572. Ansonsten kann aus der Literatur etwa nach den Lehm-Bau-Regeln dieser mit 5 bis 10 angenommen werden.

4.3.10 Sonstige Prüfungen

4.3.10.1 Brandverhalten

Nach den Produktnormen DIN 18945, DIN 18946 und DIN 18947 erfolgt die Prüfung des Brandverhaltens gemäß ÖNORM EN 13501-1.

Anwendungsbereich:

„Dieses Dokument legt das Verfahren fest zur Klassifizierung des Brandverhaltens von Bauprodukten einschließlich der Bauprodukte innerhalb von Bauteilen [...]“⁴⁹⁸

⁴⁹⁷ Vgl. ÖNORM EN ISO 12572:2017, Abschnitt 1

⁴⁹⁸ Vgl. ÖNORM EN 13501-1:2020, Abschnitt 1

Ohne Prüfung können Lehmprodukte nach den Produktnormen DIN 18945, DIN 18946 und DIN 18947 der Baustoffklasse A1⁴⁹⁹ gemäß DIN 4102-4⁵⁰⁰ zugeordnet werden, wenn sie keine organischen Zuschläge bzw. bis zu 1% Massenanteil homogen verteilte organische Bestandteile aufweisen. Die Lehm-Bau-Regeln verweisen in Bezug auf das Brandverhalten von Baustoffen ebenfalls auf die DIN 4102-4 und klassifizieren die unterschiedlichen Lehmbaustoffe zwischen „*nicht brennbar*“ und „*schwer entflammbar*“.⁵⁰¹

Ansonsten finden sich keine eigenen Bestimmungen zur Ermittlung von Brandverhalten für Lehmbaustoffe in den restlichen Lehmbaunormen.

Analyse:

Tabelle 47 – Ermittlung des Brandverhaltens von Baulehm im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Klassifizierung nach DIN 4102-4	Kz	Er
LB-Regeln	nach DIN 4102-4	A1 bis B1	k	Nein
DIN 18945	nach ÖNORM EN 13501-1 bzw. DIN 4102-4	A1	k	Nein
DIN 18946	nach ÖNORM EN 13501-1 bzw. DIN 4102-4	A1	k	Nein
DIN 18947	nach ÖNORM EN 13501-1 bzw. DIN 4102-4	A1	k	Nein
Fachverwandte Norm				
EN 13501-1	lt. Norm	-	-	-

Lehmbaustoffe ohne organische Zuschläge gelten als „*nicht brennbar*“ und können gemäß den obengenannten Normen als solche deklariert werden. Werden dem Baulehm noch Zuschläge wie Strohfasern untergemischt, so sollte dieser Lehm als „*schwer entflammbar*“ bezeichnet werden. Diese Einteilung gilt nach DIN 4102-4 als auch nach ÖNORM EN 13501-1.

⁴⁹⁹ Nach der deutschen bauaufsichtlichen Benennung wird ein Baustoff der Baustoffklasse A1 nach ÖNORM EN 13501 und DIN 4102 als „*nichtbrennbar ohne brennbare Bestandteile*“ bezeichnet. Dieser weist keine Rauchentwicklung und kein brennendes Abtropfen oder Abfallen auf. Nach dieser Einteilung werden „*schwerentflammbare*“ Baustoffe nach DIN 4102-1 mit B1 bezeichnet.

⁵⁰⁰ DIN 4104-4:2016, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*

⁵⁰¹ Vgl. DIN 18945:2018, Abschnitt 9.8, DIN 18946:2018, Abschnitt 8.10, DIN 18947:2018, Abschnitt 8.11 und Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 5.5

4.3.10.2 Organischer Anteil

Zur Bestimmung des organischen Anteiles für Bodenproben im Labor kann die ÖNORM B 4424 herangezogen werden.⁵⁰²

Anwendungsbereich:

„Der organische Anteil wird für die bodenmechanische Beurteilung und Klassifizierung von Böden für bautechnische Zwecke benötigt. Diese ÖNORM beschreibt die Abschätzung des organischen Anteils von Böden im Rahmen von geotechnischen Untersuchungen durch die Ermittlung des Glühverlustes.“⁵⁰³

Dabei erfolgt die Bestimmung des organischen Anteils durch wiederholtes Glühen der Bodenprobe bei einer Temperatur von etwa 600°C. Das Prinzip, das dieser Methode zu Grunde liegt, ist, dass organische Bestandteile bei dieser Temperatur verbrannt werden, jedoch nicht die mineralischen Anteile. Der Massenverlust bei dieser Temperatur beruht jedoch nicht nur auf die Verbrennung des organischen Anteils, sondern ab einer Temperatur von 400°C entweichen auch das gebundene Wasser und das Kristallwasser aus den Mineralien.⁵⁰⁴ Deshalb ist es nach dieser Norm vorgeschrieben zwei Glühvorgänge durchzuführen. Damit lässt sich dann der organische Anteil der Bodenprobe nach den Gleichungen (4-35) und (4-36) bestimmen.

$$c_{gl} = \frac{m_d - m_{gl}}{m_d} \cdot 100 \quad (4-35)$$

$$C_{org} = c_{gl,1} - c_{gl,2} \quad (4-36)$$

Es bedeutet:

c_{gl}	Glühverlust
m_d	Trockenmasse des Bodens vor dem Glühen, in g
m_{gl}	Masse des Bodens nach dem Glühen, in g
C_{org}	organische Anteil, in %
$c_{gl,1}$	Glühverlust der ersten Glühung, in %
$c_{gl,2}$	Glühverlust der zweiten Glühung, in %

⁵⁰² ÖNORM B 4424:2016, *Geotechnik – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des organischen Anteils* bzw. in Deutschland ist dies die DIN 18128, *Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes*; Diese ÖNORM ist ein rein nationales Regelwerk, das nur in Österreich seine Gültigkeit hat.

⁵⁰³ ÖNORM B 4424:2016, Abschnitt 1

⁵⁰⁴ Vgl. Ebda Abschnitt 4.1

4.3.10.3 Verdichtung

Die maximale mögliche Verdichtung des Lehms erreicht man durch einen optimalen Wassergehalt. Diese wird mit Hilfe des Proctorversuches erreicht, der in ÖNORM B 4418 auf Basis der ÖNORM EN 13286-2 beschrieben ist. Auch die indische Lehmbaunorm IS 13827 verweist in Bezug auf die maximale Verdichtung von Stampflehmwänden auf den Proctorversuch.⁵⁰⁵ Im Folgenden wird nun dieser Versuch nach ÖNORM B 4418 näher ausgeführt.

Anwendungsbereich:

„Diese ÖNORM legt [...] Verfahren zur Bestimmung der Beziehung zwischen dem Wassergehalt und der Trockendichte nach einer Proctorverdichtung unter vorgegebenen Prüfbedingungen fest. Sie liefert einen Anhaltswert für die auf der Baustelle erreichbare Dichte des Korngemisches [...].“⁵⁰⁶

Für den Versuch wird eine Bodenprobe über den Proctorhammer mit definiertem Gewicht, Fallhöhe und Schlagzahl verdichtet und anschließend ausgewertet. Dieser Versuch eignet sich für Gemische bis zu einem Größtkorn von 63mm. Die erforderliche Probenmasse und die Größe des Proctortopfes richten sich dabei nach dem Größtkorn der Bodenprobe. Damit ergeben sich für den Lehmabbau folgende Annahmen:

Tabelle 48 – Auswahl für die Probemasse und Proctortopf⁵⁰⁷

Siebdurchgang durch Analysesieb [%]		Masse der Probe [kg]	Proctortopf
16mm	31,5mm		
100	-	15	A
		40	B
75 bis 100	100	40	B

Nach Tabelle 48 erkennt man, dass für den Lehmabbau in der Regel der Proctortopf A mit einer Probemasse von 15kg zur Anwendung kommen wird. Die genauen Anforderungen an den Proctortopf und den Proctorhammer sowie mit welcher Anzahl von Schlägen zu verdichten ist enthält Tabelle 49.

⁵⁰⁵ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 9.1; In Indien wird dieser Versuch in der Norm IS 2720:1980 beschrieben.

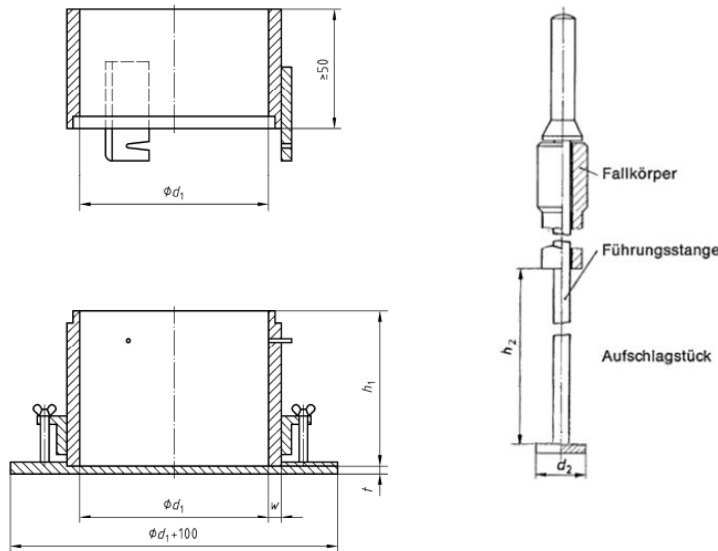
⁵⁰⁶ ÖNORM B 4418:2019, Abschnitt 1; diese Norm gilt unter Einbeziehung der europäischen Norm ÖNORM EN 13286-2 Anforderungen für die Durchführung von Proctorversuchen fest, die für Österreich gelten.

⁵⁰⁷ Vgl. ÖNORM EN 13286-2:2012, Tabelle 4

Tabelle 49 – Anforderungen für den Proctortopf und Proctorhammer⁵⁰⁸

	Proctortopf				Proctorhammer			Anzahl	
	d_1 [mm]	h_1 [mm]	Wanddicke [mm]	t [mm]	Masse [kg]	d_2 [mm]	h_2 [mm]	Schichten	Schläge
A	100,0±1,0	120,0±1,0	7,5±0,5	11,0±0,5	2,50±0,02	50±0,5	305±3	3	25
B	150,0±1,0	120,0±1,0	9,0±0,5	14,0±0,5	4,50±0,04	50±0,5	457±3	3	56

Abbildung 46 zeigt eine Prinzipskizze eines Proctortopfes und eines Proctorhammers.



Es bedeutet:

d_1 Durchmesser

h_1 Höhe

t Dicke der Grundplatte

d_2 Durchmesser der Grundfläche

h_2 Fallhöhe

Abbildung 46 – Prinzipskizze des Proctortopfes und Proctorhammer⁵⁰⁹

Für den Versuch wird nun die vorbereitete Bodenmischung in den Proctortopf gefüllt, sodass im verdichteten Zustand der Boden mehr als ein Drittel der Höhe des Topfes einnimmt. Danach wird gemäß Schlaganzahl aus Tabelle 49 verdichtet und der Vorgang noch zweimal wiederholt. Am Ende darf die Oberfläche des Gemisches nicht mehr als 10mm über die Oberkante des Topfes reichen. Anschließend wird die Masse und der Wassergehalt w bestimmt. Dieser Vorgang ist nun fünfmal zu wiederholen. Schließlich kann dann für jeden Versuch die Trockendichte nach Gleichung (4-37) bestimmt werden.

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1 + \frac{0,01 \cdot w \cdot \rho_s}{\rho_w \cdot S_r}} \quad (4-37)$$

Es bedeutet:

ρ_d Trockendichte, in Mg/m³

ρ_s Korndichte, in Mg/m³

⁵⁰⁸ Vgl. ÖNORM EN 13286-2:2012, Tabelle 1, 2 und 5

⁵⁰⁹ ÖNORM EN 13286-2:2012, Bild 1 und ÖNORM B 4418:2019, Bild 1

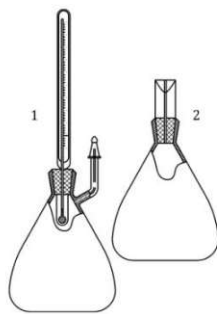
ρ_w	Dichte des Wassers, in Mg/m ³
S_r	Sättigungsgrad
w	Wassergehalt, in %.

Die Korndichte ρ_s wird dabei nach ÖNORM EN ISO 17892-3 bestimmt.

Anwendungsbereich:

„Dieser Teil von ISO 17892 ist im Rahmen geotechnischer Untersuchungen auf die labortechnische Bestimmung der Korndichte von Boden anwendbar und beschreibt zwei Verfahren: ein Pyknometer-Verfahren mittels Flüssigkeitsverdrängung und ein Pyknometer-Verfahren mittels Gasverdrängung. [...] Das [...] Kapillarpyknometer-Verfahren ist bei Bodenarten anwendbar, deren Korndurchmesser kleiner ist als 4 mm, oder deren Körner auf 4 mm zerkleinert wurden, um den Anforderungen zu entsprechen. [...]“⁵¹⁰

Das Kapillarpyknometer-Verfahren beruht auf der Bestimmung des Volumenunterschieds der zum Füllen des Pyknometers erforderlichen Flüssigkeit bei enthaltender bzw. bei nicht enthaltender Bodenprobe. Die Korndichte wird aus der Trockenmasse der Bodenteilchen und dem Volumenunterschied berechnet (siehe Gleichung (4-38)).



Es bedeutet:

- 1 Pyknometer mit Kapillarrohr und Thermometer
- 2 Pyknometer mit Kapillarrohr

Abbildung 47 – Beispiel für Kapillarpyknometer⁵¹¹

$$\rho_s = \frac{m_4}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} \cdot \rho_L \quad (4-38)$$

Es bedeutet:

- m_0 die Masse des trockenen Pyknometers, in g
- m_1 die Masse des Pyknometers, gefüllt mit Kontrollflüssigkeit, in g
- m_2 die Masse des Pyknometers mit der trockenen Probe, in g
- m_3 die Masse des Pyknometers mit der Probe und gefüllt mit der Kontrollflüssigkeit, in g
- m_4 die Trockenmasse der Versuchsprobe, in g
- ρ_L die Dichte der Kontrollflüssigkeit bei Prüftemperatur

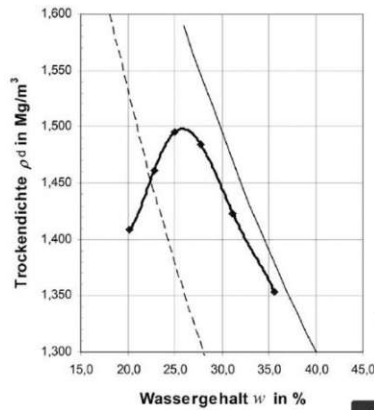
Die aus dem Proctorversuch erhaltenen fünf unterschiedlichen Werte für die Trockendichte ρ_d aus der Gleichung (4-37) werden nun in einem Diagramm eingetragen, wobei auf der Ordinate der

⁵¹⁰ ÖNORM EN ISO 17892-3:2016, Abschnitt 1

⁵¹¹ Ebda Bild 1

Wassergehalt und auf der Abszisse die Trockendichte liegt. Die Punkte werden verbunden und so das Maximum für die Trockendichte und damit den optimalen Wassergehalt grafisch abgelesen.

Die ÖNORM B 4418 enthält im Anhang noch ein Beispiel für einen gering sandigen, schluffigen Ton für den mit Typ A ein Proctorversuch durchgeführt und anschließend ausgewertet ist.



Bodenart: gering sandiger, schluffiger Ton
Proctortopf: Typ A
Proctorhammer: Typ A
Fallhöhe: 305mm
Fallmasse: 2,5kg
Anzahl der Schläge: 25
Größtkorn: 16mm
Korndichte: 2,71Mg/m³
Resultat:
 optimale Wassergehalt liegt hier bei 26%
 maximale Trockendichte 1,50 Mg/m³

Abbildung 48 – Beispiel für eine grafische Auswertung⁵¹²

Analyse:

Tabelle 50 – Ermittlung der optimalen Verdichtung im Labor

LB-Normen	Prüfmethode	Kz	Er
IS 13827	Proctorversuch nach IS 2470	t,s	Ja
Fachverwandte Norm			
ÖNORM B 4418	Proctorversuch		-

Über den Proctorversuch kann für eine vorhandene Baulehmmischung der optimale Wassergehalt für den Einbau etwa bei der Einbringung des Lehms in die Schalung eingestellt werden und somit die Festigkeit der Stampflehmwand auf ein Maximum herbeigeführt werden.

4.4 Materialkennwerte

Im folgenden Abschnitt werden für den Lehmziegelbau bzw. Stampflehmwand die Materialkennwerte zusammengefasst.

⁵¹² Vgl. ÖNORM B 4418:2019, Anhang A

4.4.1 Allgemeines

Allgemein gilt, dass sämtlicher Baulehm frei von organischem Material sein muss. Baulehm soll dabei weder zu sandig noch zu tonig sein.⁵¹³ Des Weiteren darf er nicht lösliche Salze (nicht mehr als 2% gemäß NMAC 14.7.4⁵¹⁴) enthalten, die die Festigkeit des Lehms beeinträchtigen würden bzw. im trockenen Zustand zu Rissen bzw. Abplatzungen im Lehm führen würden.⁵¹⁵ Speziell bei Recyclelehm ist darauf zu achten, dass dieser salzbelastet bzw. mit Schimmelpilzsporen befallen sein kann. Demnach soll der Baulehm frei von Verunreinigungen und schädlichen Fremdstoffen sein.⁵¹⁶

Als Zusätze können dem Lehmbaustoff organische oder natürliche mineralische Zusatzstoffe untergemischt werden, um seine Baulehmeigenschaften zu verbessern. Dazu zählen zum Beispiel Stroh und Sand.⁵¹⁷ Falls dem Lehm Stroh untermischt wird, sollte dieser trocken sein und frei von Ähren.⁵¹⁸

Zu beachten ist, dass Tone wie Montmorillonit und Illit sich nicht besonders für den Lehmbau eignen und deshalb vermieden werden sollten. Im Idealfall enthält der Lehm Kaolinit-Tone.⁵¹⁹

4.4.2 Übersicht zur Materialprüfung

Die folgende Tabelle 51 enthält eine Zusammenstellung aller Materialprüfungen, die für die Prüfung des Baulehms auf dessen Eigenschaften von Relevanz sind. Neben den Prüfparameter finden sich in dieser Übersicht die dafür notwendige Prüfmethode samt Normverweis und die Angabe, ob der Versuch in Labor oder im Feld anwendbar ist bzw. ob dieser für Stampflehm oder Lehmziegel heranzuziehen ist.

⁵¹³ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 3.1

⁵¹⁴ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 9 (D)

⁵¹⁵ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.1.1

⁵¹⁶ Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 2.3

⁵¹⁷ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.1.6

⁵¹⁸ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt 6.1.2

⁵¹⁹ Vgl. Ebda Abschnitt 6.1.1

Nach den Lehm-Bau-Regeln sind die wesentlichen Eigenschaften zur Prüfung von Baulehm beispielsweise folgende: Bindekraft, Plastizität, Mineralgerüst, Korngrößenverteilung, sonstige Bestandteile wie Humus oder Verunreinigungen.⁵²⁰ Und ASTM E 2392 schlägt nachstehende Materialtests für Lehmbauten vor: Druck- und Zugfestigkeit, Wasseraufnahme, Wassergehalt, Bewitterungstest, Boden- und Trockendichte.

Tabelle 51 – Übersicht der Prüfmethode zur Baulehmuntersuchung

Prüfparameter	Prüfmethode	Norm	L/ F	SL/LZ
Korngrößenverteilung	Sieb- u. Sedimentationsverf.	EN ISO 17892-4, LB-Regeln	L	SL/LZ
	Beschreibung	EN ISO 14688	L	SL/LZ
	Kugelfallprobe	LB-Regeln	F	SL/LZ
	Sichtprüfung	LB-Regeln, EN ISO 14688-1	F	SL/LZ
Rissprüfung	Lehmziegel	ASTM E 2392, IS 13827, NTE E.080	F	LZ
	Stampflehmwand	ZW HS 983	F	SL
Trockenfestigkeit	Kugelttest	ASTM E 2392, IS 13827, NTE E.080, EN ISO 14688-1	F	SL/LZ
	Baulehmtrocknung	LB-Regeln	F	SL/LZ
Dichte	Bodendichte	ÖNORM B 4414-2	L	SL/LZ
	Ausmessverfahren	LB-Regeln, DIN 1894x, ZW HS 983, EN ISO 17892-2	L	SL/LZ
Plastizität	Fallkegelverfahren Verfahren nach Casagrande	EN ISO 17892-12, EN ISO 14688-2	L	SL/LZ
	Bandtest	EN ISO 14688-1, ASTM E 2392, NTE E.080, ZW HS 983	F	SL/LZ
	Schneideversuch	EN ISO 14688-1, LB-Regeln	F	SL/LZ
	Reibeversuch	EN ISO 14688-1, LB-Regeln	F	SL/LZ
Wassergehalt	Fallttest	NTE E.080, ZW HS 983, NZS 4298	F	SL/LZ
	Ofentrocknung	EN ISO 17892-1	L	SL/LZ
Kalkgehalt	Salzsäure	LB-Regeln, EN ISO 14688-1	F	SL/LZ
Bindekraft	Kugelformprobe	LB-Regeln, EN ISO 14688-1	F	SL/LZ
		LB-Regeln	L	SL/LZ
Festigkeitsprüfung	LZ-Fallttest	NZS 4298	F	LZ
Biegezugfestigkeit	LZ-Bruch	IS 13827	F	LZ
	Bodenprobe	EN 1015-11	L	SL/LZ
	Spaltzugprüfung	NTE E.080	L	LZ
	LZ-Auflast	NZS 4298	L	LZ
	Hebelprüfung	NZS 4298	L	LZ
	Dreipunktbelastung	NMAC 14.7.4, ÖNORM B 3200	L	LZ
	Lehmmörtel	NTE E.080, EN 1015-11	L	LZ
Druckfestigkeit	Bodenprobe	NTE E.080, EN 1052-2	L	LZ
		EN ISO 17892-7, EN 1015-11, IS	L	SL/LZ

⁵²⁰ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 2.4.1

		13827, NTE E.080		
	Prisma bzw. Würfel	NTE E.080, NZS 4298, LB-Regeln	L	SL
	am Bauwerk	ZW HS 983	L	SL
	Druckprüfung	DIN 18945, NMAC 14.7.4, LB-Regeln, NZS 4298, NTE E.080, EN 772-1	L	LZ
	Lehmmörtel	EN 1015-11	L	LZ
	Mauerwerk	EN 1052-1	L	LZ
Schwindmaß	Schwindmaß	NZS 4298, LB-Regeln, DIN 18946, DIN 18947	L	SL/LZ /LM
Wasseraufnahme	Tauchprüfung	DIN 18945	L	LZ
	Kontaktprüfung	DIN 18945	L	LZ
	Saugprüfung	DIN 18945	L	LZ
	Frostprüfung	DIN 18945	L	LZ
	Feuchte	DIN 18946, DIN 18947	L	SL/LZ
	Tauchprüfung	EN ISO 15148	L	SL/LZ
Bewitterungstest	Drucksprühverfahren	NZS 4298, ZW HS 983	L	SL/LZ
	Geelong Methode	NZS 4298, ZW HS 983	L	SL/LZ
	Sprühtest	IS 1725	L	SL/LZ
	Schlagregentest	EN 12865	L	SL/LZ
Wasserdampfdiffusion	Wasserdampf-diffusionswiderstand	EN ISO 12572	L	SL/LZ
Organischer Anteil	Glühverlust	ÖNORM B 4424	L	SL/LZ
	Riechversuch	LB-Regeln, EN ISO 14688-1	F	SL/LZ
	Reibeversuch	EN ISO 14688-1	F	SL/LZ
	Farbbestimmung	LB-Regeln	F	SL/LZ
Brandverhalten	Brandversuch	EN 13501-1	L	SL/LZ
Verdichtung	Proctorversuch	ÖNORM B 4418, IS 13728	L	SL
<u>Es bedeutet:</u>				
L	Laborversuch			
F	Feldversuch			

Nach NZS 4298 sind dann Materialtests zu wiederholen, wenn folgende Umstände eintreten:

- wenn sich die Bodeneigenschaften ändern,
- wenn die Quelle des Lehms sich ändert,
- bei Lehmziegel alle 5000 Einheiten und bei Stampflehm alle 200m³.⁵²¹

4.4.3 Baustoff- und Bauteilwerte

Die Tabelle 52 enthält noch eine Übersicht der wichtigsten Baustoff- und Bauteilkennwerte für den Lehm- und Ziegelbau, entnommen aus den Lehm- und Ziegelbau-Regeln.

⁵²¹ NZS 4298:1998, Abschnitt 2.3

Tabelle 52 – Baustoff- und Bauteilkennwerte für den Lehmbau⁵²²

ρ [kg/m ³]	LZ	SL	LM	f_{dr} [N/mm ²]	λ	c [kJ/kgK]				μ	Brand	Wind
						(1)	(2)	(3)	(4)			
2200				2-5	1,40	1	1	1	1	5/10	Nichtbrennbar	Winddicht
2000					1,10	1	1	1	1	5/10		
1800				1	0,91	1	1	1	1	5/10		
1600					0,73	1	1	1	1	5/10		
1400				1	0,59	1	1	1,1	1,1	5/10		
1200				k.A.	0,47	1	1	1,1	1,2	5/10		
1000					0,35	1	1,1	1,1	1,3	5/10	Schwerent-flammbar	
900					0,30	1				5/10		
800					0,25	1	1,1	1,2	1,4	5/10		
700					0,21	1				5/10		
600					0,17	1	1,1	1,3	1,5	5/10		
500					0,14	1				5/10		
400					0,12	-	1,2	1,4	-	5/10		
300				0,10	-				5/10			

Es bedeutet:
 (1) Mineralische Zuschläge wie Sand, Kies; (2) Stroh als Zuschlag; (3) Feinfasern als Zuschlag, (4) Holzhackschnitzel als Zuschlag

Aus den in der Tabelle angegebenen Werten zur Rohdichte ρ , spezifische Wärme⁵²³ c und Wärmeleitfähigkeit⁵²⁴ λ lassen sich für den Lehmbau sehr rasch auch wichtige Kennwerte in Bezug auf die Wärmeeinwirkungen⁵²⁵ ermitteln. So kann damit etwa die Wärmespeicherfähigkeit Q_s [kJ/m²K oder Wh/m²K] eines Bauteils nach Gleichung (4-39) berechnet werden. Diese wird durch die Wärmespeicherzahl⁵²⁶ und die Bauteildicke definiert. Ferner kann der Wärmeindringungskoeffizient b [kJ/Km²h^{0,5}] nach Gleichung (4-40) bestimmt werden, der angibt mit welcher Geschwindigkeit ein Baustoff Wärme aufnimmt bzw. wieder abgibt. Je grösser der Wärmeindringungskoeffizient ist, umso

⁵²² Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 5

⁵²³ Die spezifische Wärme c definiert jene Wärme, die benötigt wird, um einen Baustoff von einem Kilogramm um 1°C zu erwärmen. Für Lehm beträgt dieser Wert 1,0 kJ/kgK.

⁵²⁴ Die Wärmeleitfähigkeit λ gibt an, wie viel Wärme durch eine 1m dicke Wand bei einer Temperaturdifferenz von 1°C geht. Diese lässt sich durch die ÖNORM B 6015-2 berechnen. (ÖNORM B 6015-2:2009, *Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät – Teil 2: Ermittlung des Nennwertes und des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit für homogene Baustoffe*)

⁵²⁵ Vgl. Minke 2009, Abschnitt 2.5 und <https://www.ib-rauch.de> [Zugriff am 11.03.2020]

⁵²⁶ Die Wärmespeicherzahl S [kJ/m³K oder Wh/m³K] gibt jene Wärmemenge an, die notwendig ist um 1m³ Baustoff um 1°C zu erwärmen und ist abhängig von der Baustoffdichte sowie von der spezifischen Wärme.

schneller gelangt Wärme in das Innere des Baustoffes und umso langsamer kühlt er auch aus. Ein weiterer Parameter stellt die Temperaturleitfähigkeit a [m^2/s] nach Gleichung (4-41) dar. Diese liefert ein Maß für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Temperaturänderung in einem Körper. Eine Temperaturänderung pflanzt sich umso rascher fort, je größer λ ist und je kleiner die spezifische Wärmekapazität und die Dichte sind.

$$Q_S = c \cdot \rho \cdot s \quad (4-39)$$

$$b = \sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda} \quad (4-40)$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (4-41)$$

Es bedeutet:

c	spezifische Wärme
ρ	Rohdichte
s	Bauteildicke
λ	Wärmeleitfähigkeit

4.5 Grundlegendes zur Planung und Ausführung

4.5.1 Allgemeines

Im folgenden Abschnitt werden jene generellen Anforderungen definiert, die in Bezug auf Planung und Ausführung sowohl für den Lehmziegelbau als auch den Stampflehmbau gelten.

Grundlegende Anwendungsgrenzen

Allen Lehmbaunormen ist gemeinsam, dass Lehmgebäude auf ein bis zwei Geschosse begrenzt sind. Dies ist in der Regel davon abhängig, ob das Bauwerk in einem Erdbebengebiet liegt oder nicht.

Die zulässige Geschosshöhe wird in den Lehmbau-Regeln auf 3,25m begrenzt, solange die Mindestwanddicke bei Lehmziegeln 36,5cm und bei Stampflehm 32,5cm beträgt.⁵²⁷ Ähnliches sieht auch NMAC 14.7.4 vor. Hier gilt für Lehmbauten mit einer Wanddicken von 25cm eine maximale Wandhöhe von 3,0m, bei 30cm eine Höhe von 3,3m und bei 36cm bis 60cm eine Höhe von 3,7m. Die Wandhöhe wird dabei von der Fußbodenoberkante bis zur Ringbalkenunterkante gemessen.⁵²⁸

⁵²⁷ Vgl. Lehmbau-Regeln 2009, Tabelle 4-1

⁵²⁸ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 8

Noch detailliertere Anwendungsgrenzen finden sich in NZS 4299 (inklusive umfangreicher Abbildungen)⁵²⁹:

- Wandhöhe: maximale Geschoßhöhe von 2,75m und maximale Giebelwand von 3,6m
- maximale Dachneigung von 45° bei Zwischendecken (ohne Zwischendecke von 25°)
- maximale Gesamthöhe einer Lehmwand von 6,5m⁵³⁰
- maximale Schlankheitsverhältnis (Wandhöhe zu Wanddicke) für unbewehrte lastabtragenden Lehmwände von 10 (in Erdbebengebieten 6) und bei nicht lastabtragenden Wänden 12 (in Erdbebengebieten 8).⁵³¹

In dieser Norm werden auch klimatische Grenzwerte für die Errichtung von Lehmbauwerken wie folgt definiert:

- Schneelast: 1,0 KN/m²
- Jahresniederschlag: 2000mm⁵³².

Die klimatischen Anwendungsgrenzen werden in der NTE E.080 allgemeiner beschrieben. Hier dürfen die Lehmgebäude nicht in einer Zone errichtet werden, wo mit erhöhten Risiken von Naturgefahren wie Überschwemmungen und Muren zu rechnen ist. Ferner dürfen sie nicht auf instabilen Böden erbaut werden.⁵³³

Dauerhaftigkeit

Eine interessante Definition für die Dauerhaftigkeit von Lehmgebäuden findet sich in ASTM E 2393: „*Successful buildings are ones that have lasted for at least three generations without substantial maintenance or repair.*“⁵³⁴ Und die Lehm-Bau-Regeln halten in diesem Zusammenhang fest, dass

⁵²⁹ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 1.2

⁵³⁰ Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 4.4.1

⁵³¹ Vgl. Ebda Abschnitt 4.6.2

⁵³² Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 1.2, (j) und (h)

⁵³³ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 4.1

⁵³⁴ ASTM E 2393:2010, Abschnitt X1.3.1

Lehmgebäude „bei sachgemäßem Feuchteschutz und üblicher Bauunterhaltung eine außerordentlich lange Lebensdauer erreichen können, wie jahrhunderte alte Bauten beweisen.“⁵³⁵

Genauere Bestimmungen zur Untersuchung der Dauerhaftigkeit von Gebäuden finden sich in den neuseeländischen Lehmbaunormen. Hier wird diese zunächst folgendermaßen definiert: ein Lehmgebäude darf innerhalb von 50 Jahre keine Wanddickenreduktion von mehr als 5% erfahren bzw. darf diese Verringerung nicht mehr als 30mm betragen. Um dies sicherzustellen, sind laufende Wartungsarbeiten durchzuführen und das Lehmgebäude durch konstruktive Maßnahmen wie etwa entsprechendem Dachüberstand zu schützen.⁵³⁶ Des Weiteren stellt NZS 4297 eine Methode vor, wie eine Bewertung der Dauerhaftigkeit durchgeführt werden kann. Dabei wird zunächst ein Index formuliert, der sich aus den Parametern Niederschlag, Wandorientierung, Dachüberstand, und Wind ergibt. Dieser wird dann anschließend mit einem Erosionsindex verglichen, der aus dem Witterungstest bzw. Erosionstest nach NZS 4298 für eine Lehmwand ermittelt werden kann. Dabei muss der Erosionsindex kleiner gleich dem Index zur Dauerhaftigkeit sein.⁵³⁷

Neben konstruktiven Maßnahmen wie das Anbringen eines entsprechenden Dachüberstandes, zeigten Erfahrungen, dass auch der Mischvorgang von Wasser mit Baulehm einen entscheidenden Einfluss auf die Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Lehmbaus hat. Zu kurzes oder zu langes Mischen wirkt sich dabei negativ aus. Hat man schließlich den optimalen Mischvorgang gefunden, so sollte dieser für das ganze Lehmgebäude beibehalten werden.⁵³⁸

Ferner gilt, dass Holzbauteile oder pflanzliche Fasern, die von trockenem Lehm umschlossen sind, dauerhaft geschützt werden.⁵³⁹

⁵³⁵ Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 5.8

⁵³⁶ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 2.5

⁵³⁷ Vgl. NZS 4297:1998, Anhang A (Index für Dauerhaftigkeit eines Gebäudes) und NZS 4298:1998, Anhänge D und E (Erosionstest); ZW HS 983 fordert ebenfalls Außenwänden, die äußeren Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, mittels Erosionstest zu prüfen, vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitte 15.1.3 und 15.2.

⁵³⁸ ASTM E 2392:2010, Abschnitt X1.2.1.1

⁵³⁹ Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 5.8

Witterung

Bei der Errichtung von Lehmbauwerken ist gemäß den Lehmbau-Regeln immer zu beachten, dass Lehm im feuchten Zustand auffriert. Deshalb dürfen nur dann Lehmwände hergestellt werden, wenn eine Frostfreiheit während des Baus gesichert ist. Des Weiteren sind nach Herstellung der einzelnen Lehmteile, diese von oben und seitlich durch entsprechende Abdeckungen vor Wassereintritt wie Regen, Spritzwasser und Bodenfeuchte zu schützen.⁵⁴⁰

Nach NZS 4298 ist bei einer Außentemperatur unter 2°C ein Baustopp zu verhängen. Bei heißem Wetter gilt, dass eventuell Lehmteile ausreichend zu beschatten sind, um ein zu rasches Austrocknen zu verhindern. Gleiches zählt bei starkem Wind, der ebenfalls zu rascher Abtrocknung führen kann. So wie bei den Lehmbau-Regeln fordern auch NZS 4298 und NMAC 14.7.4 während der Bauausführung die bereits errichteten Bauteile entsprechend durch Abdeckungen und Drainage vor Wassereintritt zu schützen.⁵⁴¹

Bauwasser

Das für die Aufbereitung des Baulehms verwendet Wasser hat nach NZS 4298 Trinkwasserqualität aufzuweisen.⁵⁴²

Ähnliches fordert NTE E.080. Dabei soll das Bauwasser entweder Trinkwasser oder zumindest frei von organischen Bestandteilen, Salzen oder Schwebstoffen sowie Öl, Säuren oder Laugen sein. Die Verwendung von Meereswasser ist grundsätzlich möglich, jedoch sind in diesem Fall spezielle Auflagen zu berücksichtigen.⁵⁴³

Lagerung

Die Lagerung und Handhabung aller Materialien hat nach NZS 4298 so zu erfolgen, dass es zu keiner Kontamination oder Veränderung im trocknen Zustand kommt.⁵⁴⁴

⁵⁴⁰ Vgl. Lehmbau-Regeln 2009, Abschnitt 4.1.1

⁵⁴¹ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitte 2.9, 2.10 und 2.11 sowie NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 13 (C)

⁵⁴² Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.1.5 und ZW HS 983:2014, Abschnitt 4

⁵⁴³ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 5.2

⁵⁴⁴ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.1.9

Qualitätskontrolle

Nach NZS 4298 wird eine konsequente Qualitätskontrolle während dem Bau eingefordert, um eine einheitliche Ausführung zu gewährleisten. Aufgezeichnet werden dabei laufend der verwendete Boden, die Wassermenge und die benützten Zusatzstoffe.⁵⁴⁵

Bevor mit dem Bau begonnen wird, sind nach NZS 4298 umfangreiche Tests erforderlich. Dabei werden Proben bei 70°C getrocknet, bis sich ein Feuchtegehalt von 3 bis 5% einstellt. Danach wird die Probe auf Zug- und Druckfestigkeit untersucht. Im Zuge der laufenden Kontrollen, darf der Durchschnittswert der letzten fünf Proben nie unter 90% der Zielfestigkeit liegen. Diese Untersuchungen sind vor Baubeginn und während des Baues durchzuführen.⁵⁴⁶

Für die Ausführung der einzelnen Lehmbauteile liefert NZS 4298 auch eine Zusammenstellung von Toleranzen, die einzuhalten sind.⁵⁴⁷ So gilt unter anderem für

- die horizontale Lage eines Lehm-Elementes gegenüber dem Plan: $\pm 30\text{mm}$,
- Abweichungen der vertikalen Flucht innerhalb eines Geschoßes: $\pm 25\text{mm}$ pro 3m Höhe oder das $\pm 0,1$ -fache der Wandstärke, wobei der kleinere Wert dann maßgebend ist,
- Abweichungen der vertikalen Flucht des gesamten Bauwerkes: $\pm 25\text{mm}$
- relative Verschiebungen zwischen nebeneinanderliegenden tragenden Wänden, die vertikal ausgerichtet sind: $\pm 30\text{mm}$
- Abweichungen vom Plan und Ausführung der Wanddicke: -20mm und $+40\text{mm}$.⁵⁴⁸

4.5.2 Schutz gegen Feuchtigkeit

Sämtliche Lehmbaunormen beinhalten die klare Anforderung, dass Lehm-Bauwerke vor Feuchteeinwirkung aller Art wie etwa aufsteigende Feuchtigkeit, Spritzwasser oder Niederschläge dauerhaft zu schützen sind. Denn erfolgt eine Wasseraufnahme von Lehmwänden, so kann diese zu einer deutlichen Herabsetzung der Standfestigkeit der Wand führen. Dies gilt für die Bauausführung,

⁵⁴⁵ Vgl. Ebda Abschnitt 2.7

⁵⁴⁶ Vgl. Ebda Abschnitt 2.4

⁵⁴⁷ Vgl. Ebda Tabelle 2.2

⁵⁴⁸ Vgl. Ebda Abschnitt 2.1.14

Lagerung der Lehmstoffe und für das fertiggestellte Bauwerk.⁵⁴⁹ Dieser Schutz kann durch folgende Maßnahmen sichergestellt werden:

- Fundamente,
- Beschichtungen, Putz (siehe Abschnitt 4.9) oder Abdichtungsbahnen,
- Dachvorsprünge,
- Entwässerungssysteme.⁵⁵⁰

Eine weitere Methode, um das Wasseraufnahmevermögen von Stampflehmwänden zu verringern, stellt eine optimale Verarbeitung des Baulehms dar. Dies wird sichergestellt durch eine gute Verdichtung des Baulehms bei der Herstellung eines Lehmstoffes sowie durch das Einstellen eines optimalen Feuchtegehaltes des Baulehms.⁵⁵¹

Ein wesentliches konstruktives Element zum Schutz gegen Feuchteinwirkung stellt der Dachvorsprung dar. Dabei liefert die neuseeländische Norm NZS 4299 einen detaillierten Dimensionierungsablauf, wie dieser ermittelt werden kann. Abhängig von der standortabhängigen Windzone, Wandhöhe und Erosionsindex der Lehmwand kann die notwendige Breite des Dachüberstandes bestimmt werden.⁵⁵²

Gegen aufsteigende Feuchtigkeit ist eine horizontale Feuchtigkeitssperrschicht auf der Oberkante des Fundamentes oder Sockels, falls ein solcher ausgeführt wird, anzuordnen. Dabei fordern die Lehmnormen, dass Lehmwände nicht unmittelbar auf einer Sperrschicht errichtet werden dürfen. Nach diesem Standard ist zwischen Sperrschicht und der Lehmwand zumindest eine 5 cm hohe Trennschicht aus wasserfesten Baustoffen herzustellen.⁵⁵³

⁵⁴⁹ Vgl. Lehmnormen 2009, Abschnitt 1.3; NBC 204:2015, Abschnitt 7.5; ASTM E 2393:2010, Abschnitt 6.3.2; ZW HS 983:2014, Abschnitte 14 und 15; IS 13827:1993, Abschnitte 4.1 und 4.2; Nach IS 13827 kann ein Wassereintrag zu einer Festigkeitsreduktion von 80 bis 90% führen.

⁵⁵⁰ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 6.9

⁵⁵¹ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitte 14 und 15

⁵⁵² Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitte 2.5 und 2.10

⁵⁵³ Vgl. Lehmnormen 2009, Abschnitt 4.1.1

Neben der Anordnung einer horizontalen Sperrschicht am Fuß der Lehmwand sind Lehmbauten auch bei Fensterbänken, am Brüstungskopf⁵⁵⁴ oder anderen Außenwandteilen, die der Witterung ausgesetzt sind, durch beispielsweise Abdichtungsbahnen vor möglicher Wassereintritt zu schützen. Gleiches gilt innerhalb des Gebäudes bei Feuchträumen wie Bad- und Duschräumen.

Eine weitere mögliche Schutzmaßnahme gegen Feuchtigkeit stellt die Ausführung von Putzsystemen dar. Dabei ist darauf zu achten, dass diese keine Dampfsperre für die Lehmwand darstellen.⁵⁵⁵ Die folgende Abbildung 49 zeigt eine Zusammenstellung unterschiedlicher Detailskizzen für die fachgerechte Ausführung eines Feuchteschutzes.

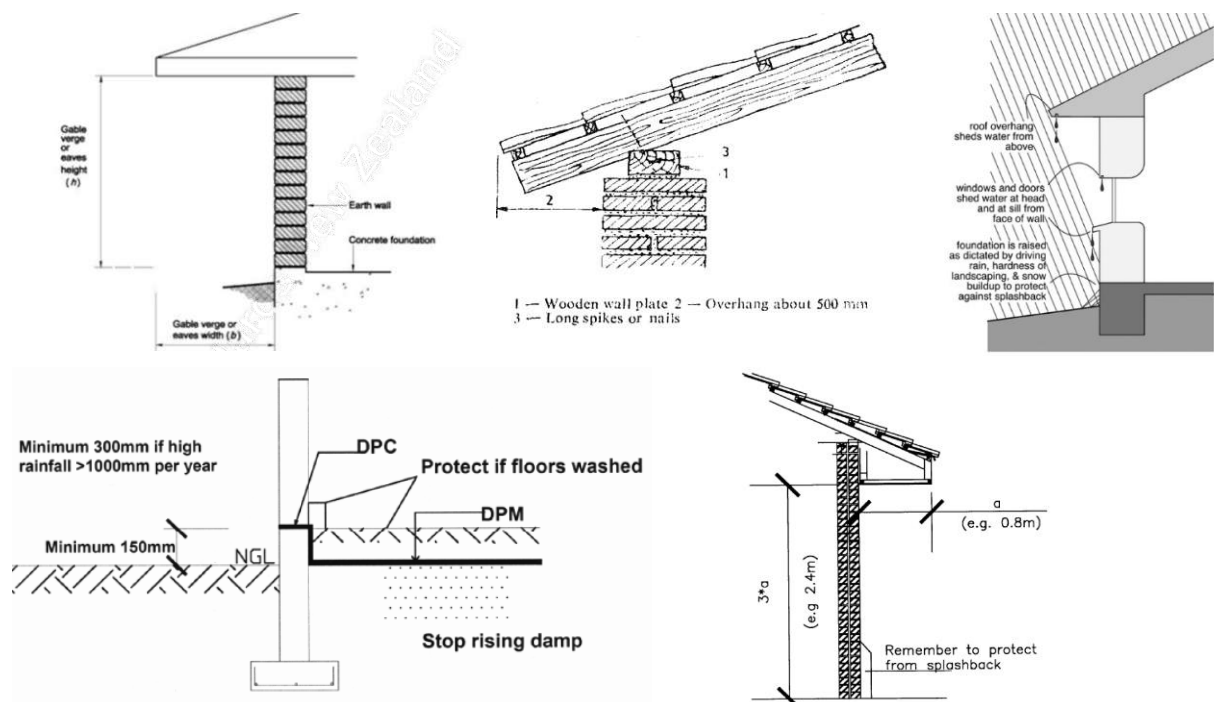


Abbildung 49 – Beispiele für einen Feuchteschutz an Lehmwänden⁵⁵⁶

⁵⁵⁴ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitte 19 (B) und 11 Q (2); Bei Stampflehmwänden soll die Abdichtungsbahn mindestens 15cm auf beiden Brüstungsseiten nach unten reichen. Bei Lehmziegelwänden soll die Bahn zumindest 5cm über den Ringbalken hinausragen.

⁵⁵⁵ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitte 11 (O) und 19 (A)

⁵⁵⁶ Von links nach rechts: NZS 4299:1998, Bild 2.2; IS 13827:1993, Bild 6; ASTM E 2392:2010, Bild 1; ZW HS 983, Bild 3 und Bild 2

Analyse:

Die Tabelle 53 enthält eine Zusammenstellung der Anforderungen für den Dachüberstand, Oberflächenbeschichtung und Lage einer Abdichtungsbahn über Fundamentoberkante.

Tabelle 53 – Anforderungen zum Schutz gegen Feuchtigkeit

LB-Normen	Dü [cm]	Putz	Ab ü. FdOK	Kz	Er
LB-Regeln		LP	ja	k	Nein
ASTM E 2392 ⁵⁵⁷	ja	ja		k	Ja
NMAC 14.7.4		LP, ZmP und KaP	ja	t,s	Nein
NTE E.080	ja	ja	ja	t,s,k	Ja
IS 13827	50 ⁵⁵⁸	LP	ja	t,s	Ja
ZW HS 983	Wh ⁵⁵⁹ /3	ja ⁵⁶⁰	ja 15-30cm ü GOK ⁵⁶¹	t	Nein
NZS 429x	30-240	ja ⁵⁶²	ja	s,k	Ja
NBC 204 ⁵⁶³	60	NEM ⁵⁶⁴	ja	s	Ja
Fachverwandte Norm					
ÖNORM B 3691	als Vordach		15 ü. Belags-OK	-	
ÖNORM B 3692	k. A.		15 bis 30 ü. GOK	-	

Die Anforderungen für den Schutz der Lehmbauten gegen Feuchtigkeit sind nahezu einheitlich. Sämtliche Normen unterstreichen die Wichtigkeit dieser. Als konstruktive Maßnahmen werden ein ausreichender Dachüberstand, Abdichtungsbahnen zum Schutz gegen Feuchtigkeit und

⁵⁵⁷ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt 6.3.2

⁵⁵⁸ Diese Anforderung an den Dachüberstand gilt in Zonen, wo rasch mit Niederschlägen zu rechnen ist.

⁵⁵⁹ Die Wandhöhe wird hier gemessen von der Lehmwand-Unterkante bis zum Dachüberstand, vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 15

⁵⁶⁰ Die Oberflächenbeschichtung kann durch folgende Materialien hergestellt werden: Kalkmilch, Lehmputz, Sand/Zement Putz oder Bitumen Emulsionen, vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 21.

⁵⁶¹ Steht das Gebäude in einer Region mit einem Jahresniederschlag über 1000mm, so hat dieser Abstand zumindest 30cm zu betragen, vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitte 10 und 11.

⁵⁶² Über einem informativen Anhang wird auf die Möglichkeit einer Oberflächenbeschichtung in Form von unterschiedlichen Putztypen hingewiesen, vgl. NZS 4298:1998, Anhang L.

⁵⁶³ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 7.5

⁵⁶⁴ Die Abkürzung NEM bedeutet nach NBC 204 „Non-Erodible Mud Plaster“.

Oberflächenschutz eingefordert. Die Dimensionierung und Ausführung der jeweiligen Maßnahme ist zumeist von den klimatischen Randbedingungen am Standort abhängig.

In ähnlicher Weise finden sich auch in den fachverwandten Normen Angaben zum Schutz der Gebäude vor Feuchtigkeit. Die ÖNORMEN B 3691 und B 3692⁵⁶⁵ regeln Abdichtungen für den Dachbereich, An- und Abschluss von Tür- und Fensterelemente sowie Abdichtungen zum angrenzenden Bodenniveau. Nach diesen Normen ist etwa an hochgehenden Wänden eine Abdichtungsbahn mindestens 15cm über dem angrenzenden fertigen Bodenniveau hochzuführen. Dieser Wert erhöht sich auf 30cm, wenn sich die Wand in Hanglage, in schneereichen Gebieten oder bei Gefahr von Stauwassern befindet.⁵⁶⁶ Anschlüsse an Tür- und Fensterelemente wird in der ÖNORM B 3691 geregelt. Hier beträgt die Mindestanschlusshöhe 15cm über der Belagsoberkante und für Türanschlüsse im Regelfall 10cm. Diese Werte können jedoch noch reduziert werden, indem etwa eine Entwässerungsrinne oder Vordächer angeordnet werden.⁵⁶⁷

4.5.3 Fundament

Für jede Lehmwand, ob lastabtragend oder nicht lastabtragend, ist ein Fundament vorzusehen, das in der Regel als Streifenfundament ausgeführt wird.⁵⁶⁸ Diese Forderung findet sich in sämtlichen Lehmbaunormen. Für die Abmessungen des Fundaments werden zumeist die Bodenbeschaffenheit und die Gebäudehöhe herangezogen, wobei in Erdbebengebiete strengere Anforderungen vor allem in Bezug auf die Bodenart gelten. In diesen Gebieten sollten Fundamente auf Sandboden, losen Boden oder schlecht verdichteten tonigen Boden vermieden werden bzw. sind auf alle Fälle bei erhöhtem Erdbebenrisiko verboten. In diesem Fall muss der Baugrund fest und gut verdichtet sein.⁵⁶⁹

In der indischen Lehmbaunorm IS 13827 liest sich dies beispielsweise dann so für die Festlegung der Mindestbreite des Streifenfundaments:

⁵⁶⁵ Die ÖNORMEN B 3691 und B 3692 sind rein nationale Planungs- und Ausführungsnormen, die nur in Österreich gelten.

⁵⁶⁶ Vgl. ÖNORM B 3692:2014, Abschnitt 5.4.3

⁵⁶⁷ Vgl. ÖNORM B 3691:2019, Abschnitt 6.5.3

⁵⁶⁸ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 4.1.1

⁵⁶⁹ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitte 6.1 bis 6.8 und 7.3; NBC 204:2015, Abschnitt 4

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

- eingeschossiges Haus auf festem Boden: Fundamentbreite = Wandstärke
- ein- bis zweigeschossiges Haus auf festem Boden: Fundamentbreite = 1,5 x Wandstärke
- eingeschossiges Haus auf weichem Boden: Fundamentbreite = 1,5 x Wandstärke
- ein- bis zweigeschossiges Haus auf weichem Boden: Fundamentbreite = 2 x Wandstärke

Wobei für sämtliche Varianten gilt, dass die Fundamenttiefe mindestens 40cm unter der Geländeoberkante reichen muss.⁵⁷⁰

Für die Ausführung des Fundamentes werden Stahlbeton, gebrannten Ziegel bis Feldsteine als Materialien empfohlen. Die Verwendung von Lehmbaustoffe ist für diesen Bauteil untersagt.⁵⁷¹

Bei der Errichtung von Lehmhäusern in Hang- bzw. Tallagen liefert NZS 4299 ein Schaubild, wie in diesem Fall die Fundamentierung zu erfolgen hat. Mindestabstände, die dabei einzuhalten sind, zeigt Abbildung 50. Falls ein Gebäude in steilerem Gelände errichtet wird, sind an die Bauwerksgründungen spezielle Maßnahmen erforderlich. Angaben dazu liefert NBC 204 durch ein Ausführungsbeispiel für ein abgestuftes Fundament (siehe Abbildung 50).⁵⁷²

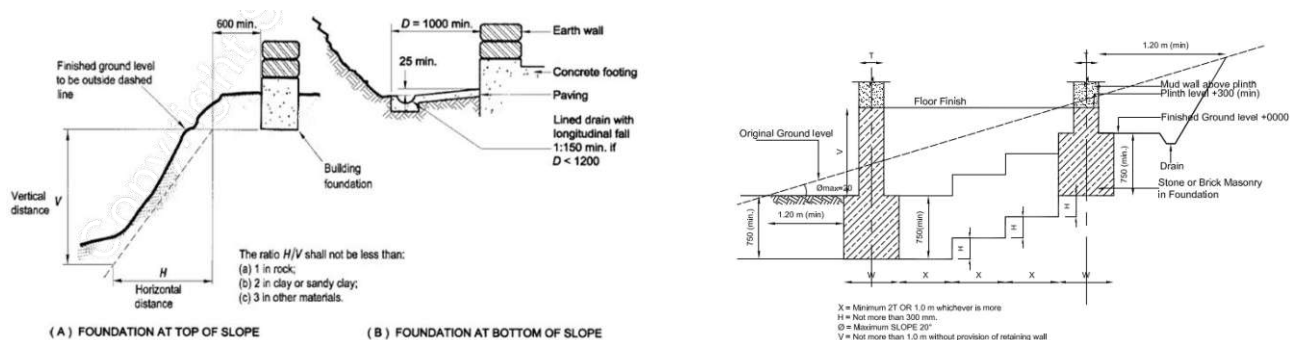


Abbildung 50 – Gründungen in Hang- und Tallage⁵⁷³

Detaillierte Angaben zur Ausführung von Fundamenten bei Stampflehmwänden beinhaltet NMAC 14.7.4. Zur Verbesserung einer kraftschlüssigen Verbindung des Fundamentes mit der Stampflehmwand empfiehlt diese Norm die Herstellung einer Nut-Verbindung. Dabei soll an der

⁵⁷⁰ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 10.3

⁵⁷¹ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.8.1; ASTM E 2392:2010, Abschnitt 7.1.3 und NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (G)

⁵⁷² Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 6

⁵⁷³ NZS 4299:1998, Bild 3.1 und NBC 204:2015, Bild 6.2

Fundamentoberkante eine Nut mit einer Mindestdiefe von 5cm und einer Mindestbreite von 15cm hergestellt werden, in die dann die Stampflehmwand voll hineingearbeitet wird. Um die Perimeterdämmung entsprechend in gleicher Flucht an die Stampflehmwand anschließen zu können, darf die Stampflehmwand bis zur Dicke der Perimeterdämmung die Fundamentaullagerfläche überragen, jedoch keinesfalls mehr als 5cm.⁵⁷⁴

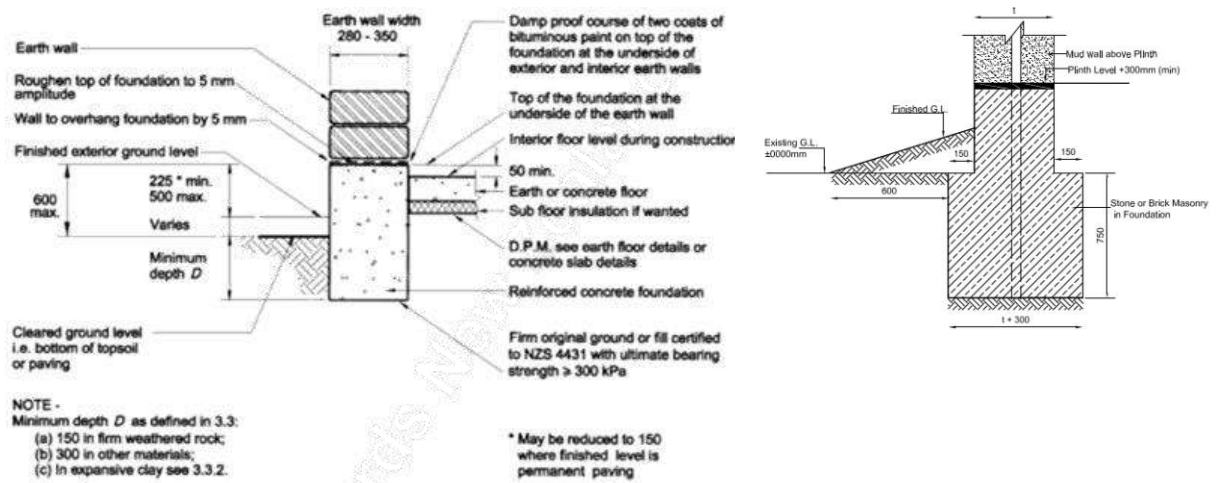
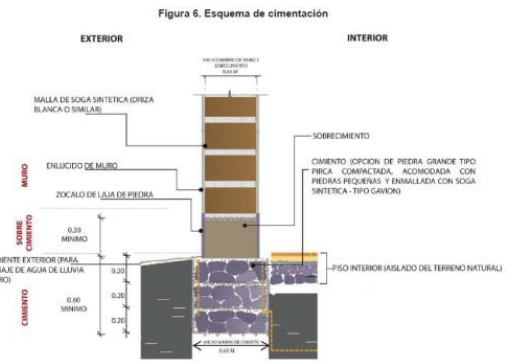
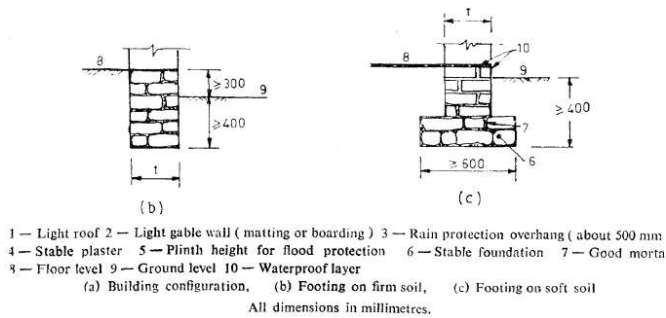


Abbildung 51 – Beispiele für die Ausführung von Fundamenten⁵⁷⁵

Alle vier Erdbebennormen NTE E.080, IS 13827, NEC SE VIVIENDA und NBC 204 haben gemeinsam, dass das Fundament zunächst bis zur Geländeoberkante hergestellt wird und darüber dann getrennt ein Sockel errichtet wird. Dieser soll mindestens 30cm über GOK reichen. Auf der Sockeloberkante wird dann eine Abdichtungsbahn verlegt.⁵⁷⁶

⁵⁷⁴ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 13 (A, B, C und D)

⁵⁷⁵ Von links nach rechts: IS 13827:1993, Bild 8; NTE E.080:2017, Bild 6; NZS 4299:1998, Bild 4.1; NBC 204:2015, Bild 6.1

⁵⁷⁶ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 4.3

Analyse:

Tabelle 54 – Anforderungen an das Fundament

LB-Normen	Bodentyp	Mat	H ü.GOK [cm]	B [cm]	T u. GOK [cm]	Kz	Er
LB-Regeln		Kein LZ				k	Nein
ASTM E 2392		Kein LZ	⁵⁷⁷			k	Ja
NEC-SE-V. ⁵⁷⁸			30 mit So			t,s,k	Ja
NMAC 14.7.4		Stb ⁵⁷⁹	15 ü FOK 9 ü FOK ⁵⁸⁰	20 bzw. Wb (LZ) ⁵⁸¹ 25 (SL)		t,s	Nein
NTE E.080 ⁵⁸²	Fest bis mittelfest	St, Stb, Zi mit Zm- od. Ka. Mörtel	30 mit So	60	60	t,s,k	Ja
IS 13827		St, Zi mit Zm- od. Ka. Mörtel	30 mit So	Wb bis 2x Wb	40	t,s	Ja
ZW HS 983 ⁵⁸³	Fels bis Lehmboden	Zi o.ä.		Wb bis 50		t	Nein
NZS 429x ⁵⁸⁴	Fest bis Lehmboden	Stb	5 ü. FOK 22,5 ⁵⁸⁵	Wb bzw. 28 ⁵⁸⁶ Max. 45	15 Fels 30	s,k	Ja

⁵⁷⁷ Die Fundamentoberkante sollte höher liegen als das mögliche Spritzwasser reichen kann bzw. über dem potentielle Hochwasserstand, vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitte 6.3.2 und 7.2.3.

⁵⁷⁸ Vgl. NEC SE VIVIENDA:2014, Bild 23

⁵⁷⁹ Stahlbeton wird nach NMAC 14.7.4 mit einer Mindestdruckfestigkeit von 17N/mm² und einer Mindestbewehrung von 3#4 hergestellt, vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 13 (A bis D).

⁵⁸⁰ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 12 (A, 4)

⁵⁸¹ Vgl. Ebda Abschnitt 11 (G)

⁵⁸² Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 7.1; Der Sockel weist eine Mindestbreite von 40cm auf.

⁵⁸³ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 9

⁵⁸⁴ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 4 und NZS 4297:1998, Abschnitt 9; NZS 4299 liefert u.a. auch detaillierte Angaben über die Ausführung des Fundamentes aus Stahlbeton inkl. Bewehrungsskizzen.

⁵⁸⁵ Dieser Wert kann auf 15cm reduziert werden, wenn die Geländeoberkante aus Pflastersteinen besteht, vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 9.3.5.

⁵⁸⁶ Der größere Wert ist dabei maßgebend, vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 4.2.1.

NBC 204		St, Zi	So	Wb+30	75	s	Ja
Fachverwandte Norm							
ÖNORM B 1997-1-2							-
ÖNORM B 4435-1							-

Gründungen für Lehmwände werden generell über Streifenfundamenten hergestellt. Die Abmessungen sind dabei abhängig von der Bodenbeschaffenheit und den Einwirkungen inklusive möglicher Erdbebenbelastungen. In der Regel entspricht dabei die Fundament-Mindestbreite der Lehmwandbreite und die Mindestdiefe hat einen direkten Zusammenhang zum vorhandenen Bodentyp. Als Material kann Stahlbeton, gebrannte Ziegel oder Feldsteine eingesetzt werden.

Allgemein wird die Berechnung und Bemessung von Flächengründungen mit der ÖNORM B 1997-1-2⁵⁸⁷ vorgenommen. Diese Norm gilt auch für Streifenfundamente und liefert für die Ermittlung deren Tragfähigkeit genaue Berechnungsvorgaben. Mit Publikation dieser Norm wurde die bis dahin gültige ÖNORM B 4435-1 zurückgezogen. Diese Norm enthielt für Streifenfundamente, die mittig und vertikal belastet wurden, einfache Dimensionierungstabellen, wie dies in der Regel für Lehmgebäuden, die maximal aus zwei Geschoße gebaut werden, der Fall ist. Mit Hilfe von Diagrammen kann über die vorhandene Bodenbeschaffenheit und die gewählten Abmessungen für das Streifenfundament der Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes $q_{f,d}$ bestimmt werden. Dieser Wert muss dann größer sein als der Bemessungswert des Sohldrucks q_d , der durch die Einwirkungen hergerufen wird.⁵⁸⁸

4.5.4 Ringbalken

Ein wesentliches Element für das statische Konzept eines Gebäudes stellt der Ringbalken dar. Dieser hat im Wesentlichen folgende Aufgaben:

- Ableitung der Lasten zu den anliegenden Querwänden,
- Verankerung der Decke oder Dachkonstruktion,
- Verbindung der Lehmwände untereinander.⁵⁸⁹

⁵⁸⁷ ÖNORM B 1997-1-2 enthält nationale Festlegungen zur europäischen Norm ÖNORM EN 1997-1, die in Österreich gelten.

⁵⁸⁸ Vgl. ÖNORM B 4435-1:2003, Bilder 1 bis 8 und ÖNORM B 1997-1-2:2019, Abschnitt 7

⁵⁸⁹ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 7.1.1

Grundsätzlich sollten Decken so ausgebildet werden, dass sie wie eine steife Scheibe wirken und damit horizontale Belastungen, die etwa durch ein Erdbeben hervorgerufen werden, aufnehmen und diese sicher in die Lehmwände einleiten können. Falls solch eine Scheibenwirkung durch eine Decke nicht vorhanden ist, dann ist das Lehmgebäude zwingend mit einem Ringbalken auszustatten.⁵⁹⁰

Der Ringbalken kann dabei aus (Stahl)beton, Holz oder Schilfrohren ausgeführt werden.⁵⁹¹ Nach NZS 4299 wird selbst bei Vorhandensein einer aussteifenden Deckenscheibe ein Ringbalken gefordert mit den Mindestmaßen von 20x5cm bei Verwendung von Holz und 20x10cm bei Beton. Diese Werte erhöhen sich in Erdbebengebieten. Für Lehmgebäude, die keine aussteifenden Scheiben aufweisen, sind die Dimensionen des Ringbalkens in dieser Norm abhängig vom Abstand der aussteifenden Querwände.⁵⁹²

Damit die horizontalen Lasten über die Decke oder Ringbalken ohne Schaden in die tragenden Wände übertragen werden können, ist es notwendig, dass der Lastfluss über eine ausreichende Verankerung des Ringbalkens in die Wand erfolgt. In den genannten Lehmbaunormen werden diese Verankerungen über Bewehrungsseisen, Gewindestangen oder Ankerbolzen sichergestellt. Eine detaillierte Dimensionierung für solch eine Ankerlänge liefert dabei NZS 4299. In dieser Norm ist die Einbindetiefe der Verankerung abhängig von der Windzone, wo sich das Gebäude befindet, und von der jeweiligen Dachform (schweres oder leichtes Dach).⁵⁹³

⁵⁹⁰ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 5.10; ASTM E 2392:2010, X1.4.3.1; Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.1.2; Bild 5.10 aus NZS 4299:1988 zeigt die Mindestmaße für Ringbalken aus Stahlbeton bei Lehmgebäuden ohne aussteifende Decke.

⁵⁹¹ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 7; NTE E.080:2017, Abschnitt 6.7; NMAC 14.7.4:2015, Abschnitte 11 (H bis J) und 17 (A bis C)

⁵⁹² Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 7

⁵⁹³ Vgl. Ebda Abschnitt 9.5; Bild 9.7 liefert die Ausführungsform für eine Verankerung in Lehmwänden.

Analyse:

Tabelle 55 – Anforderungen an den Ringbalken

LB-Normen	Mat	Dim [cm]	Bw	Anschluss	Anker-Länge [cm]	Kz	Er
ASTM E 2392	Holz Stahlbeton	k. A.			3 bis 6xWb ⁵⁹⁴	k	Ja
NMAC 14.7.4	Holz Stahlbeton	25x15 (LZ) Wbx15 (SL) ⁵⁹⁵	2#4 bis 2#5 ⁵⁹⁶	Ankerbolzen ⁵⁹⁷ #4 ⁵⁹⁸	10-45	t,s	Nein
NTE E.080	Holz Schilfrohr	k. A.				t,s,k	Ja
NZS 429x	Holz Stahlbeton	20x5 bis 30x10 20x10 bis 25x10	2D12 bis 2D16 ⁵⁹⁹	D12 ⁶⁰⁰	50-120	s,k	Ja
Fachverwandte Norm							
EN 1996	Holz, Stahl, Stahlbeton, Bew. Mw		150mm ²	Anker Reibung			-

⁵⁹⁴ Vgl. ASTM E 2392:2010, Bild 4

⁵⁹⁵ Eine Breitenreduktion von 5cm ist bei Stampflehmwänden mit einer Breite von 45 bis 60cm möglich bzw. 7,5cm bei Wänden mit einer Breite von über 60cm. Die Mindestdruckfestigkeit des Betons beträgt dabei 17N/mm². Bewehrungsstäbe 2#4 werden bei Stampflehmwände mit einer Breite von 45cm bis 60cm und 2#5 bei Stampflehmwände mit einer Breite von mehr als 60cm verwendet. Die Mindestbetondeckung beträgt 5cm, vgl. NMAC 14.7.4:2015 Abschnitt 17 (A bis C).

⁵⁹⁶ Der Bewehrungsstab #4 entspricht einem Durchmesser von 13mm und #5 einem Durchmesser von 16mm.

⁵⁹⁷ Die Befestigung eines Holzträgers an die Stampflehmwand erfolgt durch 38mm breitem Ankerbolzen mit einem 10cm lagen Haken, die mit einem Abstand von 1,2m in die Wand eingebracht werden und dabei nicht näher als 15cm an der Wandaußenseite liegen dürfen, vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 16 (I).

⁵⁹⁸ Bewehrungsstäbe #4 werden unter einem Winkel von 20° in die noch nicht ausgehärtete Wand in einem Abstand von 60cm und nicht näher als 10cm zur Wandaußenseite in die Stampflehmwand gesetzt. Dieser muss mindestens 10cm in die Wand und 5cm in den Betonbalken eindringen, vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 16 (H).

⁵⁹⁹ Bild 7.3 der NZS 4299:1998 liefert eine Darstellung wie ein Ringbalken aus Stahlbeton auf eine Stampflehmwand oder Lehmziegelwand angebracht werden kann.

⁶⁰⁰ Vgl. NZS 4299:1998, Bild 6.3

Von den untersuchten Lehmbaunormen liefern vor allem die beiden Normen NZS 4299 und NMAC 14.7.4 detaillierte Angaben für die Ausführung von Ringbalken aus Holz oder Stahlbeton. Bei der Betrachtung der angegebenen Mindestquerschnitte für Holz und Stahlbeton zeigt sich interessanterweise, dass obwohl NMAC 14.7.4 nicht für Erdbebenbelastungen ausgelegt ist, die Werte für das Widerstandsmoment bzw. die Querschnittsfläche höher sind als die von NZS 4299.

Ansonsten finden sich keine großen Unterschiede in den Normen. Alle weisen auf die Wichtigkeit eines Ringbalkens hin, ob als Auflagerfläche für die Dachkonstruktion oder wenn das Dach selbst nicht als eine steife Scheibe wirkt zur Gebäudeaussteifung. Die genaue Dimensionierung obliegt dann einer statischen Berechnung für das gesamte Lehmbauprojekt.

In der bestehenden ÖNORM EN 1996 für den Mauerwerksbau wird in gleicher Weise das Thema zum Ringbalken behandelt. Auch in dieser Norm wird zunächst darauf hingewiesen, dass die Ableitung der horizontalen Bemessungslasten über eine aussteifende Decke erfolgen soll. Als Alternative dazu wird auf den Ringbalken hingewiesen. Für den Anschluss an die lastabtragende Wand gibt es zwei Möglichkeiten. Dieser Anschluss kann entweder durch einen Anker oder durch Reibung erfolgen. Die Ringbalken können nach dieser Norm entweder aus Stahlbeton, bewehrtem Mauerwerk, Stahl oder Holz bestehen und sollten in der Lage sein eine Zugkraft von 45kN übertragen zu können.⁶⁰¹

4.5.5 Gebäudeaussteifung

Lehmgebäude sind nach NZS 4299 so auszuführen, dass sie eine ausreichende Aussteifung gegen horizontale Windlasten bzw. Erdbebenbelastungen aufweisen. Bereits in der Planung kann dabei darauf geachtet werden, dass die Exzentrizität von Wänden vermieden wird, in dem sich die Gebäudemasse möglichst im Schwerpunkt befindet.⁶⁰²

Zur Unterstützung der Aussteifung können auch seitliche Stützwände errichtet werden. Die Dimensionen dieser Wände sind nach NZS 4299 dabei abhängig von der jeweiligen Lehmwandhöhe. So weisen diese eine Mindestlänge von 1,2m und eine Mindesthöhe von 1,8m auf bei einer Lehmwandhöhe von 2,4m, eine Mindestlänge von 1,5m bei einer Wandhöhe von 3,0m und Mindestlänge von 1,8m bei einer Wandhöhe von 3,3m.⁶⁰³ Diese seitlichen Stützwände können aus

⁶⁰¹ Vgl. ÖNORM EN 1996-1-1:2013, Abschnitt 8.5.1

⁶⁰² Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 4.6.4

⁶⁰³ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 5.3.5

Holz, Stahl, Stahlbeton oder bewehrtem Mauerwerk ausgeführt werden.⁶⁰⁴ Nach NMAC 14.7.4 können Stampflehmwände, die eine Dicke von 45cm bis 60cm aufweisen, auf folgende Weise noch zusätzlich seitlich gestützt werden:

- durch eine seitliche Stampflehmwand, die durch einen Verbindungsbalken mit der Stampflehmwand verbunden ist,
- durch eine seitliche Lehmziegelwand mit einer Mindestdicke von 25cm, die ebenfalls mittels eines Verbindungsbalken mit der Stampflehmwand verbunden ist,
- durch einen Stahl- oder Holzrahmenwand.

Diese seitlichen Stützmauern müssen mindestens 95cm oder 33% der Wandhöhe breit sein und eine Höhe von mindestens 75% der gesamten Wandhöhe erreichen.⁶⁰⁵

Auch während der Bauausführung von Lehmgebäude ist dafür zu achten, dass für jeden einzelnen Bauzustand eine ausreichende Aussteifung gegen Windbelastung oder andere Lastangriffe sichergestellt ist.⁶⁰⁶

Nach den Lehm bau-Regeln gilt, dass wenn aussteifende Querwände durch Öffnungen unterbrochen sind, der Abstand der ersten Öffnung von der aussteiften Wand mehr als ein Viertel der Geschosshöhe betragen muss oder mindestens 75cm. Aussteifende Wände müssen ohne größere Schwächung und Vorsprünge bis auf den Sockel oder dem Kellermauerwerk reichen. Ist das gleichzeitige Hochführen der Wände baulich besonders schwierig, sind Mauerwerkswände zu verzahnen und Stampflehmwände sind untereinander oder mit Mauerwerkswänden mit einer 5cm tiefen Nut in der auszusteifenden Wand zu verbinden.⁶⁰⁷

Analyse:

Detaillierte Angaben zur Gebäudeaussteifung enthalten vor allem die Lehmbaunormen über Erdbeben. In diesen finden sich beispielsweise Schaubilder mit Mindestmaßen für seitliche

⁶⁰⁴ Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 4.6.3

⁶⁰⁵ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 12 (E) bzw. Bilder 5 bis 7

⁶⁰⁶ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.8

⁶⁰⁷ Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.1.2

Stützwände und Wandöffnungen (siehe dazu Abschnitt 4.9). Ansonsten gilt für das Lehmgebäude wie für alle anderen Bauformen auch, dass diese eine ausreichende Aussteifung aufweisen müssen.

4.5.6 Wandöffnungen

Wandöffnungen können gemäß den untersuchten Lehmbaunormen in zwei Formen ausgeführt werden. Die eine Art ist die klassische Bauweise mit einem Sturz, der in der Regel aus Holz oder Stahlbeton hergestellt wird. Alternativ dazu kann auch der horizontale Abschluss einer Wandöffnung über einen Rund- oder Spitzbogen erfolgen. In den meisten Normen werden relativ genaue Angaben gemacht betreffend den Mindestmaßen dieser Elemente. Dies gilt im Speziellen für die Normen deren Schwerpunkt Erdbeben darstellt (siehe dazu Abschnitt 4.9). Beschrieben werden u.a. folgenden Abmessungen:

- horizontaler Abstand der Wandöffnung zur äußeren Wandkante,
- horizontales Mindestmaß zwischen zwei Wandöffnungen,
- maximale Länge einer Wandöffnung oder der Summe aller Wandöffnungen,
- Auflagerfläche von Stürzen.

Die Verankerung der Fenster- und Türrahmen soll nach NZS 4299 sicher in die Lehmwand erfolgen. Über detaillierte Skizzen werden diese Ausführungen beschrieben, und zwar zu folgenden Einbausituationen:

- Verankerungen des Holzrahmens für Türen und Fenster an Lehmwänden,
- Fensterdetails zu Sturz, vertikalen Pfosten und Fensterbrett,
- Detaillösung wie ein Holzrahmen an Lehmziegelwänden befestigt wird unter Berücksichtigung einer möglichen vertikalen Schwindung der Wand.⁶⁰⁸

Die Befestigung von Türen oder Fenster an eine Stampflehmwand erfolgt nach NMAC 14.7.4 durch eine Blindleiste dessen Befestigung über Nägel sichergestellt wird, die zumindest 7,5cm in die Stampflehmwand einzuarbeiten sind. Schwerere Elemente können auch mit Ankerbolzen oder Stahlstifte montiert werden, die in der Wand eingebettet werden.⁶⁰⁹

⁶⁰⁸ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 9 und Bilder 9.1 bis 9.5

⁶⁰⁹ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 16 (E)

Für Wanddurchführungen gilt, dass diese dann ohne Stürze ausgeführt werden dürfen, solange diese den geforderten Maximalbreiten von in der Regel zwischen 20 und 30cm nicht überschreiten.

Betreffend Installationsrohre bzw. Elektroverkabelungen dürfen diese horizontal oder vertikal in das Wandsystem verlegt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass es dadurch nicht zu einer Schwächung der vorhandenen Wandbreite kommt. Detaillierte Angaben dazu finden sich etwa für Stampflehmwände in NMAC 14.7.4. Nach dieser Norm darf in keinem Fall die Stampflehmwand auf beiden Seiten durch Kanäle oder Befestigungsleisten so geschwächt werden, sodass sich eine Art Sanduhr ausbildet. Deshalb müssen die Kanäle unter einem Mindestmaß von 46cm versetzt angeordnet werden, ähnlich den Befestigungsleisten nach Abschnitt 4.5.7.⁶¹⁰ Ferner wird in diesem Standard festgehalten, dass solche Rohre im Zuge des Rammvorganges bereits in das Wandsystem verlegt werden können unter der Voraussetzung, dass diese eine ausreichende Festigkeit aufweisen, um die Stampfdrücken standzuhalten. Dabei muss vor dem Rammen über jedem horizontalen Rohr eine Erdbabdeckung von mindestens 12,5cm vorgesehen werden.⁶¹¹ Abbildung 52 zeigt ein Beispiel für die Verlegung von vertikalen und horizontalen Rohrleitungen.

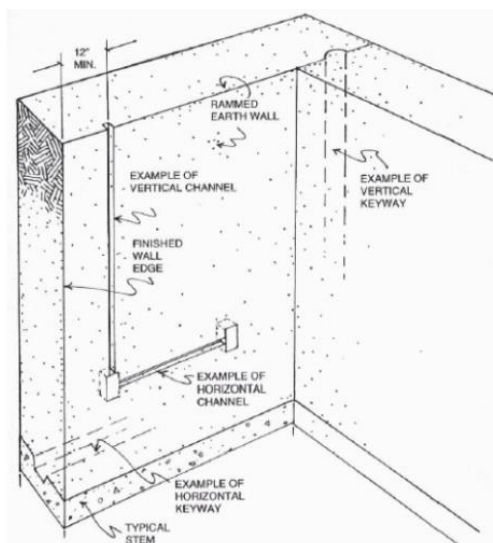


Abbildung 52 – Beispiel für die Verlegung von vertikalen und horizontalen Rohrleitungen⁶¹²

⁶¹⁰ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 12 (A, 6) und Bild 4

⁶¹¹ Vgl. Ebda Abschnitte 21 und 22

⁶¹² Ebda Bild 2

Analyse:

Tabelle 56 – Anforderungen an eine Wandöffnung mit Sturz

LB-Normen	Abst Aw-Kante zu Wö [cm]	Abst zw. Wö [cm]	Max. Wö [cm]	Mat Sz	Auflager Sz [cm]	Kz	Er
LB-Regeln ⁶¹³	¼Wh, 75				L=24	k	Nein
ZW HS 983 ⁶¹⁴		60 oder >Wö	ΣWö<½WI	Hz ⁶¹⁵ , Stb	L=20	t	Nein
NMAC 14.7.4 bei LZ ⁶¹⁶			120-360 180-480	Hz Stb (2#4 bis 3#6)	L=30-60 L=30-60	t,s	Nein
NMAC 14.7.4 bei SL ⁶¹⁷	90	2700m ² L=60, B=45	60-240	Stb (3#4-3#5)	L=15-30	t,s	Nein
ASTM E 2392 ⁶¹⁸		120	120 ΣWö<½WI		L=30	k	Ja
NZS 429x ⁶¹⁹	90	60		Hz Stb ⁶²⁰	L=30, B=5 L=20, B=10	s,k	Ja
NEC-SE-V.	120					t,s,k	Ja
NTE E.080 ⁶²¹	Zw. 3Wb u.		QL/3	Hz.		t,s,k	Ja

⁶¹³ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.1.2

⁶¹⁴ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 18

⁶¹⁵ Bei einer Ausführung aus Holz ist dieses vor Termiten, holzbohrenden Insekten und Feuchte zu schützen.

⁶¹⁶ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (K bis M); Der Holzquerschnitt für den Sturz mit einer Mindestfaserspannung von 6 bis 9N/mm² reicht von 25x15cm bis 30x36cm. Angaben zu den unterschiedlichen Spannweiten, Querschnitt und Auflagerlänge enthält Tabelle 2 für Holz und Tabelle 3 für Stahlbeton.

⁶¹⁷ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 12 (G und F) bzw. Bilder 8 und 9; Diese Werte gelten für Stampflehmwänden mit einer Dicke von 45 bis 60cm. Stampflehmwände die breiter als 60cm sind, sind selbsttragend, daher hat hier die Lage der Wandöffnung keine Bedeutung. Neben Stahlbeton kann der Sturz auch aus Holz ausgeführt werden.

⁶¹⁸ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitte 7.1.4 und X.1.4.6.3

⁶¹⁹ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 5.1

⁶²⁰ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 8; Die Bilder 8.1 und 8.2 zeigen Ausführungsbeispiele aus Holz. Die Tabellen 8.1 und 8.2 enthalten Dimensionierungsangaben für die Ausführung von Stahlbetonstürze.

⁶²¹ Vgl. NTE E.080:2017, Bild 2

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

	5Wb			Schilfrohr			
IS 13827 ⁶²²	120	120	120 $\sum W\ddot{o} < \frac{1}{3} Wl$		L=30	t,s	Ja
NBC 204 ⁶²³	120	120	$\sum W\ddot{o} < 120$ zw. Querwände		L=50	s	Ja

Tabelle 56 liefert eine Übersicht über die wichtigsten Abmessungen für Wandöffnungen mit Ausführung eines Sturzes. Dabei lässt sich leicht erkennen, dass ein wesentlicher Unterschied darin besteht, ob ein Erdbebengebiet vorliegt oder nicht. Dementsprechend erhöhen sich die Grenzwerte zu den Abmessungen. Auffallend ist auch, dass die Erdbebennormen aus Asien und Südamerika beinahe idente Vorgaben liefern. Anschauliche Gebäudeskizzen mit den Mindestmaßen enthalten in der Regel auch diese Normen und sind in der Abbildung 62 (Abschnitt 4.10.3) ersichtlich.

Tabelle 57 – Anforderungen an eine Wandöffnungen als Bogen

LB-Normen	Abst Aw-Kante zu Wö [cm]	Abst Bogenscheitel zu OK Wand [cm]	Max. Wö [cm]		Stichhöhe	Kz	Er
NMAC 14.7.4 ⁶²⁴		k.A.	s.u.		k.A.	t,s	Nein
ZW HS 983 ⁶²⁵		45	100		Wö/2	t	Nein
NZS 429x ⁶²⁶	120	30 oder Wö/4	180		Wö/4	s,k	Ja

Die Tabelle 57 zeigt eine Zusammenstellung für Wandöffnungen, die mit einem Spitz- oder Rundbogen ausgeführt werden. Die typischen Erdbebennormen enthalten keine Bestimmungen zu dieser Ausführungsform.

⁶²² Vgl. IS 13827:1993, Abschnitte 10.1.5 bis 10.1.8 und Bild 5

⁶²³ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 8

⁶²⁴ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 18 (A). Der horizontale Abschluss einer Wandöffnung kann als Sturz oder Rundbogen ausgeführt werden.

⁶²⁵ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 18

⁶²⁶ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 9.4 und Bild 9.6

Tabelle 58 – Anforderungen an Wanddurchführungen bzw. Installationsrohre

LB-Normen	WD [cm]	Horizontale Installationskanäle	Kanalbreite			Kz	Er
NMAC 14.7.4 ⁶²⁷	20x30 ⁶²⁸	Dimension 5x10cm	$\frac{1}{3}Wb$			t,s	Nein
ZW HS 983 ⁶²⁹	B=30	im mittleren Drittel der Wb	0,1Wb			t	Nein
NZS 429x ⁶³⁰	B=20	im mittleren Drittel der Wb	0,1Wb			s,k	Ja

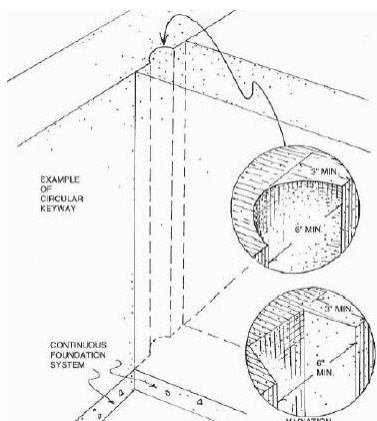
Abschließend sind noch in der Tabelle 58 die wichtigsten Maße in Bezug auf die Wanddurchführung und Installationsrohre zusammengefasst.

4.5.7 Anschlüsse und Befestigung

Anforderungen für die Ausführung von Anschlüssen und Befestigung finden sich vor allem in den Normen für Stampflehmwände. In diesem Zusammenhang sind im Speziellen die beiden Standards ZW HS 983 und NMAC 14.7.4 zu nennen.

Folgende Anschlüsse bzw. Befestigungsformen beinhalten u.a. diese Normen:

Anschluss Stampflehmwand an Stampflehmwand:⁶³¹



Mittels Ausführung einer Nut mit einer Mindestbreite von 15cm und Mindesttiefe von 7,5cm in der Mitte der anzuschließenden Wand wird ein Anschluss unter zwei Stampflehmwänden hergestellt.

Abbildung 53 – Anschluss Stampflehmwände

⁶²⁷ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14 (H); Vertikale Installationsrohre dürfen nicht gegenüberliegen.

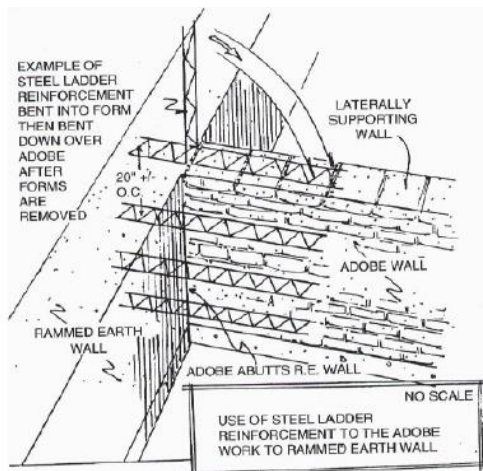
⁶²⁸ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 15 (A und C)

⁶²⁹ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 22.2 und Bild 12

⁶³⁰ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.1.12

⁶³¹ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 16 (B) und Bild 3

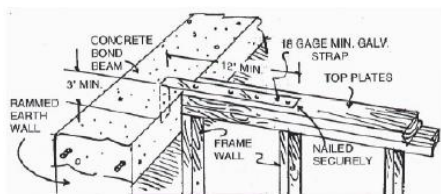
Anschluss lastableitende Lehmziegelwand und Stampflehmwand:⁶³²



Wenn die Innenwand aus Lehmziegel ausgeführt wird und an eine Stampflehmwand anschließt, so soll diese eine Mindestdicke von 25cm aufweisen. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Verbundes der beiden Wandelemente werden Stahlbewehrungsgitter eingearbeitet. Als Alternative dazu ist das Verfahren einer Nut zulässig, sofern die Nuttiefe gleich der Lehmziegelwandbreite ist und nicht mehr als ein Drittel der Stampflehmwand ausmacht.

Abbildung 54 – Anschluss Lehmziegelwand

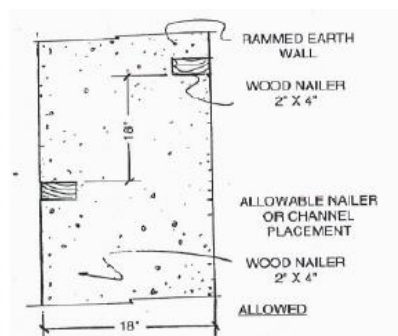
Anschluss lasttragende Holz- oder Stahlträgerwand an eine Stampflehmwand:⁶³³



In den Ringbalken aus Stahlbeton wird ein Befestigungseisen verankert, an dem die Holz- oder Stahlträgerwand befestigt werden kann.

Abbildung 55 – Anschluss Holzträgerwand

Holzleisten zur Befestigung bzw. Kanäle:⁶³⁴



Kanäle bzw. Holzleisten, die in die Wand eingelegt werden und später als Befestigungsleiste dienen, dürfen in der Wand nicht direkt gegenüber liegen, sondern müssen zueinander einen Abstand von mindestens der Wanddicken aufweisen. Die verwendeten Holzleisten sollen nicht größer als 5x10cm sein.

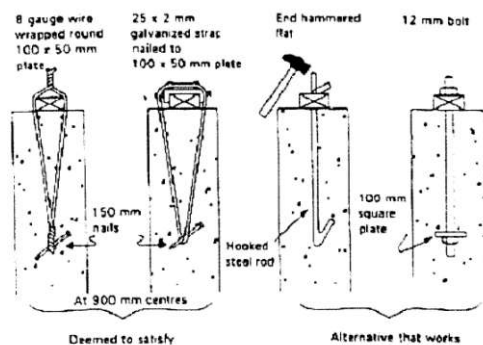
Abbildung 56 – Holzleisten zur Befestigung

⁶³² Vgl. Ebda Abschnitt 16 (C) und Bild 12

⁶³³ Vgl. Ebda Abschnitt 16 (D) und Bild 14

⁶³⁴ Vgl. Ebda Abschnitt 14, H (1) und Bild 4

Befestigungen an Stampflehmwänden:⁶³⁵



Befestigungen z.B. von Leichtdächern, deren Dachlast kleiner als die des Windsoges ist, können mittels verzinkten Drahts erfolgen unter Verwendung eines 150mm langen Ankers, der zumindest 45cm tief in der Wand befestigt wird. Als Alternative dazu sind auch Metallanker zulässig.

Abbildung 57 – Befestigungen an Stampflehmwänden

4.6 Bemessung von Lehmgebäuden

Angaben zur Bemessung auf Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Lehmbauten finden sich in den Lehmbaunormen nur sehr spärlich. Die Lehm-Bau-Regeln beinhalten etwa nur den Hinweis, dass die Dimensionierung auf Basis des globalen Sicherheitskonzeptes erfolgen soll. Gleiches gilt auch für die Normen NTE E.080 und NZS 429x. In NTE E.080 ist für die statische Bemessung ein globaler Sicherheitsfaktor von 2,5 anzuwenden bzw. 3, wenn keine Labortests für den Baulehm vorliegen.⁶³⁶ Des Weiteren enthalten die beiden südamerikanischen Normen NTE E.080 und NEC-SE-VIVIENDA noch einfache Verfahren, wie für Lehmbauten unter Erdbebenbelastung die dafür notwendig horizontale Ersatzlast ermittelt werden kann.

Eine detaillierte Abhandlung für die Erstellung eines statischen Konzeptes enthält lediglich die Normenreihe NZS 429x. In der Folge wird diese Lehm-Bau-Norm mit der in Europa gültigen Berechnungsmethode Eurocode 6 „Mauerwerksbau“ für die wichtigsten Nachweise von einem unbewehrten Lehmgebäude⁶³⁷ verglichen. Ein wesentlicher Unterschied der beiden Normen stellt das für die Bemessung zugrunde gelegte Sicherheitskonzept dar. Enthält NZS 4297 für die jeweilige

⁶³⁵ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 20 und Bild 8

⁶³⁶ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 9

⁶³⁷ NZS 4297 enthält analog zur Nachweisführung von unbewehrten Lehmbauten auch Nachweise für Lehm-Bau-Werk, die durch Stahlbewehrung verstärkt sind. Wirken zusätzlich auch noch Erdbebenlasten, so ist für die ungünstigste Lastkombination aus vertikaler und horizontaler Belastung der Nachweis zu führen, vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 6.5.

Beanspruchung (Schub, Zug, Druck etc.) einen eigenen globalen Sicherheitsfaktor, so beinhaltet ÖNORM EN 1996 das Konzept des Teilsicherheitsbeiwertes, das zum einen auf der Widerstandesseite für das Material und zum anderen auf der Beanspruchungsseite für Eigenlasten, Nutzlasten und außergewöhnliche Lasten eigene Teilsicherheitsbeiwerte definiert. Tabelle 59 liefert für die unterschiedlichen Normen eine Übersicht für das jeweilige Bemessungskonzept und dessen Grundgleichungen zur Nachweisführung.

Tabelle 59 – Übersicht der Bemessungskonzepte

LB-Normen	Bemessungsmethode	Nachweis	Kz	Er
LB-Regeln	globale Sicherheitskonzept	$\sigma_{vorh} \leq \sigma_{zul} = \frac{\sigma_k}{\gamma_{glob}}$	k	Nein
NTE E.080 ⁶³⁸	globale Sicherheitskonzept		t,s,k	Ja
NZS 429x	globale Sicherheitskonzept	$S^* \leq \varphi \cdot S_n$ ⁶³⁹	s,k	Ja
Fachverwandte Norm				
ÖNORM EN 1996 ÖNORM B 1996	semiprobabilistische Sicherheitskonzept	$\frac{R}{\gamma_{Rd}} \geq \gamma_{Sd} \cdot E$		-
Es bedeutet:				
σ_{vorh}	vorhandene Spannung			
σ_{zul}	zulässige Spannung			
γ_{glob}	globale Sicherheitsbeiwert			
S^*	design action at the ultimate limit state			
S_n	nominal strength at the ultimate limit state for the relevant action of moment, axial load, shear and torsion			
φ	capacity reduction factor ($\varphi=0,60$ for axial compression; $\varphi=0,80$ for flexure; $\varphi=0,70$ for shear)			
R_d	Widerstand			
γ_{Rd}	Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Unsicherheit des Widerstandsmodells			
E	Auswirkung der Einwirkungen			
γ_{Sd}	Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Unsicherheit des Einwirkungs- und/oder Auswirkungsmodells			

Die Bemessung von bis zu zweigeschossigen Gebäuden kann nach Eurocode 6 mit dem vereinfachten Verfahren durchgeführt werden, das in ÖNORM EN 1996-3 beschrieben ist. Die wichtigsten Anwendungsgrenzen, damit dieses Verfahren anwendbar ist, sind:

- Gebäudehöhe von maximal 12m,
- Stützweite der auf den Wänden aufliegenden Decken von nicht mehr als 7m,
- lichte Geschoßhöhe im Erdgeschoss von maximal 3,2m,
- veränderliche Einwirkungen auf Decken und dem Dach von nicht mehr als 5kN/m²,
- Wände der verschiedenen Geschoße stehen übereinander,

⁶³⁸ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.1

⁶³⁹ NZS 4297:1998, Gleichung 5.1

- Auflagertiefe von nicht weniger als 7,5cm bzw. mindestens dem 0,4fachen der Wanddicke.

In der Folge werden drei wichtige statische Nachweise für ein Lehmgebäude angeschrieben, indem jeweils die Formeln, die nach NZS 4297 und ÖNORM EN 1996 gelten, gegenübergestellt werden. Abgerundet wird dieser Vergleich durch ein Berechnungsbeispiel⁶⁴⁰ für ein zweigeschossiges Lehmgebäude.

Nachweis 1: Vertikale Tragfähigkeit einer Wand

Tabelle 60 – Nachweis für die vertikale Tragfähigkeit einer Wand

ZS 4297 ⁶⁴¹	ÖNORM EN 1996-3 ⁶⁴²
$N^* \leq k \phi N_0$ (4-42)	$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi_S f_d A$ (4-45)
$N_0 = f_e A_b$ (4-43)	$f_d = f_k / \gamma_M$ (4-46)
$S_r = a_v h / t \rightarrow$ mit Tabelle 6.1, NZS 4297 folgt k (4-44)	$\phi_S = 0,85 - 0,0011(h_{ef}/t_{ef})^2$ oder (4-47)
	$\phi_S = 1,3 - l_f/8 \leq 0,85$ oder $\phi_S = 0,4$ (4-48)
	$h_{ef} = 0,75 h$ (4-49)
<p><u>Beispiel:</u></p> <p>$\Phi=0,6, f_e=0,5N/mm^2, t=0,37m, h=2,75m, a_v=0,75$</p> <p>$S_r = a_v h / t = 5,6 \rightarrow k = 1$</p> <p>$N^* = 65,5kN/m \leq k \phi N_0 = \underline{111kN/m}$</p>	<p><u>Beispiel</u></p> <p>$f_k=1,44N/mm^2, \gamma_M=2,10, t=0,37m, h=2,75m,$</p> <p>$h_{ef} = 0,75 h = 2,06m$</p> <p>$\phi_S = 0,85 - 0,0011(h_{ef}/t_{ef})^2 = 0,82$</p> <p>$\phi_S = 1,3 - l_f/8 = 0,91 \leq 0,85 \rightarrow \phi_S = 0,4$</p> <p>$N_{Ed}=90,4kN/m \leq N_{Rd} = \phi_S f_d A = \underline{101,5kN/m}$</p>
<p><u>Es bedeutet:</u></p> <p>N^* nominal axial load at the ultimate limit state</p> <p>N_0 nominal compressive strength of the cross section</p> <p>k reduction factor for slenderness and eccentricity</p> <p>ϕ capacity reduction factor</p> <p>f_e compressive strength of earth wall construction</p> <p>A_b area of earth cross section</p> <p>S_r slenderness ratio</p> <p>a_v coefficient for assessing slenderness ratio;</p>	<p><u>Es bedeutet:</u></p> <p>N_{Ed} Bemessungswert der vertikalen Belastung der Wand</p> <p>N_{Rd} Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstandes einer Wand</p> <p>ϕ_S Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Schlankheit und der Lastausmitte</p> <p>A belastete Bruttoquerschnittsfläche der Wand</p> <p>f_d Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerkes</p> <p>f_k charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit</p> <p>γ_M Teilsicherheitsbeiwert für das Material</p> <p>l_f Stützweite einer Decke</p>

⁶⁴⁰ Vgl. Rischaneck 2009, Abschnitt 5 und Anhang G; Die Bemessungswerte für die Einwirkung wurden aus diesem Beispiel übernommen.

⁶⁴¹ Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 6.4.3.2

⁶⁴² Vgl. ÖNORM EN 1996-3:2009, Abschnitt 4.2.2

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

h	height of member	h_{ef}	Knicklänge der Wand
t	thickness or depth of wall perpendicular to the principal axis under consideration	t_{ef}	effektive Wanddicke

Nachweis 2: Wände unter Einzellast

Tabelle 61 – Nachweis für Wände unter Einzellast

NZS 4297 ⁶⁴³	ÖNORM EN 1996-3 ⁶⁴⁴
$N^* \leq \phi k_b N_0$ (4-50)	$N_{Ed} \leq N_{Rd} = (1,2+0,4a_1/h_c) A_b f_d$ (4-53)
$k_b = 0,55(1+0,5a_1/L)/(A_{ds}/A_{de})^{0,33}$ oder (4-51)	jedoch nicht größer als $1,5 f_d A_b$ (4-54)
$k_b = 1,5 + a_1/L$, wobei der kleinere Wert maßgebend ist, jedoch nicht kleiner 1. (4-52)	$f_d = f_k / \gamma_M$ (4-55)
<p><u>Beispiel:</u></p> <p>$L=1,2m, a_1=0,7m, L_e=2,3m,$ $A_{ds}=0,036m^2; A_{de}=0,85m^2$ $k_b = 0,55(1+0,5a_1/L)/(A_{ds}/A_{de})^{0,33}=2,02$ $k_b = 1,5 + a_1/L=2,08;$ $N^*=19,6kN \leq \phi k_b N_0 = \underline{21,8kN}$</p>	<p><u>Beispiel:</u></p> <p>$a_1=0,7m, h_c=2,3m, A_b=0,036m^2;$ $N_{Ed} = 27,2kN \leq N_{Rd} = (1,2+0,4a_1/h_c) A_b f_d = \underline{32,6kN}$</p>
<p><u>Es bedeutet:</u></p> <p>N^* nominal axial load at the ultimate limit state N_0 nominal compressive strength of the cross section k_b concentrated bearing factor ϕ capacity reduction factor A_{ds} bearing or dispersion area of the concentrated load at the design cross section A_{de} effective area of dispersion of the concentrated load in the member at mid-height $A_{de} = L_e t$ a_1 distance from the end of the wall L clear length of the wall</p>	<p><u>Es bedeutet:</u></p> <p>N_{Ed} Bemessungswert der vertikalen Belastung der Wand N_{Rd} Bemessungswert des vertikalen Tragwiderstandes einer Wand a_1 Abstand zwischen Wandende und dem näher gelegenen Rand der durch die Einzellast belasteten Teilfläche h_c Höhe der Wand vom Boden bis zur Ebene der Lasteinleitung A_b belastete Fläche f_d Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerkes f_k charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit γ_M Teilsicherheitsbeiwert für das Material</p>

⁶⁴³ Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 6.4.3.4

⁶⁴⁴ Vgl. ÖNORM EN 1996-3:2009, Abschnitt 4.3

Nachweis 3: Schubtragfähigkeit von Wänden

Tabelle 62 – Nachweis für die Schubtragfähigkeit von Wänden

NZS 4297 ⁶⁴⁵	ÖNORM EN 1996-3 ⁶⁴⁶
$V^* \leq \phi (f_{es} A_b + k_v f_d A_b)$ oder (4-56)	$V_{Ed} \leq V_{Rd} = 3(l/2 - e_{Ed}) t f_{vdo} + 0,4N_{Ed} / \gamma_M$ (4-59)
$V^* \leq 5 \phi f_{es} A_b$ wobei der kleinere Wert maßgebend ist (4-57)	kleiner als $3(l/2 - e_{Ed}) t f_{vdu}$ (4-60)
(4-58)	$e_{Ed} = M_{Ed} / N_{Ed}$ aber nicht kleiner als $l/6$ (4-61)
Beispiel: $f_{es} = 0,08 \text{ N/mm}^2$, $A_b = 4,44 \text{ m}^2$, $k_v = 0,3$, $\phi = 0,7$ $V^* \leq 5 \phi f_{es} = 1243 \text{ kN}$ $V^* = 60,4 \text{ kN} \leq \phi (f_{es} A_b + k_v f_d A_b) = \underline{413,7 \text{ kN}}$	Beispiel: $f_{vdo} = 0,1 \text{ N/mm}^2$, $l = 12 \text{ m}$, $M_{Ed} = 370,3 \text{ kNm}$, $V_{Ed} = 91,2 \text{ kN}$ $e_{Ed} = M_{Ed} / N_{Ed} = 0,34 \text{ m}$ $V_{Ed} = 91,2 \leq V_{Rd} = 3(l/2 - e_{Ed}) t f_{vdo} + 0,4N_{Ed} / \gamma_M = \underline{311,67 \text{ kN}}$
Es bedeutet: V^* design shear force acting on the cross section ϕ capacity reduction factor f_{es} shear strength of earth A_b area of earth cross section k_v shear factor f_d compressive stress acting on section under the design loading	Es bedeutet: V_{Ed} Bemessungswert der Schubkraft auf die Wand V_{Rd} Bemessungswert der Schubtragfähigkeit der Wand M_{Ed} Bemessungswert des Biegemomentes im betrachteten Querschnitt N_{Ed} Bemessungswert der Druckkraft im betrachteten Querschnitt e_{Ed} Lastexzentrizität im betrachteten Querschnitt l Länge der Wand in Richtung der Biegebeanspruchung t Wanddicke f_{vdo} Bemessungswert der Haftscherfestigkeit geteilt durch γ_M f_{vdu} Bemessungsgrenzwert der Schubfestigkeit

Vergleicht man die drei verschiedenen Berechnungsformen für die Tragfähigkeit eines Lehmgebäudes, so lässt sich sehr gut erkennen, dass der Aufbau der Nachweisführung von der Struktur her durchaus vergleichbar ist und sich im Wesentlichen nur durch das unterschiedliche Sicherheitskonzept unterscheidet. Finden sich im globalen Sicherheitskonzept von NZS 4297 nur ein Sicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite, so beinhaltet das semiprobabilistische Konzept sowohl auf der Widerstandsseite als auch auf der Einwirkungsseite jeweils ein Teilsicherheitsbeiwert. Auf der Widerstandsseite kann dieser für den Lehmbau mit 2,10 angenommen werden⁶⁴⁷ und auf der

⁶⁴⁵ Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 7.3.1.1

⁶⁴⁶ Vgl. ÖNORM EN 1996-3:2009, Abschnitt 4.4.2

⁶⁴⁷ Vgl. Rischaneck 2009, Abschnitt 4.3.3

Einwirkungsseite liegen diese gemäß ÖNORM EN 1996 zwischen 1,35 bzw. 1,50. Im Ergebnis liefern beide Normen für das angeführte Berechnungsbeispiel die gleiche Aussage, nämlich dass bei allen drei Nachweisen die Tragfähigkeit sichergestellt ist.

Nachweis auf Gebrauchstauglichkeit

Für einen Nachweis auf Gebrauchstauglichkeit liefert von den Lehmbaunormen nur NZS 4297 Angaben. Nach dieser Norm wird dafür eine ausreichende Aussteifung des Gebäudes gefordert, um mögliche Deformationen bzw. Durchbiegungen zu vermeiden. Als Grenzwerte für die Mindestwanddicke werden abhängig vom statischen Ersatzsystem folgende Werte gefordert:

- Kragarm Wh/8 oder Wl/8,
- einfacher Träger Wh/18 oder Wl/18
- Durchlaufträger Wh/22 oder Wl/22.

Für Gebäude, die unter Erdbebenbelastung stehen, wird die Durchbiegung mit Wh/150 begrenzt. Ferner wird für die Gebrauchstauglichkeit Brandbeständigkeit und ein ausreichender Feuchteschutz des Gebäudes gefordert.⁶⁴⁸

Erdbeben

Für die Untersuchung von Lehmbauwerken auf Erdbebenbelastung liefert NZS 4297 eine Methode zur Bestimmung des Widerstandes gegen Erdbeben bei der Ausführung von unbewehrten Lehmwänden. Die einzelnen Berechnungsschritte für diesen Nachweis werden in dieser Norm detailliert ausgeführt.⁶⁴⁹

Zur Ermittlung einer horizontalen Erdbeben-Ersatzlast zeigt NTE E.080 eine vereinfachte Berechnungsformel, die mittels der Faktoren zum Bodentyp, Gebäudenutzung, Erdbebenkoeffizient und Gesamtgewicht des Gebäudes errechnet wird.⁶⁵⁰

⁶⁴⁸ NZS 4297:1998, Abschnitt 5.4; Anhang A enthält noch zusätzlich eine Berechnungsmethode, mit der ein Nachweis zur Ermittlung der Dauerhaftigkeit eines Gebäudes inklusive eines Beispiels erstellt werden kann.

⁶⁴⁹ Ebda Anhang B

⁶⁵⁰ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 6.8 bzw. NTE E.030:2016, *Diseño sismorresistente*

$$H = S \cdot U \cdot C \cdot P \quad (4-62)$$

Es bedeutet:

- H* Erdbeben-Ersatzlast
- S* Faktor für den Bodentyp gemäß E.080
- U* Faktor für die Gebäudenutzung gemäß E.080
- C* Erdbebenkoeffizient gemäß E.080
- P* Gesamtgewicht des Gebäudes (Eigengewicht plus 50% Nutzlast)

In ähnlicher Weise wird auch nach NEC-SE-VIVIENDA eine horizontale Erdbebenersatzlast definiert. Diese ist dabei abhängig von der jeweiligen Erdbebenzone, geografischen Zone, Bauwerkslast und einem Reduktionsfaktor, der abhängig von der Gebäudestruktur und Baumaterial ist.

$$V_{\text{base}} = Z \cdot C \cdot W / R \leq V_{\text{MR}} \quad (4-63)$$

Es bedeutet:

- V_{base}* Erdbeben-Ersatzlast
- Z* Faktor für die Erdbebenzone gemäß NEC-SE-VIVENDA, Tabelle 1
- C* Faktor für die geografische Zone gemäß NEC-SE-VIVENDA, Tabelle 2
- W* Gesamtgewicht des Gebäudes (Eigengewicht plus 25% Nutzlast)
- R* Reduktionsfaktor gemäß NEC-SE-VIVENDA, Tabelle 3
- V_{MR}* horizontale Widerstandskraft

4.7 Planung und Ausführung von Stampflehm

Im nachfolgenden Abschnitt werden noch jene speziellen Anforderungen zusammengefasst, die speziell für den Stampflehmbau in den unterschiedlichen Lehmbaunormen definiert sind. Dabei ist u.a. auf die Norm ZW HS 983 hinzuweisen, die ausschließlich den Stampflehmbau behandelt.

4.7.1 Abmessungen und Material

Die nachfolgende Tabelle 63 enthält eine Zusammenstellung für die wesentlichen Abmessungen von Stampflehmwände hinsichtlich Wandbreite, -höhe und -länge.

Tabelle 63 – Abmessungen für Stampflehmwände

LB-Normen	Min Wb [cm]	Sg	Max. Wl [cm]	Kz	Er
LB-Regeln ⁶⁵¹	Außenwand: 32,5 Innenwand: 24			k	Nein
ASTM E 2392 ⁶⁵²		1:8		k	Ja

⁶⁵¹ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Tabelle T 4-1; Für nichttragende Stampflehmwände gilt eine Mindestdicke von 20cm mit einem Schlankheitsgrad von 20, vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.3.2.

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

NMAC 14.7.4 ⁶⁵³	45			t,s	Nein
NTE E.080 ⁶⁵⁴	40			t,s,k	Ja
IS 13827 ⁶⁵⁵		1:8	10Wb od. 64Wb ² /Wh	t,s	Ja
ZW HS 983 ⁶⁵⁶	30	1:8	900	t	Nein
NZS 429x ⁶⁵⁷	28(25)-35			s,k	Ja
NBC 204 ⁶⁵⁸	40-45	1:7		s	Ja

Für den Stampflehmbau eignet sich besonders ein gemischtkörniger bis steiniger Lehm (z.B. Berg- oder Gehängelehm). Dieser soll frei von organischem Material und sonstigen Verunreinigungen sein.⁶⁵⁹ Ein zu fetter Lehm, bei dem ein zu hoher Tongehalt vorliegt, führt dazu, dass ein zu hohes Schwindmaß sich einstellen würde. Um dies zu verhindern, kann dem Baulehm mineralische (z.B. Sand) oder organische Zuschläge (z.B. Stroh mit einer Länge von 10cm) zugeführt werden. Nach den Lehmbau-Regeln kann dies im Falle von organischem Zuschlag etwa 10kg Stroh pro m³ Baulehm sein. In der Norm NTE E.080 wird ein Stroh mit der Länge von 5cm empfohlen und mit einem Mischungsverhältnis von Lehm zu Stroh mit 1:5. Mit dieser Maßnahme wird nicht nur der Schwindvorgang reduziert, sondern auch die Zugfestigkeit verbessert und eine Rissbeschränkung

⁶⁵² Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt X1.4.4.2; Bei erhöhtem Erdbebenrisiko verringert sich der Schlankheitsgrad auf 1:6.

⁶⁵³ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 12 (A, 2 und 3); Ausnahme bei Trombe-Wand: Mindestdicke 25cm und Innenwände: Mindestdicke 5cm

⁶⁵⁴ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 13

⁶⁵⁵ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 10.1

⁶⁵⁶ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 17.2

⁶⁵⁷ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 5.1 bzw. NZS 4297:1998, Abschnitt 4.6.1; Die Mindestwanddicke kann auf 25cm reduziert werden, wenn zusätzlich ein Wärmeschutz aufgebracht wird.

⁶⁵⁸ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 7.2

⁶⁵⁹ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 3.2.3; ZW HS 983:2014, Abschnitt 3; IS 13827:1993, Abschnitt 9.1; NZS 4298:1998, Abschnitt 3

gewährleistet.⁶⁶⁰ Der für den Einbau aufbereitete Lehm sollte schließlich ein Schwindmaß von nicht mehr als 2% aufweisen bzw. bei Sichtbauteilen nicht mehr als 0,5%.⁶⁶¹

Allgemein wird die Druckfestigkeit und dadurch auch die Dauerhaftigkeit des Stampflehms durch folgende Maßnahmen erhöht:

- gute Durchmischung des Baulehms,
- optimale Stampfleistung und Verdichtung,
- maximale Trockendichte durch optimalen Wassergehalt.⁶⁶²

Die Durchmischung des Baulehms hat so lange zu erfolgen, bis eine homogene Mischung von einheitlicher Konsistenz und Farbe erreicht ist. Der Mischvorgang erfolgt dabei maschinell oder manuell.⁶⁶³

Die Tabelle 64 enthält eine Übersicht zum Baulehm, der für den Stampflehm verwendet werden kann hinsichtlich Kornverteilung, Salzgehalt, Prüfungen und Festigkeitswerte.

Tabelle 64 – Anforderungen an den Baulehm für Stampflehm

LB-Normen	Baulehm	Prüfungen	f_{dr}	f_z	Kz	Er
LB-Regeln ⁶⁶⁴	mager bis fett	Rohdichte, Druckfestigkeit, Schwindmaß	2-5		k	Nein
NMAC 14.7.4 ⁶⁶⁵	Größtkorn 38mm		2		t,s	Nein

⁶⁶⁰ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 3.2.3; NTE E.080:2017, Abschnitt 12

⁶⁶¹ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 3.2.4

⁶⁶² Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 13: Die Trockendichte wird in dieser Norm nach Anhang E ermittelt und sollte dabei größer als 95% des „*Light Compactive Effort*“ sein, der nach ZWS 185-1:1997, Abschnitt 15 bestimmt wird. Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 9.1: Der Proctor-Verdichtungstest wird nach IS 2740:1980, Teil 7 durchgeführt. Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 3: Nach dieser Norm soll der Feuchtegehalt bei 3% liegen, um eine maximale Trockendichte zu erreichen.

⁶⁶³ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 5

⁶⁶⁴ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitte 3.2.3 und 3.2.5 bzw. Tabelle T5-2; Zu beachten ist, dass sehr fetter Lehm sich nur schwer zu einer homogenen Stampflehmmischung verarbeiten lässt.

⁶⁶⁵ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14 (A und B); Zu beachten ist, dass die Lehmmischung frei von Lehmklumpen größer als 13mm und von organischen Bestandteilen sein muss.

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

NTE E.080 ⁶⁶⁶		Bandtest, Falltest, Risskontrolle	1,0	0,08	t,s,k	Ja
IS 13827 ⁶⁶⁷		Proctortest	1-2		t,s	Ja
ZW HS 983 ⁶⁶⁸	feiner Kies bis Sand: 50-70% Schluff: 15-30% Ton: 5-15%	Falltest, Rolltest	1,5 2,0		t	Nein
NZS 429x ⁶⁶⁹		Festigkeitstest, Dauerhaftigkeit, Nass/Trockentest, Schwindtest, Falltest	0,5	0,1	s,k	Ja

4.7.2 Ausführung des Stampflehms

Der aufbereitete Baulehm sollte gleichmäßig in erdfeuchter Konsistenz entweder lagenweise in eine Arbeitsschalung gerammt oder als Lehmstein in Formen gepresst werden und anschließend vollständig verdichtet werden.⁶⁷⁰ Dabei ist darauf zu achten, dass ein optimaler Feuchtigkeitsgehalt sichergestellt ist.⁶⁷¹ Als Verdichtungsgerät wird in der Regel ein Stampfer aus Holz verwendet.⁶⁷²

Die Schalungselemente können dabei aus Holz sein oder die üblichen Schalungsbretter, wie sie beim Betonbau für die Herstellung einer Ortbetonwand verwendet werden, entsprechen.⁶⁷³ Für die

⁶⁶⁶ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitte 8.1, 8.2 und 12

⁶⁶⁷ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 9.1

⁶⁶⁸ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitte 3, 4.2 und 12; Die Druckfestigkeit von 2,0N/mm² werden bei Gebäuden mit Höhen zwischen 3 und 6m gefordert. Für den Rolltest soll der Bruch zwischen 80 und 120mm sein.

⁶⁶⁹ Vgl. NZS 4298:1998, Tabelle 2.1 und NZS 4297:1998, Tabelle 4.1

⁶⁷⁰ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitte 3.2.2 und 3.2.4; NTE E.080:2017, Abschnitt 14; ZW HS 983:2014, Abschnitt 7 und Anhang E (Wanddichtetest); Auch IS 2110 fordert eine laufende Kontrolle der Trockenschüttdichte. Nach Herstellung einer Wand von 3m Länge sollte die geprüfte Dichte mindestens 1,8g/cm³ betragen. Die so entstandenen Löcher durch die Probeentnahme sind zu verschließen, bevor die nächste Lage eingebracht wird, vgl. IS 2110:1980, Abschnitt 6.2. Eine optimale Verdichtung wird erreicht durch 50 Schläge auf eine Fläche von 1000cm² (31x31cm), vgl. IS 13827:1993, Abschnitte 9.3 bis 9.5.

⁶⁷¹ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14 (G)

⁶⁷² Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 14; NBC 204:2015, Abschnitt 7.1.2

⁶⁷³ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt 6.2.2 bzw. ÖNORM EN 13377, *Industriell gefertigte Schalungsträger aus Holz – Anforderungen, Klassifizierung und Nachweis*

Prüfung der Schalungselemente beschreibt ZW HS 983 im Anhang C ein Verfahren, bei dem unter Aufbringung einer Last von 150kg in der Brettmitte die eintretende Verformung nicht mehr als 3mm von der tatsächlichen Position betragen darf.

Nach Abschluss der Verdichtung werden die Schalungsbretter entfernt und mit dem nächsten Wandabschnitt fortgesetzt, sofern dadurch der soeben fertiggestellte Wandabschnitt bei dessen Austrocknung nicht gestört wird.⁶⁷⁴ Für die Dauer der Trocknung finden sich in den Normen unterschiedliche Angaben. Nach IS 2110 sollte diese Zeit 15 Tage betragen.⁶⁷⁵ Nach NTE E.080 wird empfohlen die Schalung für jede Reihe erst nach sieben Tagen zu entfernen bzw. zumindest nicht vor drei Tagen. Die so hergestellte Wand soll mit feuchten Jutetüchern oder ähnlichem wenigstens sieben Tage bedeckt werden, um so das Austrocknen langsam zu gestalten und die Wand dadurch vor direktem Sonnenlicht oder Wind zu schützen. Ferner kann die Austrocknung der Wand auch verhindert werden, indem die Wandoberfläche leicht mit Wasser besprüht und feucht gehalten wird oder durch Beschattung.⁶⁷⁶

Der Versatz der Schalung kann seitwärts oder aufwärts erfolgen. Dies hat dann auch einen Einfluss auf die Art der Verbindung der einzelnen Wandabschnitte untereinander. Bei einer seitwärts Bewegung der Schalung werden die einzelnen Stampflehmblöcke ähnlich dem Ziegelmauerwerk mit einem Versatz hergestellt. Wird die Schalung aufwärts bewegt, erfordert dies eine Ausbildung einer Nut mit einer Mindestdiefe von 25mm (siehe Abbildung 59).⁶⁷⁷ Für die Wandecken wird in der Regel ein L-förmiges Schalungselement verwendet (siehe Abbildung 58).

⁶⁷⁴ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt 6.2.2; NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14 (G)

⁶⁷⁵ Vgl. IS 2110:1980, Abschnitte 6.1 bis 6.3

⁶⁷⁶ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 15; ZW HS 983:2014, Abschnitt 16

⁶⁷⁷ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitte 19.1 und 19.2

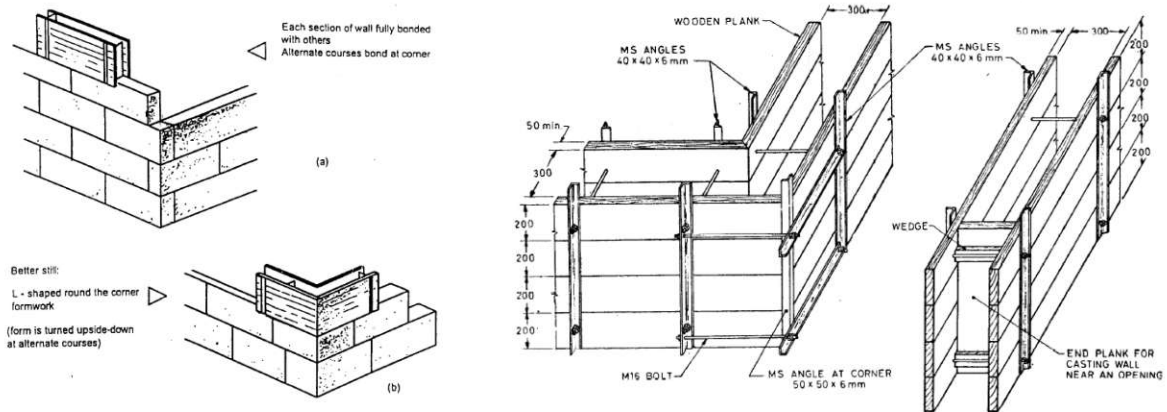


Abbildung 58 – Ausführungsformen für Schalungen⁶⁷⁸

Nach dem Versetzen der Schalung ist zunächst vor dem Aufbringen der nächsten Lehmschicht die Oberfläche anzufeuchten. Danach kann mit der weiteren Wandherstellung fortgesetzt werden. Die vertikalen Stöße sollten nach NTE E.080 unter 45° erfolgen (siehe Abbildung 59) und sind versetzt auszuführen. Nach IS 2110 sind alle zwei Meter versetzt vertikale Fugen vorzusehen, die mittels Nut ausgeführt werden (siehe Abbildung 59). Die horizontalen Fugen sind nach Fertigstellung eines Stampflehmelementes zu glätten.⁶⁷⁹

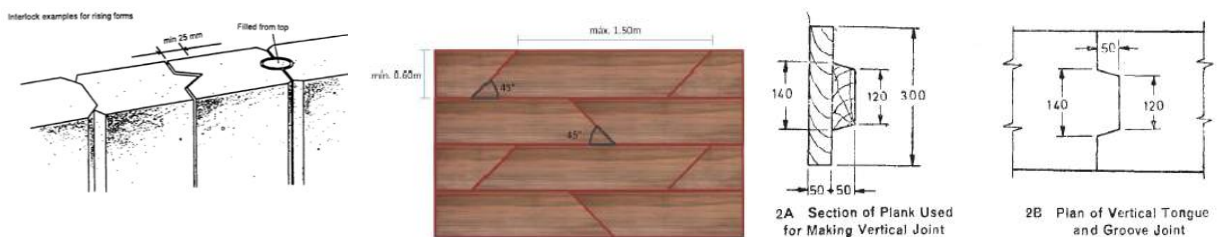


Abbildung 59 – Unterschiedliche Fugenausbildungen⁶⁸⁰

Die Ausbildung von einem vertikalen und horizontalen Fugenstoß der einzelnen Stampflehmelemente nach NZS 4299 zeigt Abbildung 60. Bei der vertikalen Ausbildung wird neben der Herstellung einer Nut auch ein komprimiertes Schaumstoffband in diese eingelegt.

⁶⁷⁸ Von links nach rechts: ZW HS 983:2014, Bild 7 und IS 2110:1980, Bild 1

⁶⁷⁹ Vgl. IS 2110:1980, Abschnitt 6.4

⁶⁸⁰ Von links nach rechts: ZW HS 983:2014, Bild 7; NTE E.080:2017, Anhang 5; IS 2110:1980, Bild 2

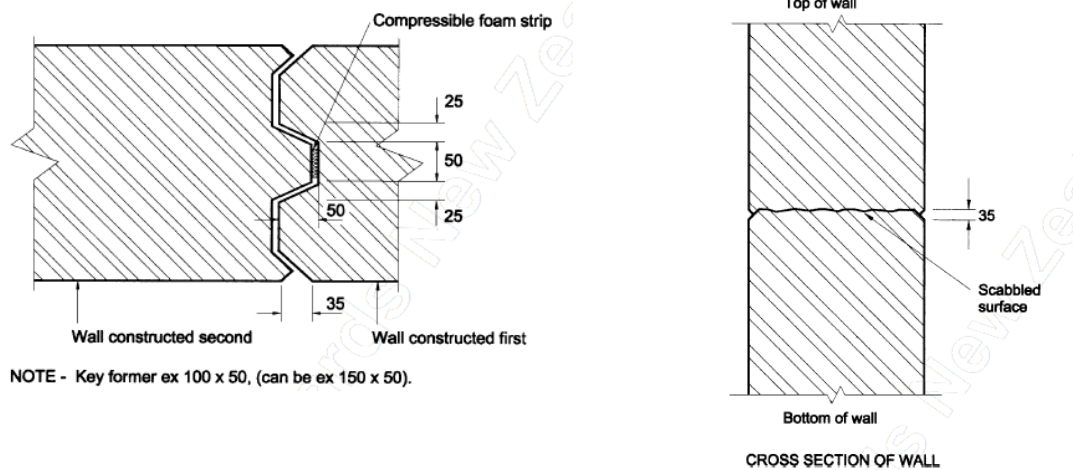


Abbildung 60 – Vertikale und horizontale Fugenausbildung⁶⁸¹

Rissbildungen an einer fertiggestellten Stampflehmwand sind generell zu vermeiden. Solche Risse können entstehen durch schlechte Durchmischung des Baulehm, ein zu niedriger Tonanteil im Baulehm oder wenn der Wassergehalt nicht optimal ist. Neben der Verbesserung der Baulehmaufbereitung können Risse vermieden werden durch das Verwenden von Bewehrungseinlagen wie zum Beispiel kleinere Mengen von Stroh.⁶⁸² Entstehen trotzdem Fugenrisse oder Löcher, so sollten diese so rasch wie möglich (innerhalb von 24 Stunden) gefüllt werden.

Neben Risse können auch Eckenausbrüche das Erscheinungsbild einzelner Stampflehmelementen stören. Um diese zu vermeiden, können vor Einbringen der Baulehmmischung beispielsweise Betonkeile in die Schalung eingelegt werden, um so die Ränder der Stampflehmelemente abzufasen.⁶⁸³

Tabelle 65 – Ausführung von Stampflehmelementen

LB-Normen	Schalungselement			Lagenhöhe [cm]	Gewicht [kg]	Kz	Er
	H [cm]	L [cm]	D [cm]				
LB-Regeln				10-15		k	Nein
NMAC 14.7.4 ⁶⁸⁴				20		t,s	Nein
NTE E.080 ⁶⁸⁵	60	150	2	15	10	t,s,k	Ja

⁶⁸¹ NZS 4299:1998, Bild 10.1 und Bild 10.2

⁶⁸² Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 14; IS 13827:1993, Abschnitte 9.3 bis 9.5; Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.1.4

⁶⁸³ Vgl. ZW HS 983:2014, Abschnitt 16

⁶⁸⁴ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14 (G)

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

IS 13827 ⁶⁸⁶	50-80			10	8-10	t,s	Ja
IS 2110 ⁶⁸⁷	80	180-330	5	7,5	7	t,s	Ja
NZS 4298 ⁶⁸⁸				10-15	6,5	s,k	Ja
NCB 204 ⁶⁸⁹	45					s	Ja

Ergibt der Bewitterungstest nach Abschnitt 4.3.9.2, dass die Stampflehm-Außenwand vor äußeren Witterungseinflüssen zusätzlich zu schützen ist, so kann dies durch das Aufbringen eines Putzes oder Außenbeschichtung erfolgen. Eine Variante stellt dabei der Kalkaußenputz dar, der auf gröberer mineralischer Oberfläche ohne Probleme haftet. Ist die Stampflehmwand feinkörniger, so kann die Haftung durch Stein- oder Mörtelleiste, Kerbungen oder Putzträger verbessert werden.⁶⁹⁰ Nach NMAC 14.7.4 muss bei Verwendung eines nicht zementierten Putzes in jeden Fall die Wandoberfläche vor dem Auftragen des Putzes eingeritzt oder sandgestrahlt werden. Ferner muss vor Beginn dieser Arbeiten die Wand mindestens auf eine Tiefe von 10cm ausgehärtet sein.⁶⁹¹ Zur Überprüfung der ausgeführten Putzqualität liefert ZW HS 983 einen Putzhaftungstest, mit dem die Festigkeit des aufgetragenen Putzes kontrolliert werden kann.⁶⁹²

Wärmedämmplatten, die nicht dicker als 5cm sind, können nach NMAC 14.7.4 direkt auf die Stampflehmwand angebracht werden. Das dafür verwendete Befestigungsmittel muss einen Abstand von 40cm voneinander aufweisen und soll zumindest 5cm in die Wand eindringen.⁶⁹³ Ansonsten ist eine Unterkonstruktion zur Befestigung in die Stampflehmwand vorzusehen (siehe Abschnitt 4.5.7).

⁶⁸⁵ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 13; Die Verdichtung erfolgt so lange, bis die Höhe der neueingebrachten Lage auf 10cm verdichtet ist.

⁶⁸⁶ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitte 9.3 bis 9.5

⁶⁸⁷ Vgl. IS 2110:1980, Abschnitte 6.1 bis 6.3; Querschnittsfläche des Stampfers: 80x80mm

⁶⁸⁸ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 3

⁶⁸⁹ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 7.1.2

⁶⁹⁰ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.1.4

⁶⁹¹ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 20 (A, B und C)

⁶⁹² Vgl. ZW HS 983:2014, Anhang H

⁶⁹³ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 16 (F)

4.8 Planung und Ausführung von Lehmziegel

Eine der häufigsten und ältesten Lehmnormen stellt jene mit Lehmziegel dar. Im folgenden Abschnitt werden nun noch die speziellen Bestimmungen zusammengefasst, die vor allem für diese Baumethode gelten.

4.8.1 Abmessungen und Material

Für die Abschätzung der idealen Zusammensetzung des Baulehms liefern die Lehmnormen relativ einfache Prüfmethode. Dabei wird zunächst eine homogene Lehmmischung mit oder ohne Strohzugabe hergestellt. Aus diesem werden dann Lehmziegel geformt und anschließend getrocknet. Nach Ablauf der Trocknung soll die Rissbildung am Lehmziegel ein Minimum darstellen.⁶⁹⁴ Treten auf der Lehmziegeloberfläche zu viele Risse auf oder bricht dieser gar im Verlauf der Trocknung, so ist die Baulehmmischung abzuändern. Dies kann beispielsweise durch die Zugabe von mineralischen oder organischen Zusätzen erfolgen. Eine weitere Vorgangsweise, um Trocknungsrisse zu vermeiden, ist die Optimierung des Feuchtigkeitsgehalts der Baulehmmischung. Grundsätzlich soll gerade so viel Wasser verwendet werden, um die Aktivierung des Tones sicherzustellen. Dabei soll die Wassermenge nie mehr als 20% des Trockengewichtes des Lehmes darstellen.⁶⁹⁵ Die Baulehmmischung ist so lange zu optimieren, bis der getrocknete Lehmziegel keine oder kaum Risse mehr aufweist.

Nach DIN 18945 und den Lehmnormen werden für den jeweiligen Anwendungsbereich des Lehmziegels unterschiedliche Anwendungsklassen (AK) definiert, die in Tabelle 66 aufgelistet sind.⁶⁹⁶

Über den in Tabelle 66 definierten Anwendungsbereich ist es so für den Ausschreiber möglich, den von ihm benötigten Lehmziegeltypen festzulegen. Abgedeckt werden dabei Lehmziegel für den Außen- und Innenbereich sowie für dessen trockene Anwendung beispielsweise für Deckenfüllungen.

⁶⁹⁴ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 9 (D); NBC 204:2015, Abschnitt 3.2; IS 13827:1993, Abschnitt 8.1; NZS 4298:1998, Abschnitt 4, Anhang K und Anhang F (Test für maximale zulässige Rissbildung)

⁶⁹⁵ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 17

⁶⁹⁶ Vgl. DIN 18945:2018, Abschnitt 4 und Lehmnormen 2009, Abschnitt 3.7.2; Die Lehmnormen unterscheiden nicht zwischen Ia und Ib und werden stattdessen zu einer Anwendungsklasse zusammengefasst.

Tabelle 66 – Anwendungsklassen (AK) für Lehmziegel nach DIN 18945, Tabelle 1

Anwendungsbereich	AK
verputztes, der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk von Sichtfachwerkwände	Ia
durchgängig verputztes, der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk	Ib
verkleidetes oder anderweitig konstruktiv witterungsgeschütztes Außenmauerwerk, Innenmauerwerk	II
trockene Anwendungen (z. B. Deckenfüllungen, Stapelwände)	III

Die nachfolgende Tabelle 67 enthält nun aus den unterschiedlichen Lehmbaunormen eine Zusammenstellung für die Anforderungen an Abmessungen und Baulehm.

Tabelle 67 – Abmessungen und Material von Lehmziegel

LB-Normen	Wb [cm]	Format [cm]	Sg	Prüfung	f _{dr}	f _z	Kz	Er
DIN 1894x ⁶⁹⁷		24 x 11,5 bis 36,5 x 5,2 bis 23,8			2-6		k	Nein
LB-Regeln ⁶⁹⁸	36,5 Aw 24 Iw			Format, Rohdichte, Druckfestigkeit	2-4		k	Nein
ASTM E 2392 ⁶⁹⁹	k.A.		1:8				k	Ja
NMAC 14.7.4 ⁷⁰⁰					2,0	0,34	t,s	Nein
NTE E.080 ⁷⁰¹		40x40x8-12 2BxBx8-12		Bandtest, Kugeltest, Risskontrolltest	1,0	0,08	t,s, k	Ja
IS 13827 ⁷⁰²		38x25x11 38x38x11	1:8		1-2		t,s	Ja
NZS 429x ⁷⁰³	28(25)- 35	k. A. L _{max} =45		Festigkeitstest, Nass/Trockentest,	0,5	0,1	s,k	Ja

⁶⁹⁷ Vgl. DIN 18945:2018, Tabelle 5 und Tabelle 7

⁶⁹⁸ Vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Tabelle T 4-1 und Abschnitt 3.7.5; Nichttragendes Mauerwerk: Mindestdicke 11,5cm mit einem Schlankheitsgrad von 15, vgl. Lehm-Bau-Regeln 2009, Abschnitt 4.3.3.

⁶⁹⁹ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt X1.4.4.2; Bei erhöhtem Erdbebenrisiko verringert sich der Schlankheitsgrad auf 1:6.

⁷⁰⁰ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (C und D)

⁷⁰¹ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitte 8.1, 8.2, 17 und 18

⁷⁰² Vgl. IS 13827:1993, Abschnitte 6.3, 8.2 und 10.1

⁷⁰³ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 5.1; NZS 4298:1998, Tabelle 2.1 und Anhang K; NZS 4297:1998, Tabelle 4.1 und Abschnitt 4.6.1; Die Mindestwanddicke kann auf 25cm reduziert werden, wenn zusätzlich ein Wärmeschutz aufgebracht wird;

				Dauerhaftigkeit, LZ-Falltest, Risstest				
NBC 204 ⁷⁰⁴	38-45		1:7				s	Ja

4.8.2 Ausführung von Lehmziegel

Bevor der Baulehm zur Lehmziegelherstellung verarbeitet wird, sollte dieser für eine bestimmte Zeit „*mauken*“ also ruhen. Für diese „*Maukdauer*“ gibt es in den Lehmnormen unterschiedliche Angaben:

- nach NZS 4298 mindestens 12 Stunden,
- nach IS 13827 mindestens 24 Stunden,
- nach NTE E.080 mindestens 48 Stunden.

Falls dem Lehm auch Stroh untermischt wird, sollte dessen Länge nicht mehr als die Hälfte der geplanten Lehmwandbreite sein. Nach Ablauf des „*Maukvorganges*“ wird der Baulehm in Formen eingebracht. Diese besitzen weder einen Boden noch Deckel und können aus Metall oder Holz bestehen. Sobald diese gefüllt sind, werden die Formen entfernt und der Lehmziegel wird so lange gelagert, bis die vollständige Trocknung abgeschlossen ist, das zwischen einer bis vier Wochen dauern kann.⁷⁰⁵ NZS 4298 hält zur Trocknungsdauer noch fest, dass während dieser Tage die Umgebungstemperatur nicht unter 5°C liegen sollte. Ansonsten wird dieser Zeitraum nicht für die nach dieser Norm 28tägigen geforderten Trocknungszeit mitgezählt.⁷⁰⁶ Die Trocknung soll dabei langsam vor sich gehen und geschützt sein vor direkter Sonneneinstrahlung, Wind und Regen. Der Boden, auf den die Lehmziegel zur Trocknung lagern, kann vorab mit feinem Sand gestreut werden. Gras, Kopfsteinpflaster oder Zement sind hingegen als Lagerungsfläche ungeeignet. Der fertige Lehmziegel muss schließlich frei von Rissen, Fremdkörper oder anderen Schäden sein.⁷⁰⁷

Lehmziegel dürfen erst verlegt werden, wenn sie vollständig ausgetrocknet sind. Bei der Verlegung ist darauf zu achten, dass in der gleichen Lage nur Ziegel mit derselben Höhe verwendet werden.⁷⁰⁸ Vor

⁷⁰⁴ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitte 7.2 und 7.4

⁷⁰⁵ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 4 und Anhang K; IS 13827:1993, Abschnitt 8.1; NTE E.080:2017, Abschnitt 18

⁷⁰⁶ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.1.11

⁷⁰⁷ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 18; NBC 204:2015, Abschnitt 3.2

⁷⁰⁸ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (F)

der Verlegung sollten die Lehmziegel kurz angefeuchtet werden. Dies erfolgt etwa nach NBC 204 durch das Eintauchen des Ziegels in ein 10mm hohes Wasserbad.⁷⁰⁹

Grundsätzlich erfolgt die Verlegung der Lehmziegel in der gleichen Weise wie bei gebrannten Ziegeln.⁷¹⁰ Das Ziegelversatzmaß sollte im Idealfall eine halbe Lehmziegellänge betragen, jedoch mindestens 10cm oder zwischen 25% bis 75% der Ziegellänge.⁷¹¹

Die Dicke des Mörtelbetts wird je nach Norm unterschiedlich definiert:

- nach NZS 4298 mit 1,5cm,
- nach NBC 204 mit 1 bis 2,0cm,⁷¹²
- nach den Lehmnormen mit 1cm (bei Außenwandfugen können diese zusätzlich noch bis 1cm ausgekratzt werden, um so eine bessere Kalkputzhaftung zu erreichen),⁷¹³
- nach NTE E.080 zwischen 0,5 und 2,0cm,⁷¹⁴
- nach ASTM E 2392 so dünn wie möglich, um so die Wandfestigkeit zu erhöhen.⁷¹⁵

Einen Verlegeplan für Lehmziegel liefert noch die Norm IS 13827, siehe dazu Abbildung 61.⁷¹⁶

⁷⁰⁹ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 7.1.3; IS 13827:1993, Abschnitt 8.3; NTE E.080:2017, Abschnitt 19

⁷¹⁰ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt 6.2.2

⁷¹¹ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 4 und Anhang K7; Nach NMAC 14.7.4 werden 25% empfohlen, vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (E).

⁷¹² Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 7.1.3

⁷¹³ Vgl. Lehmnormen 2009, Abschnitt 4.1.3

⁷¹⁴ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 19

⁷¹⁵ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt 7.1.5

⁷¹⁶ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitte 8.3 und 8.4

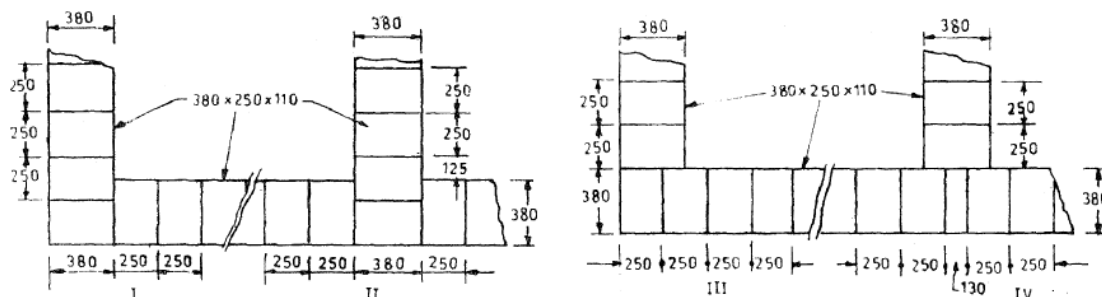


Abbildung 61 – Verlegeschema von Lehmziegel⁷¹⁷
links: erste Lage; rechts: zweite Lage (Maße in mm)

Die Verlegung und Ausführung von Lehmziegelwänden darf nur bei gesicherter Frostfreiheit durchgeführt werden. Um eine zu rasche Trocknung der fertigen Wand zu vermeiden, ist diese vor Wind und Sonne zu schützen.⁷¹⁸

Für das Anbringen von Wärmedämmplatten auf Lehmziegelwänden gilt nach NMAC 14.7.4, dass diese nur dann direkt auf dieser befestigt werden können, wenn die Platte nicht dicker als 5cm ist. Für alle anderen Platten ist eine Unterkonstruktion vorzusehen. Dabei dürfen diese Platten nur dann verwendet werden, wenn sie keine Dampfsperre für die Lehmziegelwand darstellen.⁷¹⁹

4.8.3 Mörtel

Grundsätzlich kann für den Lehmmörtel der gleiche Baulehm herangezogen werden, wie der für die Lehmziegelherstellung.⁷²⁰

Allgemein sollte der Baulehm für den Lehmmörtel aus einem nicht zu mageren, steinfreien Lehm bestehen mit Korngrößen unter 5mm.⁷²¹ Als Zuschlagsstoffe können Sand, Stroh oder andere pflanzlichen Faserstoffe verwendet werden.⁷²² Dabei sollte der Sandgehalt nach NBC 204 nicht

⁷¹⁷ IS 13827:1993, Bild 3

⁷¹⁸ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 19

⁷¹⁹ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (P)

⁷²⁰ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt 7.1.5; NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (E); IS 13827:1993, Abschnitt 8.3; NZS 4298:1998, Abschnitt 2.2.2.5

⁷²¹ Nach NZS 4298 dürfen die Körner nicht größer als die Hälfte der kleinsten Fuge sein oder nicht mehr als 3mm, vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.2.2.5.

⁷²² Vgl. Lehm bau-Regeln 2009, Abschnitt 3.9.3

größer als 30% sein.⁷²³ Ferner ist besonders darauf zu achten, dass die Mischung homogen ist.⁷²⁴ Für die Prüfung des Baulehms empfehlen sich folgende Materialtests: Rohdichte, Druckfestigkeit, Schwindmaß, Schwindung (Baustellenprobe).⁷²⁵

Wie für den Lehmziegel ist auch für den Lehmörtel das „*Mauken*“ eine geeignete Methode, um so den Baulehm zu optimieren. Nach IS 13827 wird dabei bis zu sieben Tagen (jedoch mindestens drei Tage) empfohlen und nach NZS 4298 zumindest ein Tag.⁷²⁶

Nach Trocknungsablauf des Lehmörtels sollte dieser keine Risse aufweisen. Falls doch, ist es notwendig die Baulehmmischung wie beim Lehmziegel zu adaptieren. Eine Variante stellt dabei das Abmagern des Lehmörtels durch das Untermischen von Sand dar.⁷²⁷ Eine weitere Methode, um das Schrumpfen des Lehmörtels und so die Rissbildung zu vermeiden, ist es, dem Baulehm Stroh mit einem Volumenverhältnis von Lehm zu Stroh zwischen 1:1 und 1:2 unterzumischen.⁷²⁸ Des Weiteren muss der Baulehm ein Minimum an Feuchtegehalt aufweisen, um eine optimale Verarbeitbarkeit des Lehmörtels zu erreichen.⁷²⁹

Betreffend Verwendung anderer Mörteltypen existieren in den Lehmnormen teilweise widersprüchliche Festlegungen. Wird Kalk-, Sand- und Zementmörtel etwa in NMAC 14.7.4 zugelassen, so spricht sich ASTM E 2392 gegen die Verwendung von Zementmörtel aus.⁷³⁰ NZS 4298

⁷²³ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 3.3

⁷²⁴ Vgl. Lehmnormen 2009, Abschnitt 3.9.4

⁷²⁵ Vgl. Lehmnormen 2009, Abschnitt 3.9.6; NZS 4298:1998, Tabelle 2.1

⁷²⁶ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 8.3 und NZS 4298:1998, Abschnitt 2.2.2.5

⁷²⁷ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitte 8.3 und 8.4; Lehmnormen 2009, Abschnitt 3.9.4

⁷²⁸ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 19; IS 13827:1993, Abschnitt 8.3 (Empfehlung 1:1)

⁷²⁹ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitt 2.2.3; NTE E.080:2017, Abschnitt 19; Nach NTE E.080 wird ein Mindestfeuchtegehalt von 20% gefordert.

⁷³⁰ Vgl. NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 11 (E); ASTM E 2392:2010, Abschnitt 7.1.5

lässt wiederum die Verwendung von Sand-Zement-Mörtel zu mit einem Mischungsverhältnis von Sand zu Zement mit 6:1 bis 12:1.⁷³¹

4.9 Planung und Ausführung von Lehmputz

4.9.1 Allgemeines

Der Lehmputz ist jener Bauteil, für den es seit 2016 erstmals eine einheitliche europäische Norm gibt, zwar nur für den Innenbereich, aber so ist dies trotzdem der erste wichtige Schritt für ein europaweites einheitliches Regelwerk für den Lehmbau. Es handelt sich dabei um die ÖNORM EN 13914-2, die Planungs- und Ausführungsanforderungen für Innenputzsysteme definiert. Der Außenbereich wird in der ÖNORM EN 13914-1 geregelt. Dieser Normenteil enthält weiterhin keine Anforderungen für die Ausführung eines Lehmputzes.

Zu beachten ist im Speziellen bei dieser europäischen Norm, dass diese gerade für den Lehmputz auch nationale Regelungen zulässt. So liefert zwar die österreichische Ausgabe der ÖNORM EN 13914-2 keinen nationalen Anhang und damit keine zusätzlichen Bestimmungen etwa für den Lehmputz. Jedoch gibt es in Deutschland mit der DIN 18550-2 sehr wohl ergänzende Festlegungen für die Planung, Zubereitung und Ausführung von Innenputz zur EN 13914-2⁷³² und im normativen Anhang F der DIN 18550-2 wird für den Lehmputz im Innenbereich detailliert die Anwendung, allgemeine Anforderungen, Festigkeitseigenschaften, Putzsysteme und dessen Trocknung beschrieben.

4.9.2 Anwendungsbereich

Nach DIN 18550-2 ist die Anwendung des Lehmputzes für mechanisch gering beanspruchte Flächen in Innenbereich geeignet. Des Weiteren ist dieser für Räume mit normaler Luftfeuchte einsetzbar, so auch für häusliche Küchen und Bäder.⁷³³

⁷³¹ Vgl. NZS 4298:1998, Abschnitte 2.2.2.1 und 2.2.2.4

⁷³² Vgl. DIN 18550-2:2018, Abschnitt 4.2.6

⁷³³ Vgl. DIN 18550-2:2018, Anhang F; Für Wohnräume gilt dabei die Festigkeitsklasse SII nach DIN 18947:2018, die Angaben zur Druck-, Biegezug- und Haftfestigkeit in der Tabelle 3 liefert.

DIN 18947 legt Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für in Werk hergestellte Lehmputzmörtel fest, und zwar für den Innenbereich aber auch für witterungsgeschützte Außenbereiche. Dabei kann der Lehmputz im Außenbereich auch als Unterputz von einem witterungsbeständigen Oberputz eingesetzt werden.⁷³⁴

Ähnlich wie in DIN 18550-2 werden die Anforderungen für den Innenputz in den Lehmnormen definiert. Für den Außenbereich ist nach den Lehmnormen-Regeln dann ein Lehmputz verwendbar, wenn geeignete Zusätze, wie z.B. Molke, Dung oder Feinfasern sowie besondere Oberflächenbehandlungen berücksichtigt werden.⁷³⁵

In den Lehmnormen ASTM E 2392, ZW HS 983, IS 13827, NMAC 14.7.4, NZS 4298 und NBC 204 kann der Lehmputz im Innen- und Außenbereich angewendet werden. Zumeist wird die Ausführung in zwei Lagen empfohlen.⁷³⁶

4.9.3 Material und Ausführung

Nach ÖNORM EN 13914-2 sind die Anforderungen für den Lehmputz relativ allgemein gehalten. Dieser *„wird üblicherweise mit Lehm gefertigt sowie, falls erforderlich, mit mineralischen Zusatzstoffen und Faserbewehrung. Lehmputze können, in Abhängigkeit vom Hersteller und den Rohstoffen, unterschiedliche Festigkeitseigenschaften aufweisen. Sie müssen in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Herstellers oder den entsprechenden nationalen Regelungen verwendet werden.“*⁷³⁷

Neben der Anforderung zum Putz selbst, liefert ÖNORM EN 13914-2 auch Angaben zur Vorbehandlung des Putzuntergrundes. So wird für das Lehmputzwerk gefordert, dass dieses abhängig von der aufgetragenen Innenputzart entweder ein Putzträgersystem oder ein bewehrter Unterputz erforderlich ist.⁷³⁸

⁷³⁴ Vgl. DIN 18947:2018, Abschnitt 1

⁷³⁵ Vgl. Lehmnormen-Regeln 2009, Abschnitt 4.5

⁷³⁶ Vgl. NZS 4298:1998, Anhang L12; IS 13827:1993, Abschnitt 13; NBC 204:2015, Anhang 3; ZW HS 983:2014, Abschnitt 21; ASTM E 2392:2010, Abschnitt 6.1.3.1; NMAC 14.7.4:2015, Abschnitt 14.7.4.11, (O (5))

⁷³⁷ ÖNORM EN 13914-2:2017, Abschnitt 4.2.6

⁷³⁸ Vgl. ÖNORM EN 13914-2:2017, Tabelle 3, Zeile 19

Nach der deutschen Umsetzungsnorm zur EN 13914-2, DIN 18550-2, wird der Lehmputz auf Grundlage der Lehmproduktnorm DIN 18947 verwendet. Bei der Ausführung bestehen die Lehmputzsysteme in der Regel aus einem 10 bis 20mm dickem Unterputz und einem 3 bis 12mm dicken Oberputz. Für die Trocknung gilt für Lehmputze, dass diese möglichst rasch erfolgen muss, da dies sonst zur Schimmelpilzbildung führen könnte. Dies gilt vor allem dann, wenn die Schichtdicke des Lehmputzes mehr als 15mm beträgt oder auf schlecht saugenden Untergrund wie Beton aufgetragen wird oder auf der Baustelle der Lehmputz dann aufgebracht wird, wenn die Luftfeuchte noch hoch ist, das etwa kurz nach dem Einbau des Estrichs der Fall ist. Sollten diese Bedingungen vorherrschen, so empfiehlt die DIN 18550-2 die Trocknung über ein nachvollziehbares Protokoll zu überwachen und zu dokumentieren.⁷³⁹

IS 13827 enthält abhängig von den vorhandenen klimatischen Bedingungen unterschiedliche Materialzusammensetzungen für den Lehmputz. In trockenen Regionen wird ein zweilagiger Lehmputz verwendet. Die erste Lage besteht aus Lehm vermischt mit Stroh und Kuhdung, dieser dient zur Erhöhung der Feuchtebeständigkeit, und wird mit einer Dicken von 12 bis 15mm aufgetragen. Die abschließende zweite Lage besteht nur aus einem feinkörnigen Lehm. In feuchten Regionen wird dem Lehmputz Bitumen 80/100 und Kerosinöl mit einem Mischungsverhältnis von 5:1 untergemischt, um so den Putz wasserfest auszuführen.⁷⁴⁰

Nach ZW HS 983 wird der Lehmputz mit feinem Sand und Ton mit einem Mischungsverhältnis von 3:1 hergestellt. Vor dem Aufbringen des Lehmputzes wird nach dieser Norm empfohlen die Wand zuvor anzufeuchten.

Nach NZS 4298 wird die erste Lage in der Regel aus fein sandigem Ton durch organische Zusätze, wie z.B. Stroh verstärkt und mit einer Dicken von 10mm auf die Lehmwand aufgebracht. Die zweite Lage besteht aus Ton und wird so dünn wie möglich ausgeführt. Um den Lehmputz noch zusätzlich auszuhärten, kann diesem Kuhdung oder Roggenmehl untergemischt werden.⁷⁴¹

NBC 204 enthält detailliere Angaben zur Zusammensetzung und Aufbereitung des Lehmputzes. Für eine 100m² großen Wandoberfläche werden zunächst 1,4m³ Lehm (Zusammensetzung 40-50% Sand

⁷³⁹ Vgl. DIN 18550-2:2018, Anhang F

⁷⁴⁰, vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 13.

⁷⁴¹ Vgl. NZS 4298:1998, Anhang L12

und 50-60% Ton) mit 90kg Stroh (geschnitten in einer Länge von 20-50mm) durchmischt, bis sich eine gleichmäßige Masse bildet. Dieser Vorgang ist drei- bis viermal täglich zu wiederholen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Lehmmischung nicht austrocknet. Normalerweise dauert dieser Vorgang sieben bis vierzehn Tage. Die Mischung gilt dann als fertig vorbereitet, wenn sich das untermischte Stroh vollständig zersetzt hat. Für Gebiete, wo mit erhöhten Niederschlagsmengen zu rechnen ist, wird dieser Mischung noch eine Bitumen-Kerosin-Mischung zugesetzt. In diesem Fall wird zunächst 75kg Bitumen erhitzt, bis es schmilzt. Dann wird das geschmolzene Bitumen in 15kg Kerosin gegossen und verrührt, bis es gründlich durchmischt ist (wichtig: niemals Kerosin in Bitumen gießen). Diese Bitumen-Kerosin-Mischung wird nun in die Lehmmischung eingearbeitet bis sich ein einheitlicher, homogener Putz ausbildet, der dann in dieser Norm als „*Non-Erodible Mud Plaster*“ (NEM) bezeichnet wird. Nach dieser Norm sind alle Außenwände mit einem NEM zu versehen, der eine effektive Schutzschicht gegen Spritzwasser und erhöhten Niederschlagsmengen darstellt. Für die Ausführung des NEM ist zunächst die Oberfläche der Lehmwand vorzubereiten. Dabei sind Löcher und Risse zu verfüllen, Unebenheiten und lose Partikel sind eventuell abzuschleifen, bis eine gleichmäßige Oberfläche geschaffen wurde. Danach wird die Wandoberfläche mit Wasser angefeuchtet und der Lehmputz wird dann von oben nach unten aufgebracht. Die Putzdicke sollte in der Regel 12mm betragen und in Gebieten mit erhöhtem Niederschlag sollte eine zusätzliche Lage von 6mm hergestellt werden. Danach lässt man den Putz für einen Tag trocknen, um anschließend eventuell aufgetretenen Risse mit NEM wieder zu verfüllen. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis sich eine Oberfläche geschaffen wurde, die frei von Rissen ist.⁷⁴²

4.10 Erdbeben

4.10.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden jene Lehmbaunormen untereinander verglichen, deren Hauptfokus das Bauen in Erdbebengebieten bildet. Es handelt sich dabei um folgende Normen:

- die beiden südamerikanischen Regelwerke NTE E.080 und NEC-SE-VIVIENDA,
- die indische Norm IS 13827,
- die nepalesische Norm NBC 204.

⁷⁴² Vgl. NBC 204:2015, Anhang 3

Einen eigenen Anhang betreffend Anforderungen für das Bauen in Erdbebengebiete enthält noch die Norm ASTM E 2392 und die neuseeländische Normenreihe NZS 429x liefert in dessen Regelwerk Angaben für das Bauen außerhalb und innerhalb von Erdbebengebieten. Aus China sei noch die Norm GB 50011 erwähnt. Dieser umfangreiche Standard behandelt allgemein die Erdbebenproblematik und beinhaltet auch einen eigenen kurzen Abschnitt zur Ausführung von Lehmbauten.

4.10.2 Erdbebenzonen

In der Regel finden sich in den heutigen Standards über Erdbeben immer Angaben zu Erdbebenzonen, die eine Zuordnung betreffend unterschiedliche Erdbebenrisiken liefert. Diese Zonierung ermöglicht es bei der Planung rasch festzustellen, ob ein Gebäude mittels zusätzlicher Maßnahmen auszustatten ist oder nicht, um es so erdbebensicher auszuführen.

Auch die Lehmbaunormen folgen diesem Konzept. Die Tabelle 68 enthält eine Gegenüberstellung der in diesen Normen verwendeten Zonierungen für die unterschiedlichen Erdbebenszenarien. Zusätzlich finden sich dazu noch Angaben aus der fachverwandten ÖNORM B 1998-1 mit den Festlegungen für die unterschiedlichen Grade von Erdbeben, die für Österreich gelten.

Tabelle 68 – Gegenüberstellung der jeweiligen Erdbebenzonen

IS 13827			NTE E.080		ASTM E 2392		NEC-SE-V.		ÖNORM B 1998-1 ⁷⁴³			
Zo	MI	F ₀ ⁷⁴⁴	Zo	Z	Seismic risk	MI	Zo	Z	Zo	Grad	a _{gR} [m/s ²]	
							6	≥0,50				
5	IX	0,40	4	0,45			5	0,40		IX		zerstörend
4	VIII	0,25	3	0,35	High Risk (hr)	≥VIII	4	0,35	4	≥VIII	>1,0	schwere Gebäudeschäden
3	VII	0,20	2	0,25	Medium Risk (mr)	VII	3	0,30	3 2	VII	>0,75-1,0 >0,5-0,75	Gebäudeschäden
2	VI	0,10	1	0,10		VI	2	0,25	1	VI	>0,35-0,5	leichte Gebäudeschäden
1	V	0,05			Low risk (lr)	≤V	1	0,15	0	≤V	≤0,35	stark fühlbar
Es bedeutet:												
Zo	Erdbebenzone											
MI	Mercalli Intensity											

⁷⁴³ Vgl. ÖNORM B 1998-1, Anhang C, Tabelle C.1; ÖNORM B 1998-1 enthält nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen, die nur in Österreich gelten.

⁷⁴⁴ Vgl. IS 1893:1984, Tabelle 2

F_0	Seismic zone factor for average acceleration spectra
Z	fraccion de la aceleracion de la gravedad
α_0	Basic horizontal seismic coefficient
a_{gR}	Referenzbodenbeschleunigung

Die beiden Normen IS 13827 und ASTM E 2392 liefern dabei einen direkten Bezug zur Bewertungsskala nach Mercalli. Dieser Bezug fehlt in den beiden südamerikanischen Normen NTE und NEC. Jedoch wird in der Tabelle 68 versucht über den seismischen Faktor für die durchschnittliche Beschleunigung Z eine Zuordnung nach Mercalli herzustellen.

Die ÖNORM B 1998-1 folgt wiederum der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS), die leichten Abweichungen zur Skala von Mercalli aufweist.

In der Norm GB 50011 wird für die Zonierung als Bezugsgröße der „*Design basic acceleration value of ground motion*“ herangezogen. Dabei beginnt die Einteilung mit der Zone 6 bei 0,05g und reicht bis zu einer Zone 9 bei der 0,40g vorliegt. Lehmgebäude sind nach dieser Norm bis zur Zone 7 mit einem Grundbeschleunigungswert von 0,10g zugelassen.⁷⁴⁵

Dem gegenüber stehen noch die beiden Normen NBC 204 und NZS 429x. Findet sich in der nepalesischen Norm nur die Festlegung nach Erdbebengebieten unter Prüfung lokaler Besonderheiten, definiert die neuseeländische Normreihe einen Erdbebenfaktor Z , der ab 0,6 ein Erdbebengebiet aufweist für das dann besondere konstruktive Maßnahmen schlagend werden.⁷⁴⁶

Sollten keine Karten mit Erdbebenzonen vorliegen, so zeigt die nepalesische Norm NBC 204 Vorgaben, wie mit augenscheinlicher Prüfung ein Bauplatz auf mögliche Risiken diverser Naturgefahren untersucht werden kann. Dazu können etwa bestehende Gebäude auf Anzeichen solcher Gefahren (Erdrutsche, Erosion und Landverwerfungen) geprüft werden. Bei Vorhandensein von geologischen Verwerfungen sollten Gebäude mindestens 500m von der Verwerfungslinie entfernt errichtet werden. Zur augenscheinlichen Prüfung auf Gefahren von Erdrutschen können auch bestehende Bäume betrachtet werden. Stehen diese aufrecht, deutet dies auf eine anhaltende Stabilität des Geländes hin. Neigen sie Hang abwärts, so weist dies auf eine instabile Böschung hin. Zusätzlich sollte der Bauplatz auf möglichen Steinschlag oder -würfe inspiziert und notfalls davor gesichert werden. Nach NBC 204 sollte die Geländeneigung des Baugrunds nicht mehr als 20°

⁷⁴⁵ Vgl. GB 50011:2016, Abschnitte 3.2 und 11.2

⁷⁴⁶ NZS 4299:1998, Abschnitt 2.3

aufweisen. Bei einer stärkeren Neigung ist dann der Hang mit entsprechenden Stützmauern zu sichern.⁷⁴⁷

Tabelle 69 – Geschoßanzahl gemäß den definierten Erdbebenzonen

IS 13827 ⁷⁴⁸			NTE ⁷⁴⁹		ASTM ⁷⁵⁰	
Zo	Wohngebäude	Gebäude mit hoher Bedeutung	Zo		Seismic risk	
5	eingeschossig	nicht aus Lehm	4	eingeschossig		
4	eingeschossig	nicht aus Lehm	3	eingeschossig	hr	eingeschossig
3	zweigeschossig	eingeschossig	2	zweigeschossig	mr	eingeschossig
2	zweigeschossig	zweigeschossig	1	zweigeschossig		
1	zweigeschossig	zweigeschossig			lr	zweigeschossig

Die Tabelle 69 umfasst noch für die Normen IS 13827, NTE E.080 und ASTM E 2392 eine Zusammenstellung, wann ein Gebäude abhängig von der jeweiligen vorhandenen Erdbebenzonen ein- bzw. zweigeschossig ausgeführt werden darf. Nach der neuseeländischen Norm NZS 4299 gibt es in Bezug auf Bauen in Erdbebengebiete keine Einschränkung ob ein- oder zweigeschossig, jedoch findet sich eine Begrenzung zur Grundrissfläche und zwar bei $Z > 0,6$ mit 600m^2 für eingeschossige Gebäude und 300m^2 für zweigeschossige Gebäude.⁷⁵¹ Die ecuadorianische Norm NEC-SE-VIVIENDA lässt auch das Errichten von Lehmbauten bis zwei Geschossen grundsätzlich zu abhängig von einer rechnerischen Überprüfung.⁷⁵² Nach GB 50011 werden für Lehmgebäude in Erdbebengebieten generell nur eingeschossige Häuser erlaubt.⁷⁵³

4.10.3 Abmessungen

Allgemein sollte die Grundrissform eines Gebäudes in einem Erdbebengebiet regelmäßig und symmetrisch sein und L- bzw. T- förmige Grundrisse sind zu vermeiden. Die lastabtragenden Wände

⁷⁴⁷ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitt 4

⁷⁴⁸ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitte 4.5 und 10.1

⁷⁴⁹ NTE E.080:2017, Abschnitt 4.2

⁷⁵⁰ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitt X1.1

⁷⁵¹ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitt 1.2

⁷⁵² Vgl. NEC-SE-VIEVENDA:2014, Tabelle 3; Jedoch wird im Abschnitt über Lehmbau die Angabe aus der Tabelle 3 relativiert, in dem die Empfehlung ausgesprochen wird, nur eingeschossig zu bauen.

⁷⁵³ GB 50011:2016, Abschnitt 11.2.2

sind fest miteinander zu verbinden und kontinuierlich in beiden Richtungen verlaufen. Nach NBC 204 sollte das Verhältnis von Breite zu Länge für den Grundriss 1:3 nicht überschreiten. Dieses Verhältnis gilt auch für Räume oder Bereiche innerhalb der tragenden Wände.⁷⁵⁴

Die Tabelle 70 beinhaltet eine Zusammenstellung der unterschiedlichen konstruktiven Grenzabmessungen für erdbebensicheres Bauen.

Tabelle 70 – Abmessungen für erdbebensicheres Bauen

LB-Normen	Abstand zw. Qw [cm]	Wh [cm]	Wb Qw	Wl zw. Qw	Wö [cm]	Abst Aw-Kante zu Wö [cm]	Kz	Er
ASTM E 2392 ⁷⁵⁵		6Wb(hr) 8Wb (mr)			≥120 ΣWö<1/3Wl	≥120	k	Ja
NEC-SE-V. ⁷⁵⁶	10Wb	8Wb	k.A.	k.A.		≥120	t,s,k	Ja
NTE E.080 ⁷⁵⁷	10Wb	6bis8Wb	≥Wb	3-5Wb (u.) ≥Wb (o.)	≤10Wb/3	3-5Wb	t,s,k	Ja
IS 13827 ⁷⁵⁸	10Wb und 64Wb ² /Wh	8Wb	≥Wb	≥3Wb (u.) ≥Wb (o.)	≥120 ΣWö<1/3Wl Zo 3,4: 0,4Wl	≥120	t,s	Ja
NBC 204 ⁷⁵⁹	10Wb	8Wb	k.A.	k.A.	ΣWö<120	120	s	Ja
GB 50011 ⁷⁶⁰	320	250	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
Es bedeutet:								
(u.) Länge der Wandunterkante								
(o.) Länge der Wandoberkante								

Die Abbildung 62 zeigt nochmals diese Grenzabmessungen, die für Lehmgebäude in Erdbebengebieten gelten, entnommen aus den einzelnen Lehmbaunormen.

⁷⁵⁴ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitte X1.4.2 bis X.1.4.7 sowie Bilder 4 bis 7; IS 13827:1993, Abschnitt 4.6; NBC 204:2015, Abschnitt 5

⁷⁵⁵ Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitte X1.4.2 bis X.1.4.7 sowie die Bilder 4 bis 7

⁷⁵⁶ Vgl. NEC-SE-VIVIENDA:2014, Bild 23

⁷⁵⁷ Vgl. NTE E.080:2017, Bild 2

⁷⁵⁸ Vgl. IS 13827:1993, Abschnitt 10.1, Bild 4 und Bild 5

⁷⁵⁹ Vgl. NBC 204:2015, Abschnitte 5, 7.3, 7.4 und 8

⁷⁶⁰ Vgl. GB 50011:2016, Abschnitt 11.2

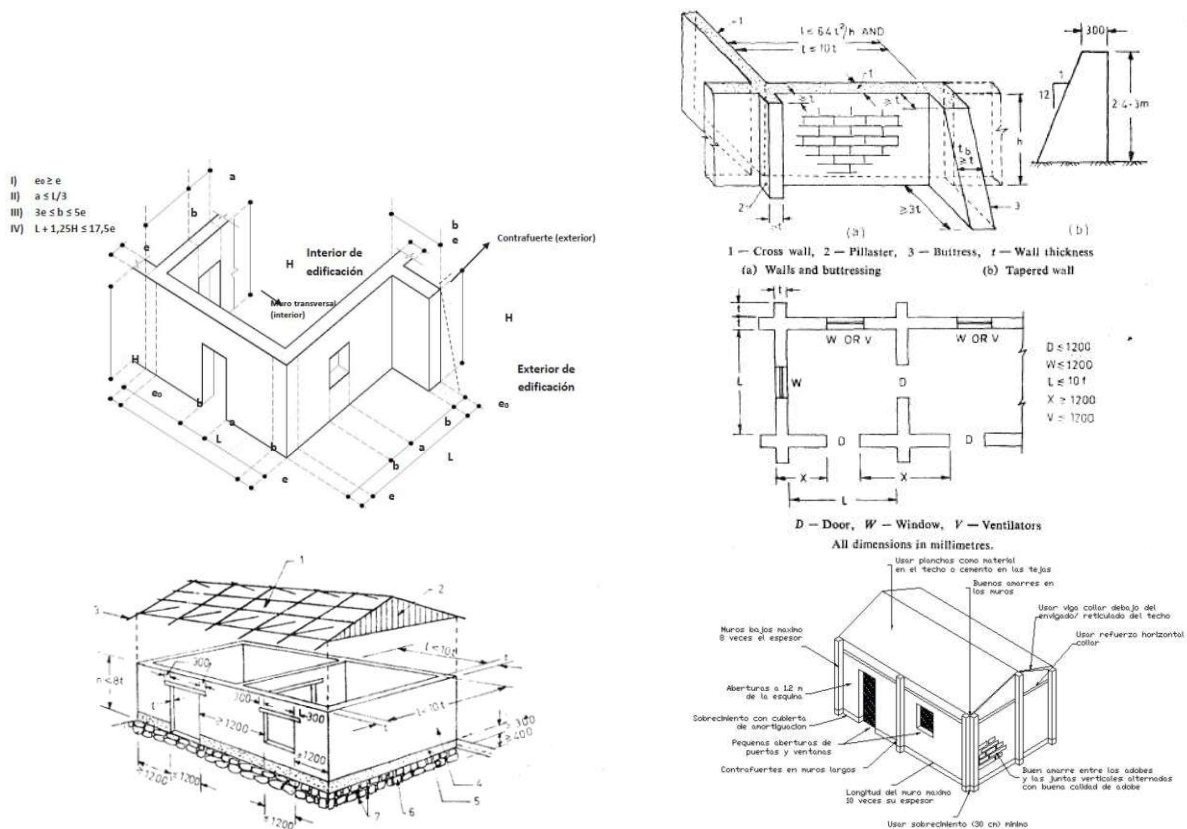


Abbildung 62 – Gebäudeabmessungen für erdbebensicheres Bauen mit Lehm⁷⁶¹

4.10.4 Dach

Grundsätzlich sollte das Dach aus Holz oder ähnlichem Material so leicht wie möglich konstruiert werden und sicher in die Wand verankert sein. Die indische Norm IS 13827 lässt schwere Dachkonstruktion (z.B. Holzbalken mit Lehmschüttung, Dachziegeln und Schieferdächer) nur in den Erdbebenzonen 1 bis 3 zu. Generell wird in den Normen empfohlen, dass die Dachbalken, Sparren oder Traversen vorzugsweise auf einem Ringbalken ruhen sollten, umso das gleichmäßige Ableiten der Dachlasten in die tragenden Wände sicherzustellen und konzentrierte Lastableitung an einer Stelle zu vermeiden.⁷⁶²

⁷⁶¹ Von links nach rechts: NTE E.080:2017, Bild 2; IS 13827:1993, Bilder 4, 5 und 8 (in ähnlicher Form auch in NBC 204:2015, Bild 8.1); NEC-SE-VIVEINDA:2014, Bild 23

⁷⁶² Vgl. ASTM E 2392:2010, Abschnitte X1.4.2 bis X1.4.7 sowie die Bilder 4 bis 7; NBC 204:2015, Abschnitt 9; IS 13827:1993, Abschnitt 10.4; NTE E.080:2017, Abschnitt 7.4; NEC-SE-VIVIENDA:2014, S. 58; GB 50011:2016, Abschnitt 11.2

4.10.5 Aussteifungen und Verstärkungen

Prinzipiell ist die Struktur eines Gebäudes folgendermaßen aufzubauen, um dieses erdbebensicher zu gestalten: die (Zwischen)decken sollten als „horizontale Streben“ wirken und die (Quer)wände bzw. Widerlager als „vertikale Streben“. Mit diesen vertikalen und horizontalen Aussteifungen können Lehmgebäude gegen mögliche auftretende Erdbebenkräfte gesichert werden und sind damit in der Lage Druck-, Scher- und Zugspannungen standzuhalten. Dies kann durch unterschiedliche Maßnahmen noch zusätzlich verstärkt werden.

Gemeinsam ist den Lehmbaunormen die Empfehlung an den Gebäudenecken seitliche Querwände oder Strebepfeiler vorzusehen. Diese vertikalen Verstärkungen sollen dabei eine ausreichende Festigkeit und Stabilität aufweisen, damit die auftretenden Scherkräfte sicher in das Fundament übertragen werden. Dabei sollte der Kraftfluss vom Ringbalken beginnend über die Wände in das Fundament reichen.

Bei erhöhter Erdbebengefahr wird nach IS 13827 beispielsweise gleich die ganze Wand mit vertikalen Verstärkungen aus Bambusstäben in einem Abstand von 40cm versehen bzw. eine ähnliche Ausführungsform kennt auch NTE E.080 (siehe Abbildung 63).

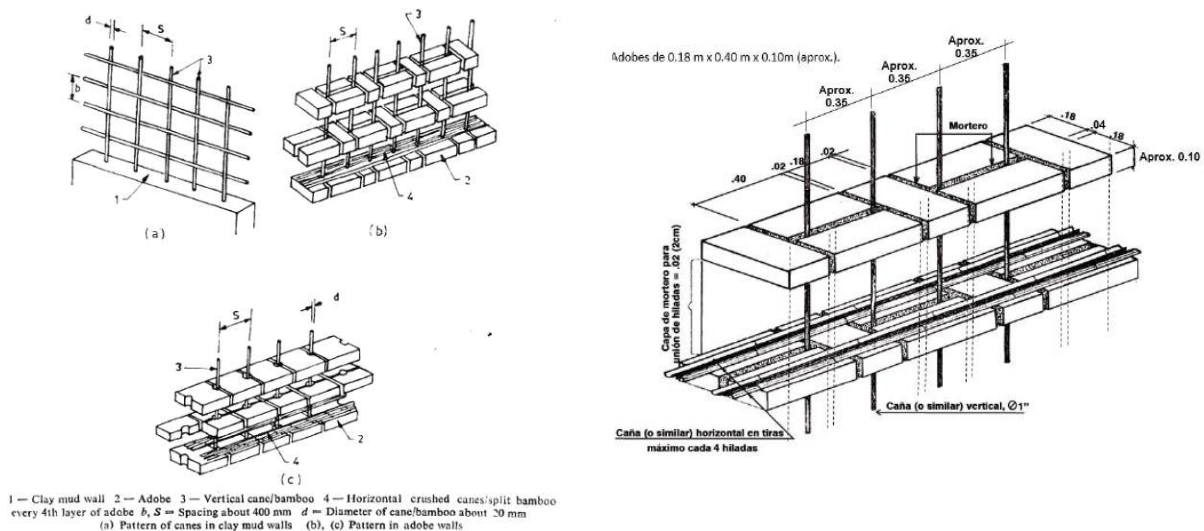


Abbildung 63 – Vertikale Verstärkungen⁷⁶³

Neben Strebepfeiler können die Gebäudeecken noch durch andere Maßnahmen verstärkt werden. Beispielsweise können diese Bereiche durch das Einlegen von Holz, aber auch Beton, Bambus oder Schilfrohre zusätzlich befestigt werden. In der IS 13827 wird dafür beispielsweise sägeraues Holz mit

⁷⁶³ Von links nach rechts: IS 13827:1993, Bild 11 und NTE E.080:2017, Bild 4

den Querschnittsmaßen von 7x15cm, 5x10cm oder 7x7cm verwendet bzw. NTE E.080 enthält dazu ebenfalls eine Ausführungsvariante (siehe Abbildung 64).

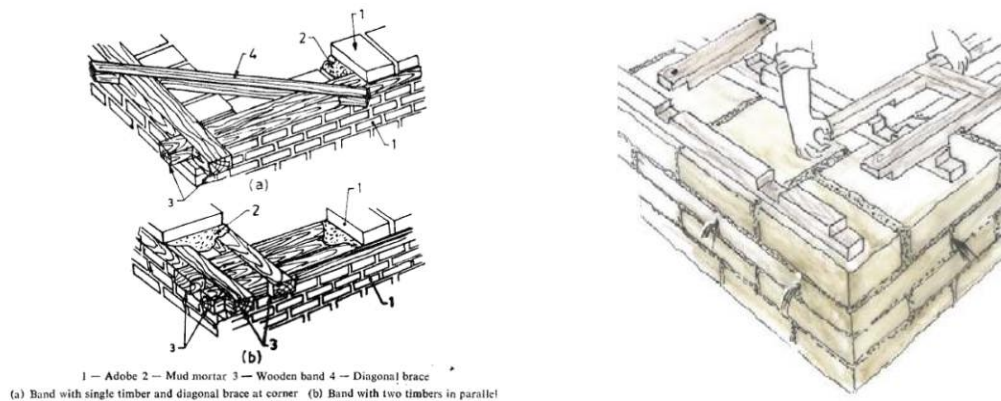


Abbildung 64 – Eckverstärkungen⁷⁶⁴

NTE E.080 stellt noch eine weitere Form für eine flächige Verstärkung von Lehmwänden vor. Dabei wird durch das Einlegen von gitterförmigen Strukturen aus Metall, Drähte, Seile oder Geotextilien unter Putz, die fest mit dem Ringbalken und Fundament verbunden sind, eine Verstärkung der Wand erreicht (siehe Abbildung 65).⁷⁶⁵ Werden Metallgitter verwendet, so besitzen diese rechteckigen oder quadratischen Öffnungen mit einer Maschenweite von maximal 50mm und eine Mindestzugfestigkeit von 3,5kN/m in beiden Richtungen bei einer zugelassenen Dehnung von 2%.⁷⁶⁶

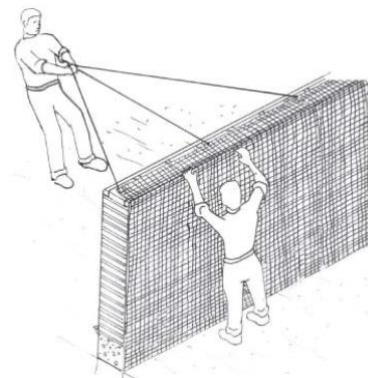


Abbildung 65 – Flächige Verstärkungen⁷⁶⁷

⁷⁶⁴ Von links nach rechts: IS 13827:1993, Bild 9 und NTE E.080:2017, Bild 3

⁷⁶⁵ Vgl. NEC-SE-VIVEINDA:2014, Abschnitt 6.7.2, S. 59-60; NTE E.080:2017, Abschnitte 6.10 und 7.5; NBC 204:2015, Abschnitte 7.6 und 10

⁷⁶⁶ Vgl. NTE E.080:2017, Abschnitt 6.10

⁷⁶⁷ Ebda Bild 5

Nach NZS 429x erfolgt die notwendige Verstärkung für Lehmbauten in Erdbebengebieten zumeist durch das Einlegen von Stahlbewehrungen in die Lehmwände. Detailliert wird die richtige Auswahl des Bewehrungstyps beschrieben und wie die Verankerung des Bewehrungsseisens in Holz- oder Betonbalken zu erfolgen hat. Des Weiteren werden auch ähnlich der NTE E.080 polypropylene biaxiale Geogittern gemäß ÖNORM EN ISO 10319 zur Wandverstärkung zugelassen.⁷⁶⁸ Schließlich finden sich in dieser Normreihe noch genaue Angaben, wie Decken- oder Dachelemente verstärkt werden können.⁷⁶⁹

Zur Dimensionierung hinsichtlich ausreichender Gebäudeaussteifung findet sich in NZS 4299 noch für die einzelnen Gebäudeteile abhängig vom Gebäudetyp (ein oder zweigeschossig mit leichtem oder schwerem Dach), Wandlänge, -stärke, -höhe in den Tabelle 5.1 bis 5.5 Anforderungen, um eine ausreichende Aussteifung von bewehrten Wänden in Erdbebengebiete zu erreichen.⁷⁷⁰

4.11 Zusammenfassung

Der vorliegende Abschnitt 4 hat gezeigt, dass weltweit bereits eine erstaunliche Anzahl von regionalen Standards zum Lehmbau existiert. Über den durchgeführten Vergleich zu sämtlichen wesentlichen Fragestellungen zur Planung und Ausführung von Lehmbauten aus Lehmziegel und Stampflehm konnte eine Analyse vorgenommen werden, um zu klären, ob diese Normen ähnliche Anforderungen enthalten oder die Unterschiede auf Grund von regionalen Besonderheiten doch eher auseinander driften. Denn wenn unter den Normen Ähnlichkeiten vorhanden wären, umso sinnvoller wäre es, die Bedeutung des Lehmbaus am besten durch einen Europäischen Standard in Zusammenarbeit mit internationalen Normungsgremien – also durch die Schaffung eines ÖNORM EN ISO Standards – zu unterstreichen.

Die untersuchten Lehmbaunormen decken im Wesentlichen die weltweit wichtigsten Klimazonen ab. Von der tropischen, über subtropischen bis zur kühlgemäßigten Klimazone finden sich Regelwerke zum Lehmbau. In diesem Kontext kennen alle Normen eine gemeinsame grundlegende Anforderung, nämlich den Schutz des Bauwerkes gegen sämtliche mögliche Feuchtebelastung. Dies gilt für trockenes als auch feuchtes Klima. Die gesetzten Maßnahmen zum Schutz des Bauwerkes sind dabei

⁷⁶⁸ Vgl. NZS 4297:1998, Abschnitt 8; NZS 4298:1998, Abschnitt 2.6; NZS 4299:1998, Abschnitte 5.8 und 5.9

⁷⁶⁹ Vgl. NZS 4299:1998, Abschnitte 6.2 bis 6.8

⁷⁷⁰ Vgl. Ebda Abschnitt 5.4

immer gleich, nämlich die Ausführung eines entsprechenden Dachüberstandes, Oberflächenschutz durch Putz oder Beschichtungen sowie den Einsatz von Abdichtungsbahnen. Unterschiede gibt es nur in der Art der Ausführung entweder beim Putz, wo die indische Norm IS 13827 etwa fordert, dass bei Gebieten mit erhöhten Niederschlägen dieser in einer anderen Materialausführung zu erfolgen hat als in trockenen Regionen. Also das Bauen in feuchten Regionen erfordert erhöhte Anforderungen an beispielsweise dem Putzsystem oder Dachüberstand als dies in trockenen Gebieten der Fall ist. Ferner fordern unterschiedliche Außentemperaturen differenzierte Schutzmaßnahmen. Stellt in heißen Regionen die Ausrichtung eines gekühlten Raumklimas eine wichtige Anforderung dar, so gilt für kalte Regionen erhöhte Aufmerksamkeit für den Wärmeschutz eines Bauwerks. Und während der Ausführung eines Bauwerks gilt für kalte Regionen Frostfreiheit und in heißen Gebieten der Schutz der Lehmbauteile vor zu raschem Austrocknen.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für den Lehmabau stellt neben den klimatischen Anforderungen der Schutz des Gebäudes gegen Erdbebenbelastungen dar. Dabei zeigt sich bei den untersuchten Normen zum Erdbeben, dass hier die Unterschiede in den gesetzten Maßnahmen noch geringer sind. Im Wesentlichen kennen alle Normen die gleichen Planungs- und Ausführungsschritte, um das Bauwerke vor dieser Belastung zu schützen.

Gleiches gilt auch für die Prüfung des Baulehms auf dessen Materialeigenschaften. Auch hier werden in den unterschiedlichen Lehmbaunormen und auch fachverwandten Normen im Wesentlichen ähnliche Vorgangsweisen und Verfahren beschrieben.

Betrachtet man die untersuchten Normen, so kann man feststellen, dass im Moment vor allem die neuseeländische Normreihe die allumfassendste Lehmbaunorm darstellt. In diesen drei Teilen werden für die unterschiedlichsten Lehmbautechniken, die dafür notwendigen Anforderungen hinsichtlich des Materials, Gebrauchstauglichkeit (Dauerhaftigkeit), Bemessung, Planung und Ausführung definiert. Diese Normenreihe enthält nicht nur detailliert formulierte Anforderungen zum Bauen mit Lehm, sondern auch ergänzend umfangreiche nützliche Bild Darstellungen.

In Bezug auf das Bauen mit Lehm in Erdbebengebieten bieten vor allem die südamerikanische Norm NTE E0.80, die nepalesische Norm NBC 204, sowie die älteste und weiterhin gültige indische Norm IS 13827 wertvolle Angaben über konstruktive Vorgaben für ein sicheres Bauen sowie einfache Berechnungsansätze für eine Nachweisführung von Lehm-Bauwerken gegen Erdbebenbelastungen.

Einen einzigartigen Stellenwert zur Fertigung von industriell gefertigten Lehmprodukten bilden im Speziellen die aktuellen DIN-Normen. Diese stellen vor allem für den europäischen Normenraum eine

ideale Grundlage dar, da diese schon vorausschauend im Sinne der in der Europäischen Union geltenden Bauproduktenverordnung formuliert sind.

Die Tabelle 71 zeigt nochmals eine kurze Zusammenstellung von aktuell gültigen Normen, die für das Bauen mit Lehmziegel bzw. Stampflehm herangezogen werden können. Großteils stammen diese Normen von offiziellen Normungsinstituten, die auch Mitglied der Internationalen Organisation für Normung (ISO) sind, und somit den Vorgaben dieser Normungsorganisation unterworfen sind. Das ist insofern wichtig, da damit sichergestellt ist, dass die publizierten Normen einem laufenden Evaluierungsprozess der nationalen Fachgremien hinsichtlich Prüfung auf Aktualität der Norm unterliegen. Wenn diese nicht mehr dem jeweiligen Stand der Technik entspricht, so ist sie entweder zu aktualisieren oder zurückzuziehen. Diese Vorgangsweise lässt sich etwa bei Betrachtung der indischen Norm IS 13827 sehr schön nachvollziehen. Diese Norm stammt ursprünglich aus dem Jahr 1993 wurde aber sukzessive auf dessen Richtigkeit geprüft und auch zweimal durch Ergänzungen (Amendments) aktualisiert. Die letzte Überprüfung auf Aktualität erfolgte im Jahr 2018 durch das für diese Norm verantwortliche indische Komitee „Earthquake Engineering Sectional Committee“ CED 39 mit dem Ergebnis, dass dieser Standard weiterhin dem Stand der Technik entspricht.⁷⁷¹

Tabelle 71 – Normen für Lehmziegel (LZ) und Stampflehm (SL)

Lehmnormen	Lehmtechnik	Land	Anwendungsbereich	Jahr
DIN 18945:2018	LZ	Deutschland	Produktnorm für den Lehmziegel	2018
LB-Regeln ⁷⁷² :2009	LZ, SL	Deutschland	Planung und Ausführungsangaben für Lehmziegel und Stampflehm	2009
ASTM E 2392:2010	LZ, SL	USA	Kompakter Leitfaden mit den grundlegenden Anforderungen für das Bauen mit Lehm.	2010 ⁷⁷³
NMAC 14.7.4:2015	LZ, SL	New Mexiko	Teilweise detaillierte Angaben inklusive Skizze für das Bauen mit Lehm	2015
NTE E.080:2017	LZ, SL	Peru	Angaben zur Planung und Ausführung für das Bauen mit Lehm in Erdbebengebieten	2017
IS 13827:1993	LZ, SL	Indien	Angaben zur Ausführung von	1993 ⁷⁷⁴

⁷⁷¹ Vgl. https://standardsbis.bsbedge.com/BIS_SearchStandard.aspx?Standard_Number=13827&id=0 [Zugriff: 14.08.2022]

⁷⁷² Mit Erscheinen der DIN 18940 werden die Lehmnormen einer neuerlichen Überarbeitung unterzogen.

⁷⁷³ Letzte Prüfung auf Aktualität der Norm erfolgte 2016.

⁷⁷⁴ Letzte Prüfung auf Aktualität der Norm erfolgte 2018.

Vergleich der weltweit gültigen Lehmbaunormen

			Lehmbauwerken in Erdbebengebieten	
SADC ZW HS 983:2014	SL	Zimbabwe	Spezieller Leitfaden für Planung und Ausführung von Stampflehmbauwerke	2014
NZS 4297:2020	LZ, SL	Neuseeland	Grundlagennorm für das Bauen mit Lehm	2020
NZS 4298:2020	LZ, SL	Neuseeland	Aufbereitung und Verarbeitung des für den Lehmbau benötigten Materials	2020
NZS 4299:2020	LZ, SL	Neuseeland	Planung und Ausführung von Lehmbauwerken	2020
NBC 204:2015	LZ, SL	Nepal	Angaben zur Planung und Ausführung für das Bauen mit Lehm in Erdbebengebieten	2015

Nach Abschluss der Analyse kann damit klar die Aussage getroffen werden, dass es durchaus Sinn macht, einen weltweit einheitlichen Standard für den Lehmbau zu erstellen, der so zu gestalten wäre, dass er für regionale Besonderheiten noch Raum zulässt. Dies könnte in der gleichen Weise erfolgen, wie dies in der Europäischen Normung beispielsweise bei den Bemessungs- und Berechnungsnormen für den konstruktiven Hoch- und Tiefbau in Form der Eurocodes (z.B. Eurocode 6 für das Mauerwerk) bereits längst gelebte Praxis darstellt. Dort wo zu große Unterschiede zwischen regionalen Anforderungen bestehen, überlässt man die Regelungen den jeweiligen Ländern, jedoch bei Vorhandensein von weltweiten Gemeinsamkeiten werden diese in der Norm direkt festgelegt. Eine weitere Möglichkeit, um einen gewissen Spielraum in einer Norm zu ermöglichen, stellt das Konzept der Normung von Bauprodukten dar. Hier werden klimatische bzw. regionale Unterschiedlichkeiten in der Form berücksichtigt, dass für diese Bereiche ein Auswahlkriterium definiert wird, aus dem jedes Land für sich seine eigenen Merkmale festlegen kann. Mit diesen beiden Konzepten ließe sich sehr leicht ein weltweit einheitlicher Standard für den Lehmbau realisieren. Dies umso mehr, als die durchgeführte Analyse im Abschnitt 4 ergab, dass die Unterschiede der verschiedenen regionalen Standards keine Großen darstellen.

Im abschließenden Kapitel 5 wird nun versucht auf Basis der durchgeführten Analyse einen Normenvorschlag für den Lehmziegelbau und Stampflehm zu formulieren. Dabei sollen nicht nur die regionalen Lehmbaunormen in dessen Erstellung einfließen, sondern auch die bereits weltweit vorhanden fachverwandten Normen mitberücksichtigt werden. Ferner wird für Österreich ein Leitfaden aus den bestehenden regionalen Lehmbaunormen und fachverwandten Normen zusammengestellt, der als Überbrückung, bis eine eigener Lehmbau-Standard vorliegt, für den Ausschreiber als ein Hilfsmittel dienen sollte, um im Sinne des BVerGG 2018 Bezugsnormen für den Lehmbau nennen zu können.

5 ABLEITUNG FÜR DIE LEHMBAUPRAXIS

5.1 Einführung

Die Vorgangsweise für ein Vergabeverfahren von Bauleistungen im öffentlichen Bereich bzw. im Sektorenbereich wird durch das Bundesvergabegesetz (BVerG 2018) festgelegt und für Leistungen, die nicht dem BVerG 2018 unterliegen, durch die ÖNORM A 2050 „Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibungen, Angebot, Zuschlag“ definiert. Diese beiden Dokumente regeln das Verfahren, wie Ausschreibungen und Leistungsvergaben zu erfolgen haben. Jedoch finden sich hier keine Angaben, wie ein Bauvertrag allgemein auszusehen hat. Dies wird in der ÖNORM B 2110 „Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm“ festgelegt. Diese Norm dient dazu sicherzustellen, dass „damit eine vollständige Beschreibung und eindeutige Festlegung der vereinbarten Bauleistungen erzielt werden.“⁷⁷⁵ Dies wird eben durch einen eindeutig definierten Bauvertrag erreicht, der aus mehreren bestimmten Vertragsbestandteilen bestehen kann, die wiederum genau in der ÖNORM B 2110 aufgelistet sind. Dazu zählen u.a. schriftliche Vereinbarungen, Beschreibungen der Leistung, Pläne, technische Berichte, Normen technischen Inhaltes sowie Richtlinien technischen Inhaltes.⁷⁷⁶ Das heißt, nicht nur ÖNORMEN sind von maßgebender Relevanz in Sinne des Bauvertrages, sondern auch Richtlinien mit technischem Inhalt.

Laut Duden versteht man unter dem Begriff „Richtlinie“ folgende Bedeutung: „von einer höheren Instanz ausgehenden Anweisung für jemandes Verhalten in einem bestimmten Einzelfall, in einer Situation bei einer Tätigkeit o.Ä.“⁷⁷⁷ und Wikipedia definiert diesen Begriff wie folgt:

„Als Richtlinie [...] wird in den deutschsprachigen Staaten eine Handlungs- oder Ausführungsvorschrift einer Institution oder Instanz bezeichnet, die jedoch kein förmliches Gesetz ist [...]. Ob und für wen eine Richtlinie eine Bindungswirkung entfaltet, ist abhängig von der Befugnis und Anerkennung des Herausgebers der Richtlinie sowie von der Art und dem Umfang der für die jeweils betroffenen Adressaten geltenden Verbindlichkeit. [...] Es gibt einerseits technische Richtlinien, die von einer Organisation ausgegeben werden und einen

⁷⁷⁵ ÖNORM B 2110:2013, Abschnitt 1

⁷⁷⁶ Vgl. ÖNORM B 2110:2013, Abschnitt 5.1.3

⁷⁷⁷ Quelle: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Richtlinie>, [Zugriff am 27.07.2020]

*Handlungsrahmen vorgeben. Andererseits werden rechtliche Richtlinien von einem dazu formellgesetzlich ermächtigten Gremium beschlossen.*⁷⁷⁸

Das heißt im konkreten, dass technische Richtlinien von Organisationen, die im Idealfall ausgewogen und damit paritätisch besetzt sein sollen, herausgebracht werden können, die auch neben ÖNORMEN ebenfalls Vertragsbestandteil eines Bauvertrages sein können.

Im Hochbau stellt diese Vorgangsweise neben der Veröffentlichung von ÖNORMEN in Österreich auch eine gelebte Praxis dar, dazu einige Beispiele:

Das Institut für Flachdach und Bauwerksabdichtungen (IFB) publiziert Richtlinien für den Abdichtungsbereich, die neben den ÖNORMEN B 3691 und B 3692 ihre Gültigkeit aufweisen. Als Beispiele können hier genannt werden „*Richtlinie Dichtheits- und Feuchtemonitoring Gebäudeassistenzsysteme innerhalb der Gebäudehülle und in Bauteilenteilen*“, „*Richtlinie Bauwerksabdichtung – Anschluss an bodentiefe Fenster und Türen*“ oder „*IFB-Richtlinie Abdichtung erdberührter Bauteil im Hochbau*“. Etliche Richtlinien aus diesem Institut lieferten auch eine Basis für die Erstellung der beiden ÖNORM B 3691 und B 3692.⁷⁷⁹

Für den Bereich des Holzbaues zeichnet sich das Institut Holzforschung Austria federführend in Bezug auf Veröffentlichungen zu dieser Bautechnik. Als Beispiel sei hier die „*Richtlinie Sockelanschluss*“ genannt. Richtlinien aus diesem Institut stellen u.a. auch eine Grundlage für die Erstellung der ÖNORM B 2320 „*Wohnhäuser aus Holz*“ dar.⁷⁸⁰

Der Verband für Bauwerksbegrünung „Grünstattgrau“ veröffentlicht Fachinformationen und Beiblätter (z.B. zur ÖNORM L 1131 „Dachbegründung“) zu allen möglichen Arten von Begrünungen im Bereich des Hochbaus, so etwa für das Dach, Fassade und Innenwand. Auch hier lieferten diese Richtlinien einen wesentlichen Input zur Entwicklung der bestehenden ÖNORM L 1131 für Dachbegrünungen.⁷⁸¹

⁷⁷⁸ Vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinie>, [Zugriff am 27.07.2020]

⁷⁷⁹ Vgl. <https://ifb.co.at/richtlinienschadensberichte>, [Zugriff am 27.07.2020]

⁷⁸⁰ Vgl. <https://www.holzforschung.at/>, [Zugriff am 27.07.2020] sowie ÖNORM B 2320:2017, *Wohnhäuser aus Holz – Technische Anforderungen*

⁷⁸¹ Vgl.: <https://gruenstattgrau.at/infomaterial/>, [Zugriff am 27.07.2020]

Die Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV) entwickelt neben den gültigen Normen zum Betonbau ebenfalls Richtlinien und Leitfäden über die unterschiedlichen Betontechnologien, wie z.B. zu Sichtbeton, Faserbeton, Spritzbeton, Weiße Wanne. Dazu gibt es im ÖBV Arbeitskreise zu den Themen Materialtechnologie, Baukonstruktion und Bauverfahren. Diese Arbeitskreise setzen sich aus Vertretern von Bauherren, Bau- und Baustoffunternehmung, Planern und Prüfanstalten zusammen, die unterschiedliche Regelwerke mit den Inhalten rund um Planung und Ausführung für den Betonbau erarbeiten.⁷⁸²

All diese Beispiele zeigen sehr schön, wie die Entwicklung von technischen Richtlinien durch unterschiedliche Organisationen einen wichtigen Beitrag liefern kann, um technische Fragestellungen durch Expertengremien über die Publikation solcher Richtlinien zu beantworten. Und nicht nur das, diese Dokumente stellen oft eine wichtige Grundlage dar, um daraus in weiterer Folge eine technische Norm in der Form einer ÖNORM zu erarbeiten, wie die Beispiele aus dem Holzbau (ÖNORM B 2320), Gründach (ÖNORM L 1131) oder Abdichtungsarbeiten (ÖNORMEN B 3691 und B 3692) anschaulich zeigen.

Dies könnte auch für den Lehmbau ein für Österreich möglicher Weg sein. So könnte etwa durch den 2017 gegründeten Lehmbauverein „*Netzwerk Lehm*“⁷⁸³ ebenfalls solche Richtlinien über den Lehmbau erstellt werden, die in weiterer Folge eine Grundlage sein könnten für eine eigene ÖNORM zum Lehmbau. Aus diesem Grund wird im folgenden Abschnitt zunächst auf Basis der erfolgten Normenanalyse aus den beiden Abschnitten 3 und 4 eine fundierte Normenliste erstellt, die alle Normen umfassen soll, die für den Lehmbau in Österreich von Relevanz sind und als abschließender Schritt wird versucht, einen Textentwurf zu einem Normenvorschlag für die beiden Bautechniken Lehmziegelbau und Stampflehmbau zu formulieren.

Grundsätzlich gibt es für jede Erfordernis unterschiedliche Normarten. Dazu zählen etwa folgende Typen:

- Grund- oder Basisnorm sowie Terminologienorm,
- Planungsnorm,
- Konstruktions-, Berechnungs- oder Bemessungsnorm,
- Produktnorm,

⁷⁸² Vgl.: <https://www.bautechnik.pro/DE/Shop/publikliste>, [Zugriff am 27.07.2020]

⁷⁸³ Vgl.: <http://netzwerklem.at/lehmbauten/>, [Zugriff am 27.07.2020]

- Prüfnorm,
- Werkvertragsnorm,
- Ausführungs- oder Verarbeitungsnorm,
- Dienstleistungsnorm.⁷⁸⁴

Die wesentlichen Normen für das Bauwesen bilden dabei die Produkt-, Prüf-, Bemessungs-, Werkvertrags-, Planungs- und Ausführungsnorm. Unter der Annahme, dass für die Produktnormen von industriell gefertigten Lehmprodukten die bestehenden DIN-Normen herangezogen werden, für die Bemessung des Lehmmauerwerkes Eurocode 6 sowie für den Werkvertrag ÖNORM B 2110, fehlt in Österreich im Wesentlichen eine Planungs- und Ausführungsnorm von Lehmbauwerken sowie eine Prüf- und Produktnorm für vor Ort hergestellte Lehmprodukten.

Daher werden im Textentwurf für den Normvorschlag die Themen Material, aber vor allem Ausführung und Planung sowie Instandhaltung ausgeführt. Für das Material ist eben zu beachten, dass die bereits publizierten DIN-Normen ausführlich die im Werk hergestellten Lehmprodukte für Lehmziegel, -mörtel, -putz und -platten behandeln, jedoch keine Angaben zur Ausführung von Lehmbauwerken beinhalten. Ferner finden sich in diesen Normen keine Anforderungen für örtlich hergestellte Lehmbaumaterialien. Somit findet sich im Normvorschlag für das im Werk hergestellte Lehmprodukt lediglich der normative Verweis auf die DIN-Normen. Ausführlicher werden die Anforderungen für den örtlich hergestellten Lehmbaumaterial dargelegt mit Bezügen zu den dafür zu verwendenden bestehenden Prüfnormen.

Der in diesem Abschnitt formulierte Normvorschlag könnte somit als Arbeitsunterlage für den Lehmbauverein „*Netzwerk Lehm*“ verwendet werden. Ferner ist zu beachten, dass dieser Textentwurf von der Formulierung und Sprache im Sinne einer ÖNORM erstellt wurde. Das heißt, dass für die angegebenen Normverweise es nützlich wäre, dass parallel zum Normvorschlag ein Leitfaden zur Anwendung der Norm vom Lehmbauverein geführt werden sollte.

5.2 Normen-Leitfaden für den Lehmbau

Im Folgenden werden nun zu den Techniken Lehmziegelbau und Stampflehmbau für die Bereiche Material, Planung und Ausführung sowie Werkvertrag, die wichtigsten bestehenden Normen aufgelistet. Dabei ist zu beachten, dass dieser Normen-Leitfaden vor allem für Österreich erstellt

⁷⁸⁴ Vgl. Ellmer 2014, S. 5

wurde. Demnach finden sich gerade im Bereich der Planung und Ausführung viele reine nationale Normen, die mit der Bezeichnung „ÖNORM B“ erkennbar sind.

Für den Bereich der Materialprüfung sind dies in der Regel internationale Dokumente, herausgegeben von ISO, die durch die europäische Normungsorganisation CEN übernommen wurden oder gemeinsam mit ISO erarbeitet wurden, und damit auch automatisch in Österreich gelten. Diese sind erkennbar an der Bezeichnung „ÖNORM EN ISO“.

5.2.1 Material

5.2.1.1 Prüfung von Baulehm-Produkten

Die Tabelle 72 liefert eine Übersicht zu den Prüfparametern, die für die Baulehmprüfung im Feldversuch herangezogen werden können und die dazugehörige Prüfnorm.

Tabelle 72 – Baulehmprüfung im Feldversuch

Prüfparameter	Prüfmethode	Norm
Korngrößenverteilung	Sichtprüfung	ÖNORM EN ISO 14688-1
Trockenfestigkeit	Kugelttest	ÖNORM EN ISO 14688-1
Plastizität	Bandtest, Schneideversuch, Reibeversuch	ÖNORM EN ISO 14688-1
Kalkgehalt	Salzsäure	ÖNORM EN ISO 14688-1
Bindekraft	Kugelformprobe	ÖNORM EN ISO 14688-1
Organischer Anteil	Reibeversuch, Riechversuch	ÖNORM EN ISO 14688-1

Die Tabelle 73 zeigt eine Zusammenstellung aller relevanten Prüfnormen, die für die Baulehmprüfung im Labor verwendet werden können.

Tabelle 73 – Baulehmprüfung im Labor

Prüfparameter	Prüfmethode	Norm
Korngrößenverteilung	Sieb- u. Sedimentationsverfahren	ÖNORM EN ISO 17892-4
Plastizität	Verfahren nach Casagrande	ÖNORM EN ISO 17892-12
Wassergehalt	Ofentrocknung	ÖNORM EN ISO 17892-1
Bodenklassifizierung	Beschreibung	ÖNORM EN ISO 14688
Biegezugfestigkeit	Bodenprobe	ÖNORM EN 1015-11
Druckfestigkeit	Bodenprobe	ÖNORM EN ISO 17892-7 ÖNORM EN 1015-11
Wasserdampfdiffusion	Wasserdampfdiffusionswiderstand	ÖNORM EN ISO 12572
Organischer Anteil	Glühverlust	ÖNORM B 4424
Verdichtung	Proctorversuch	ÖNORM B 4418

Die Tabelle 74 liefert eine Auflistung aller relevanten Prüfnormen, die für die Lehmziegelprüfung im Feld herangezogen werden können.

Tabelle 74 – Lehmziegelprüfung im Feld

Prüfparameter	Prüfmethode	Norm
Optimale Baulehmmischung	Rissprüfung	ASTM E 2392
Biegezugfestigkeit	LZ-Bruch	IS 13827
Bewitterungstest	Drucksprühverfahren	NZS 4298, ZW HS 983
Festigkeitsprüfung	LZ-Falltest	NZS 4298

Die Tabelle 75 liefert eine Zusammenstellung aller relevanten Prüfnormen, die für die Lehmziegelprüfung im Labor herangezogen werden können.

Tabelle 75 – Lehmziegelprüfung im Labor

Prüfparameter	Prüfmethode	Norm
Biegezugfestigkeit	Dreipunktbelastung	ÖNORM B 3200
Biegezugfestigkeit LM	Dreipunktbelastung	ÖNORM EN 1015-11
Biegezugfestigkeit MW	Dreipunktbelastung	ÖNORM EN 1052-2
Biegezugfestigkeit	LZ-Auflast	NZS 4298
Biegezugfestigkeit	Hebelprüfung	NZS 4298
Druckfestigkeit	Druckprüfung	DIN 18945, ÖNORM EN 772-1
Druckfestigkeit LM	Druckprüfung	ÖNORM EN 1015-11
Druckfestigkeit MW	Druckprüfung	ÖNORM EN 1052-1
Bewitterungstest	Schlagregentest	ÖNORM EN 12865
Bewitterungstest	Geelong Methode	NZS 4298, ZW HS 983
Wasseraufnahme	Tauch-, Kontakt-, Saug-, Frostprüfung	DIN 18945
	Tauchprüfung	ÖNORM EN ISO 15148
	Feuchte am Mörtel und Putz	DIN 18946, DIN 18947
Schwindmaß	Schwindmaß am Mörtel und Putz	DIN 18946, DIN 18947
Dichte	Ausmessverfahren	ÖNORM EN ISO 17892-2
Brandverhalten	Brandversuch	ÖNORM EN 13501-1

Die Tabelle 76 liefert eine Zusammenstellung aller relevanten Prüfnormen, die für die Stampflehmprüfung im Feld herangezogen werden können.

Tabelle 76 – Stampflehmprüfung im Feld

Prüfparameter	Prüfmethode	Norm
Optimale Baulehmmischung	Rissprüfung	ZW HS 983
Wassergehalt	Falltest	ZW HS 983, NZS 4298
Druckfestigkeit	Rückprallhammer	ZW HS 983, ÖNORM EN 12504-2
Bewitterungstest	Drucksprühverfahren	NZS 4298, ZW HS 983

Die Tabelle 77 liefert eine Zusammenstellung aller relevanten Prüfnormen, die für die Stampflehmprüfung im Labor herangezogen werden können.

Tabelle 77 – Stampflehmprüfung im Labor

Prüfparameter	Prüfmethode	Norm
Bewitterungstest	Geelong Methode	NZS 4298, ZW HS 983
Dichte	Ausmessverfahren	ÖNORM EN ISO 17892-2
Brandverhalten	Brandversuch	ÖNORM EN 13501-1
Wasseraufnahme	Tauchprüfung	ÖNORM EN ISO 15148
Verdichtung	Proctorversuch	ÖNORM B 4418
Druckfestigkeit	Bodenprobe	ÖNORM EN ISO 17892-7

5.2.1.2 Im Werk hergestellte Baustoffe

Die Tabelle 78 liefert eine Zusammenstellung aller relevanten Normen, die für im Werk hergestellte Baustoffe gelten.

Tabelle 78 – Im Werk hergestellte Baustoffe

Produkt	Merkmal	Norm
Lehmziegel	Anforderung, Prüfung, Klassifizierung	DIN 18945
Lehmmauermörtel	Anforderung, Prüfung, Klassifizierung	DIN 18946
Lehmputzmörtel	Anforderung, Prüfung, Klassifizierung	DIN 18947
Lehmplatten	Anforderung, Prüfung, Klassifizierung	DIN 18948
Lehm-Innenwandputz	Planung, Zubereitung, Ausführung	ÖNORM EN 13914-2
Mauerziegel	Anforderung, Prüfung, Klassifizierung	ÖNORM B 3200
Innenwand	Nichttragende Innenwand	ÖNORM B 3358
Mauer- und Putzmörtel	Baustellengemischter Mörtel	ÖNORM B 3344
Mineralische Zusatzstoffe	Gesteinskörnungen für Beton	ÖNORM B 3131

5.2.2 Planung und Ausführung

Die Tabelle 79 liefert eine Zusammenstellung aller relevanten Planungs- und Ausführungsnormen, die für auch für den Lehmbau von Relevanz sind.

Tabelle 79 – Relevante Planungs- und Ausführungsnormen für den Lehmbau

Bauteil	Beschreibung	Norm
Schutz gegen Feuchtigkeit	Oberhalb der Geländeoberkante	ÖNORM B 3691
	Bauwerksabdichtung	ÖNORM B 3692
Dach	Grühdach	ÖNORM L 1131
	Flachdach	ÖNORM B 3691
	Steildach	ÖNORM B 3419
	Unterdach	ÖNORM B 4119
	Bauspenglerarbeiten	ÖNORM B 3521-1
	Schneeschutzsysteme auf Dächern	ÖNORM B 3418
	Sicherheitsausstattung am Dach	ÖNORM B 3417
	Montage von Solarkollektoren	ÖNORM M 7778
Dämmmaßnahmen	Materialien	ÖNORM B 6000
	Wärmeschutz	ÖNORM B 8110
	Schallschutz	ÖNORM B 8115
	WDVS Außenwand	ÖNORM B 6400

Putz	Außenputz	ÖNORM EN 13914-1
	Innenputz	ÖNORM EN 13914-2
	Regeln für die Verwendung und Verarbeitung	ÖNORM B 3346
Malerarbeiten	Beschichtungen auf div. Material	ÖNORM B 3430-1
Fliesen	Fliesen-, Platten- und Mosaiklegearbeiten	ÖNORM B 3407
Fenster	Material	ÖNORM B 5300
	Kontrolle und Instandhaltung	ÖNORM B 5305
	Holzfenster	ÖNORM B 5312
	Einbau in Wänden	ÖNORM B 5320
Türen	Material für Außentüren	ÖNORM B 5339
	Einbau in Wänden	ÖNORM B 5320
Konstruktiver Glasbau	Glas im Bauwesen	ÖNORM B 3716
Bemessung	Einwirkungen auf Tragwerke	ÖNORM EN 1991
	Konstruktion von Betonbauten	ÖNORM EN 1992
	Konstruktion von Holzbauten	ÖNORM EN 1995
	Konstruktion von Mauerwerk	ÖNORM EN 1996
	Berechnung in der Geotechnik	ÖNORM EN 1997
	Auslegung gegen Erdbeben	ÖNORM EN 1998
	Streifenfundament	ÖNORM B 1997-1-2 ÖNORM B 4435-1
	Ringbalken	ÖNORM EN 1996
Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk	Bauwerksdiagnose, Planung, Ausführung und Überwachung	ÖNORM B 3355
Feuerstätten	Installation und Errichtung von häuslichen Feuerstätten	ÖNORM B 8311
Koordination von Bauarbeiten	Verfahren zur Erstellung von Sicherheits- und Gesundheitspläne	ÖNORM B 2107-2
Preisermittlung	Preisermittlung von Bauleistungen	ÖNORM B 2061
Nachhaltigkeit	Bauwerke allgemein	ÖNORM EN 15643
	Bewertung des Bauwerks auf dessen umweltbezogenen Qualität, sozialen Qualität, ökonomischen Qualität.	ÖNORM EN 15978 ÖNORM EN 16309 ÖNORM EN 16627
	Bauprodukt	ÖNORM EN 15804

5.2.3 Werkvertragsnormen

Abschließend liefert noch die Tabelle 80 eine Zusammenstellung für die wichtigsten Werkvertragsnormen, die auch für den Lehmbau herangezogen werden können.

Tabelle 80 – Werkvertragsnormen

Bauteil	Werkvertragsnorm	Beschreibung
Bauvertrag	ÖNORM B 2110	Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen
Koordination von Bauarbeiten	ÖNORM B 2107-1	Funktionen und Pflichten bei der Bauarbeitenkoordination
Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk	ÖNORM B 2202	Arbeiten gegen aufsteigende Feuchtigkeit bei Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk

Mauerwerk	ÖNORM 2204	Ausführung von Bauteilen - Werkvertragsnorm
Fliesen	ÖNORM B 2207	Fliesen-, Platten- und Mosaiklegearbeiten
Bauwerksabdichtung	ÖNORM B 2209	Abdichtungen erdberührter Bauteile, Feuchträume und Behälter
Holzbauarbeiten	ÖNORM B 2215	Ausführung von Holzbauarbeiten
Bautischlerarbeiten	ÖNORM B 2217	Einbau von Fenstern und Türen in Wände
Dachdeckerarbeiten	ÖNORM B 2219	Dacheindeckungen und Wandverkleidungen
Dachabdichtungsarbeiten	ÖNORM B 2220	Ausführung von Flachdach bzw. Gründach
Bauspenglerarbeiten	ÖNORM B 2221	Ausführung von Bauspenglerarbeiten in handwerksmäßiger üblicher Art
Glaserarbeiten	ÖNORM B 2227	Glas im Bauwesen
Malerarbeiten	ÖNORM B 2230-1	Beschichtungen auf diversen Untergrund
	ÖNORM B 2230-2	Brandschutzbeschichtungen
Hafnerarbeiten	ÖNORM B 2233	Installation und Errichtung von häuslichen Feuerstätten

5.3 Allgemeines zum Erstellen einer ÖNORM

5.3.1 Erarbeitungsschritte für eine Norm

In Österreich kann jede juristische oder natürliche Person jederzeit und kostenlos einen Antrag auf die Erstellung eines Regelwerkes bei Austrian Standards einbringen. Dieser Antrag wird, falls für diesen Fachbereich bereits ein Komitee besteht,⁷⁸⁵ durch dieses geprüft und anschließend dieser Projektantrag zur Kommentierung durch die Öffentlichkeit für vier Wochen aufgelegt. Auf Grundlage der eingelangten Stellungnahmen wird im Komitee über die Aufnahme des Projektes in das aktuelle Arbeitsprogramm des Komitees beschlossen.

Anschließend beginnt die Ausarbeitung des Normvorschlages. In der Regel sollte die Bearbeitung nicht länger als zwei Jahren dauern, bis der Vorschlag dann als Normentwurf zur öffentlichen Stellungnahme aufgelegt wird. Dabei ist stets darauf zu achten, dass die Kohärenz mit dem Europäischen und nationalen Normen gegeben ist und die bestehenden Gesetze bzw. Verordnungen berücksichtigt werden. Mit Abschluss der Erstellung des Normvorschlages wird dieser dann für sechs Wochen zur Stellungnahme durch die Öffentlichkeit aufgelegt. Im Rahmen dieses Verfahrensschrittes hat jede natürliche oder juristische Person mit Ausnahme der Experten aus dem zuständigen Komitee die Möglichkeit den Entwurfstext kostenlos zu kommentieren. Nach Ablauf der Entwurfsfrist werden

⁷⁸⁵ Im Falle des Lehmbaus wäre dies am ehesten für den Mauerwerksbau das Komitee 207 „Wände – Produkte und Konstruktion“.

die eingelangten Stellungnahmen im Komitee behandelt und danach der fertige Normentext als ÖNORM publiziert.

Die Ausarbeitung der Normen erfolgt dabei von Normungsgremien, die sich aus Fachleuten aus Unternehmen, Staat, Wissenschaft & Prüfanstalten sowie Verbrauchern und Vertretern der Zivilgesellschaft zusammensetzen. Dabei ist die Teilnahme für jede juristische und natürlich Person offen und kostenlos.⁷⁸⁶

5.3.2 Aufbau einer ÖNORM

Die Gliederung einer ÖNORM enthält immer den gleichen strukturellen Aufbau. Die Textstruktur besteht dabei aus folgenden Teilen:

- Deckblatt
- Inhaltsverzeichnis
- Vorwort: dieses dient für erklärende Bemerkungen und kann auch den Bedarf (das Ziel) der Norm erläutern.
- Anwendungsbereich: dieser beschreibt eindeutig, kurz und prägnant den thematischen Sachverhalt der Norm, wobei auch die Nicht-Ziele definiert werden können.
- Normative Verweisungen: in diesem Textteil werden alle Dokumente aufgelistet, die im normativen Fließtext genannt werden.
- Begriffe: hier werden jene Begriffe definiert, die für die Anwendung der Norm zum besseren Verständnis notwendig sind.
- Textteil: dieser Teil der Norm enthält alle normativen Anforderungen für den gemäß Anwendungsbereich definierten Normenumfang. Dabei ist zu prüfen, ob die Anwendungen zweckdienlich bzw. verifizierbar sind.
- Anhänge: diese können normativ oder informativ sein, wobei ein normativer Anhang nur dann zulässig ist, wenn dieser nicht sinnvoll im Hauptteil untergebracht werden kann. Beispiele für einen informativen Anhang sind Anwendungsbeispiele, Begründungen, Darstellungen von Zusammenhängen sowie Hinweise zum besseren Verständnis der Norm.⁷⁸⁷

⁷⁸⁶ Vgl.: Austrian Standards International (Hrsg.): *Standards einfach mitgestalten - Wie sie entstehen - wer aller mitmacht - und warum*, 2018

⁷⁸⁷ Normative Texte sind Anforderungen, die eingehalten werden müssen, und informative Texte stellen Empfehlungen dar.

- Literaturhinweise: dies ist der letzte Teil einer jeden Norm. Hier werden Dokumente aufgenommen, die nicht im Abschnitt „Normative Verweisungen“ gelistet werden und eine zusätzliche Information für die Anwendung der Norm darstellen.

Für das richtige Schreiben der Norm sind folgende Schreibweisen bzw. textliche Unterscheidungen zu beachten:

- Anforderungen: „*muss*“ oder „*darf nicht*“
- Empfehlungen: „*sollte*“ oder „*sollte nicht*“
- Zulässigkeit: „*darf*“ oder „*braucht nicht*“
- Möglichkeit und Vermögen: „*kann*“ oder „*kann nicht*“.

In folgendem Abschnitt 5.4 wird nun versucht, basierend auf der typischen Gliederung einer Norm einen Normenvorschlag für den Lehm- und Stampflehmbau zu erstellen. Dabei stehen vor allem die beiden Lehm- und Stampflehmbauverfahren „Lehmziegelbau“ und „Stampflehm“ im Mittelpunkt.⁷⁸⁸

5.4 Normvorschlag für den Lehm- und Stampflehm

Normtitel in Deutsch: *Planung und Ausführung von Lehm- und Stampflehmbauwerken aus Lehmziegeln und Stampflehm*

Normtitel in Englisch: *Design and execution of earth buildings with adobe and rammed earth*

Vorwort

Die vorliegende Norm gilt für die Planung und Ausführung von Lehm- und Stampflehmwerken aus Lehmziegel oder Stampflehm.

Zweck dieser Norm ist es

- eine Grundlage für die Planung, Ausschreibung und Vergabe durch klare Regelungen zu schaffen,
- eine Auswahl von geeigneten Materialien zu treffen,

⁷⁸⁸ Vgl.: Austrian Standards International (Hrsg.): *Standards einfach mitgestalten - Wie sie entstehen - wer aller mitmacht - und warum*, 2018

- einen Qualitätsstandard für die Herstellung von Lehmbauwerken im Hinblick auf die Funktionsfähigkeit über die geplante Nutzungsdauer sicherzustellen,
- eine Verbesserung der Rechtssicherheit für die Auftraggeber- und die Auftragnehmerseite zu schaffen.

Produktprüfungen sind nicht Gegenstand dieser Norm.

Geschlechtsbezogene Aussagen in dieser ÖNORM sind auf Grund der Gleichstellung für beiderlei Geschlecht aufzufassen bzw. auszulegen.

5.4.1 Anwendungsbereich

Diese Norm enthält die Regeln für die Planung und Ausführung von Lehmbauwerken aus Lehmziegeln oder Stampflehm⁷⁸⁹.

Die vorliegende Norm enthält außerdem Angaben für die Planung und Ausführung von Lehmputz im Innen- und Außenbereich.

Diese ÖNORM gilt nicht für Bauwerke aus Baustoffen mit stabilisiertem Baulehm.

5.4.2 Normative Verweise

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen). Rechtsvorschriften sind immer in der jeweils geltenden Fassung anzuwenden.

ÖNORM B 1996-3, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten – Nationale Festlegungen und Ergänzungen zur ÖNORM EN 1996-3*

⁷⁸⁹ Für den Stampflehm-Bau ergab die Untersuchung zu den existierenden weltweit gültigen Regelwerken, dass gerade für diese Bauweise noch ein erheblicher Forschungsbedarf besteht. Textpassagen in diesem Normvorschlag stellen damit nur einen Versuch dar, die wichtigsten Anforderungen zu dieser Bauform festzuhalten.

ÖNORM B 1997-1-2, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Flächengründungen – Berechnung der Tragfähigkeit und der Setzungen – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997*

ÖNORM B 1998-1, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen*

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

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

ÖNORM B 3407, *Planung und Ausführung von Fliesen-, Platten- und Mosaiklegearbeiten*

ÖNORM B 3419, *Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen*

ÖNORM B 3691, *Planung und Ausführung von Dachabdichtungen*

ÖNORM B 3692, *Planung und Ausführung von Bauwerksabdichtungen*

ÖNORM B 4119, *Planung und Ausführung von Unterdächern und Unterspannungen*

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

ÖNORM B 4424, *Geotechnik – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des organischen Anteils*

ÖNORM B 5320, *Einbau von Fenstern und Türen in Wände – Planung und Ausführung des Bau- und des Fenster/Türanschlusses*

ÖNORM EN 772-1, *Festlegung für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel sowie ÖNORM EN 772-1, Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit*

ÖNORM EN 1015-11, *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel*

ÖNORM EN 1052 (alle Teile), *Prüfverfahren für Mauerwerk*

ÖNORM EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

ÖNORM EN 1996-1-1, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk*

ÖNORM EN 1996-2, *Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk*

ÖNORM EN 1996-3, *Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten*

ÖNORM EN 1998-1, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten*

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

ÖNORM EN 12865, *Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Bauteilen - Bestimmung des Widerstandes des Außenwandsystems gegen Schlagregen bei pulsierendem Luftdruck*

ÖNORM EN 13377, *Industriell gefertigte Schalungsträger aus Holz – Anforderungen, Klassifizierung und Nachweis*

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

ÖNORM EN ISO 10319, *Geokunststoffe – Zugversuch am breiten Streifen*

ÖNORM EN ISO 12572, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit – Verfahren mit einem Prüfgefäß*

ÖNORM EN ISO 14688 (alle Teile), *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden*

ÖNORM EN ISO 15148, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen*

ÖNORM EN ISO 17892-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts*

ÖNORM EN ISO 17892-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 2: Bestimmung der Dichte des Bodens*

ÖNORM EN ISO 17892-4, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung*

ÖNORM EN ISO 17892-7, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 7: Einaxialer Druckversuch*

ÖNORM EN ISO 17892-12, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen*

DIN 18942-1, *Lehmbaustoffe und Lehmbauprodukte – Teil 1: Begriffe*

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

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

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

5.4.3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Begriffe:

Baulehm

zur Herstellung von Lehmbaustoffen geeigneter Lehm

[QUELLE: DIN 18942-1:2018, Begriff 3.1.2]

Lehmbaustoff

aus Baulehm und gegebenenfalls mit organischen oder natürlichen mineralischen Zusatzstoffen hergestellter Baustoff, dessen Bindemittel Ton ist

Lehmbauprodukt

im Werk hergestellter Lehmbaustoff und im Werk hergestelltes Produkt aus Lehmbaustoffen

[QUELLE: DIN 18942-1:2018, Begriff 3.1.9]

Lehmbauwerk

aus Lehmziegel und/oder Stampflehm hergestelltes Gebäude ohne Verwendung anderer Baustoffen zur Lastableitung

Mauken

feuchtes Ruhen von Lehmbaustoffen

[QUELLE: DIN 18942-1:2018, Begriff 3.1.10]

Sockelhöhe

Abstand der Geländeoberkante zur Sockeloberkante

5.4.4 Nutzungsdauer (Dauerhaftigkeit)

Lehmbauwerke sind so auszuführen, sodass bei ordnungsgemäßer Wartung und Instandhaltung sowie widmungsgemäßer Nutzung eine Nutzungsdauer von mindestens 100 Jahren erwartet werden kann.

Holzbauteile oder pflanzliche Fasern, die von trockenem Lehm umschlossen sind, sind dauerhaft geschützt.

5.4.5 Allgemeine wesentliche Anforderungen

5.4.5.1 Schutz gegen Feuchtigkeit

Lehmbauwerke sind vor Feuchteeinwirkungen aller Art (z.B. aufsteigende Feuchtigkeit, Spritzwasser, Niederschlagswasser) dauerhaft durch entsprechende Feuchteschutzmaßnahmen (z.B. Abdichtungsbahnen, Putz, Beschichtungen, Dachvorsprünge, Entwässerungssysteme) zu schützen.

Für An- und Abschlüsse von Tür- und Fensterelemente gelten die Anforderungen gemäß ÖNORM B 3691.

Lehmstoffe dürfen niemals mit dem Erdreich in Berührung kommen. Lehmbauten sind daher auf geeignete Unterbauten (z.B. Streifenfundamente mit oder ohne Sockel aus Beton) zu stellen.

Die Sockelhöhe hat mindestens 30cm zu betragen. Dieses Maß darf dann unterschritten werden, wenn besondere technische Vorkehrungen (z.B. Dachvorsprünge) zum Schutz der Lehmwand getroffen werden. Trotz besonderer Vorkehrungen ist ein Mindestmaß von 15cm zum fertigen Außenniveau einzuhalten.

Auf der Oberkante des Unterbaues ist eine Abdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit anzubringen. Die erforderliche Abdichtung muss in Form von geeigneten Materialien gemäß ÖNORM B 3692 erfolgen.

Niederschlagswasser ist wirksam abzuleiten (z.B. durch Dachrinnen, Fallrohre). Wasserführende Leitungen sind so auszuführen, dass kein schädliches Oberflächenkondensat entsteht.

In Feuchträumen (Badezimmer, Duschaum u. dgl.) ist die Lehmwand vor Feuchtigkeit mittels Abdichtungsmaßnahmen gemäß ÖNORM B 3407 und ÖNORM B 3692 zu schützen.

Feuchtesperrschichten müssen in der Lage sein, horizontale und vertikale Bemessungslasten zu übertragen, ohne dass sie selbst beschädigt werden oder andere Schäden verursachen.

Bei Sanierung von bestehenden Lehmbauwerken ist sicherzustellen, dass ein nachträglicher Einbau von Abdichtungsbahnen zu keinem Schaden, wie z.B. Schimmelbelastung führt.

5.4.5.2 Fundament

Sämtliche Lehmwände sind auf geeignete Unterbauten (in der Regel Streifenfundament) zu stellen. Bei der Ausführung eines Streifenfundamentes hat dessen Mindestbreite die Lehmwandbreite zu betragen.

Die Berechnung der Tragfähigkeit und der Setzung der Flächengründung erfolgt gemäß ÖNORM B 1997-1-2.

Als Material eignet sich für die Ausführung von Streifenfundamenten Beton, gebrannte Ziegel und Feldsteine. Fundamente, Keller- und Sockelmauerwerk dürfen nicht aus Lehmstoffen hergestellt werden.

5.4.5.3 Ringbalken

Die Übertragung von horizontalen Lasten in die aussteifenden Bauteile sollte über die Decken- und Dachkonstruktion (z.B. beplankte Holzbalken) erfolgen, sofern diese als Scheibe wirken. Falls dies nicht gegeben ist, ist ein Ringbalken anzuordnen, der in der Lage ist, die wirkenden Schubkräfte und Biegemomente in die tragende Wand zu übertragen. Die zwischen den Wänden und Ringbalken oder Decke wirkenden Kräfte sind durch den Reibungswiderstand in der Lagefläche der tragenden Bauteile oder durch Anker zu übertragen.

Bei Ausführung eines Ankers muss dieser in der Lage sein, die horizontalen Lasten zwischen der Wand und dem aussteifenden Bauteil zu übertragen.

Wenn Dächer oder Ringbalken unmittelbar auf einer Wand aufliegen, muss der Reibungswiderstand in der Lage sein, die Horizontallasten in die tragende Wand zu übertragen.

Ringbalken können aus Stahlbeton, bewehrtem Mauerwerk oder Holz bestehen.

5.4.5.4 Anschlüsse zwischen Wänden

Aneinander anschließende Wände müssen so miteinander verbunden werden, dass die vorhandenen Vertikal- und Horizontallasten untereinander übertragen werden können.

Die Verbindungen am Wandanschluss sollten entweder durch einen Mauerwerksverband oder über Anker oder Bewehrung in jeder Wand erfolgen.

5.4.5.5 Wandöffnungen

Fenster- und Türanschlüsse sind gemäß ÖNORM B 5320 auszuführen.

Für Schlitz- und Aussparungen in Wänden gelten die Anforderungen nach ÖNORM EN 1996-1-1:2013, 8.6.

5.4.5.6 Schallschutz

Die Anforderungen an den Schallschutz sind in der OIB-Richtlinie 5 [16] geregelt.

5.4.5.7 Energieeinsparung und Wärmeschutz

Die wärmeschutztechnischen Anforderungen sind in der OIB-Richtlinie 6 [17] geregelt.

5.4.6 Baustoffe / Material

5.4.6.1 Allgemeines

Als Material zur Ausführung von Lehmbauwerken ist die Verwendung von örtlich hergestellten Lehmbaustoffen oder industriell hergestellten Lehmprodukten geeignet.

5.4.6.2 Baulehm

Zu den Prüfungen des Baulehms auf dessen Eigenschaften vor Ort können folgende Verfahren angewendet werden:

- Sichtprüfung zur Abschätzung der Korngrößenverteilung anhand einer Kornstufenschaulehre gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Abschnitt 6.1 oder über die Vergleichsmethode gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Nationaler Anhang NC.2 (Für die Vergleichsmethode wird als Unterscheidungsmerkmal für den oberen Korngrößenbereich des Sandes ein Streichholzkopf $D=2\text{mm}$ und für den oberen Bereich des Feinsandes ein Grieskorn $D=0,2\text{mm}$ verwendet.);
- Trockenfestigkeitsversuch zur Feststellung, ob der Baulehm einen ausreichenden Feinkornanteil aufweist gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Anhang A.3.5;
- Walzentest, Schneide- oder Reibeversuch zur Abschätzung der Plastizität des Baulehms gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1, Anhang A.3.3, Nationaler Anhang NC.6 und Abschnitt A.3.6;
- Kugelfallprobe zur Abschätzung der Bindekraft des Baulehms gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1, Anhang A.3.8;
- Riech- oder Reibeversuch zur Abschätzung, ob der Baulehm frei von organischem Anteil ist, gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Nationaler Anhang NC.7 und Abschnitt A.3.6;
- Salzsäureversuch zur Feststellung, ob der Baulehm Kalk enthält, gemäß ÖNORM EN ISO 14688-1:2019, Abschnitt 6.1.9.

Zu den Prüfungen des Baulehms auf dessen Eigenschaften im Labor können folgende Verfahren angewendet werden:

- Sieb- und Sedimentationsverfahren zur Ermittlung der Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN ISO 17892-4;
- Verfahren nach Casagrande zur Ermittlung der Plastizität gemäß ÖNORM EN ISO 17892-12;
- Ofentrocknung zur Feststellung des Wassergehaltes gemäß ÖNORM EN ISO 17892-1;
- Dreipunktversuch zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit gemäß ÖNORM EN 1015-11;

- Druckversuch zur Ermittlung der Druckfestigkeit gemäß ÖNORM EN 1015-11 oder ÖNORM EN ISO 17892-7
- Glühverfahren zur Bestimmung des organischen Anteiles im Baulehm gemäß ÖNORM B 4424;
- Proctorversuch zur Bestimmung der optimalen Verdichtung des Baulehms gemäß ÖNORM B 4418.

Die Benennung, Beschreibung und Klassifizierung des Bodens erfolgt gemäß ÖNORM EN ISO 14688.

Der Wasserdampfdiffusionswiderstand wird gemäß ÖNORM EN ISO 12572 bestimmt.

Der Baulehm muss frei von organischem Material, löslichen Salzen (nicht mehr als 2%) und sonstigen Verunreinigungen sein.

Bei Recyclinglehm ist darauf zu achten, dass dieser salzbelastet oder mit Schimmelpilzsporen befallen sein kann.

5.4.6.3 Im Werk hergestellte Lehmbaustoffe

Folgende Lehmbauprodukte dürfen verwendet werden:

- Lehmziegel nach DIN 18945,
- Lehmmauermörtel nach DIN 18946,
- Lehmputzmörtel nach DIN 18947.

5.4.6.4 Örtlich hergestellter Lehmziegel

Zu den Prüfungen eines örtlich hergestellten Lehmziegels auf dessen Eigenschaften im Labor können folgende Verfahren angewendet werden:

- Dreipunktversuch zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit gemäß ÖNORM B 3200:2016, Anhang A.5.2;
- Druckversuch zur Ermittlung der Druckfestigkeit gemäß ÖNORM EN 772-1;
- Ausmessverfahren zur Ermittlung der Dichte des Lehmziegels gemäß ÖNORM EN ISO 17892-2;
- Tauchprüfung zur Ermittlung der Wasseraufnahme gemäß ÖNORM EN ISO 15148;
- Brandversuch zur Ermittlung des Brandverhaltens eines Lehmziegels gemäß ÖNORM EN 13501-1;

Zur Prüfung des Lehmziegelmauerwerkes auf Biegezug-, Druck- und Scherfestigkeit gelten die Bestimmungen gemäß ÖNORM EN 1052.

Die Beurteilung der Wasserdichtheit einer Lehmziegelwand wird durch den Schlagregentest gemäß ÖNORM EN 12865 durchgeführt.

ANMERKUNG Spezielle Bewitterungstests für Lehmziegel und dem Lehmmauerwerk „Geelong Methode“ und „Drucksprühverfahren“ werden in NZS 4298 und ZW HS 983 geregelt.

5.4.6.5 Örtlich hergestellter Lehmörtel

Zur Ermittlung der Biegezug- und Druckfestigkeit eines örtlich hergestellten Lehmörtels gelten die Bestimmungen gemäß ÖNORM EN 1015-11.

Die Prüfung des Schwindmaßes erfolgt nach DIN 18946 und soll höchstens 2% betragen.

Die Prüfung der Trockenrohichte erfolgt gemäß ÖNORM EN ISO 17892-2 an einem Probekörper mit den Abmessungen 160x40x40mm gemäß ÖNORM EN 1015-11.

5.4.6.6 Örtlich hergestellter Stampflehm

Zu den Prüfungen eines örtlich hergestellten Stampflehms auf dessen Eigenschaften im Labor können folgende Verfahren angewendet werden:

- Druckversuch zur Ermittlung der Druckfestigkeit gemäß ÖNORM EN ISO 17892-7;
- Tauchprüfung zur Ermittlung der Wasseraufnahme gemäß ÖNORM EN ISO 15148;
- Proctorversuch zur Bestimmung der optimalen Verdichtung gemäß ÖNORM B 4418;
- Ausmessverfahren zur Ermittlung der Dichte gemäß ÖNORM EN ISO 17892-2;
- Brandversuch zur Ermittlung de Brandverhaltens gemäß ÖNORM EN 13501-1;
- Schlagregentest zur Ermittlung der Wasserdicht einer Stampflehmwand gemäß ÖNORM EN 12865.

ANMERKUNG Spezielle Bewitterungstests für Lehmziegel und dem Lehmmauerwerk „Geelong Methode“ und „Drucksprühverfahren“ werden in NZS 4298 und ZW HS 983 geregelt.

5.4.6.7 Bauwasser

Das Bauwasser muss Trinkwasserqualität aufweisen.

5.4.6.8 Zusatzstoffe

Als Zusatzstoffe können mineralische und organische Zusatzstoffe eingesetzt werden.

Für mineralische Zusatzstoffe sind folgende Eigenschaften gemäß ÖNORM B 3131 als Mindestanforderungen einzuhalten: Korngruppe 0/4.

Für organische Zusatzstoffe dürfen Pflanzenteile und –fasern, Tierhaare oder zerkleinertes, chemisch unbehandeltes Holz verwendet werden.

5.4.7 Allgemeine Anforderungen für die Planung und Ausführung

Lehmbauwerke dürfen maximal zweigeschoßig ausgeführt werden.

Die zulässige maximale Geschosshöhe beträgt 3,25m bei einer Mindestwanddicken von 36,5cm für Lehmziegel und einer Mindestwanddicke von 32,5cm bei Stampflehm.

Lehmbauwerke dürfen nur während frostfreier Perioden errichtet werden. Bei der Ausführung von Lehmbauteilen darf die Außentemperatur +5°C nicht unterschreiten.

ANMERKUNG Nach NZS 4298:1998 ist bei einer Außentemperatur von +2°C ein Baustopp zu verhängen.

Um ein zu rasches Austrocknen von fertighergestellten Lehmbauteilen zu vermeiden, sind diese vor direkter Sonneneinstrahlung und starkem Wind zu schützen. Während der Bauausführung ist darauf zu achten, dass einzelne Lehmbauteile vor Feuchteeinwirkungen (z.B. Regen, Bodenfeuchte, Spritzwasser) zu schützen sind.

Um eine einheitliche Ausführung sicherzustellen, ist während der Ausführung laufend eine Qualitätskontrolle durchzuführen, indem die verwendeten Materialien wie Baulehm, Wassermenge und Zusatzstoffe aufgezeichnet werden. Bei Verwendung von örtlich hergestellten Lehmbaustoffen sind diese während der Ausführung laufend auf deren Biegezug- und Druckfestigkeit zu prüfen.

ANMERKUNG Nach NZS 4298:1998 dürfen bei der laufenden Festigkeitsprüfung der Lehmbaustoffe die letzten fünf Prüfungen nie unter 90% der vor Baubeginn definierten Zielfestigkeit liegen.

Für die Planung und Ausführungen sind die Anforderungen nach ÖNORM EN 1996-1-1 und ÖNORM EN 1996-2 zu berücksichtigen.

Allgemeines zur Planung

Lehmwände sind so zu planen, dass sie die für ihre vorgesehene Verwendung geforderten Eigenschaften aufweisen.

Bei der Planung der Lehmwände sind die Mikroumweltbedingungen gemäß ÖNORM EN 1996-2, denen das Lehmbauwerk voraussichtlich ausgesetzt sein wird, zu berücksichtigen.

Allgemeines zur Ausführung

Alle verwendeten Baustoffe und alle ausgeführten Arbeiten müssen den in der Planung vorgegebenen Festlegungen entsprechen.

Die Stabilität der Gebäudestruktur oder einzelner Wandbauteile ist auch während der Bauphase sicherzustellen.

Die Lagerung der Lehmbaustoffe muss so erfolgen, dass sie nicht beschädigt und dadurch für ihren Zweck ungeeignet werden. Von den Lehmbaustoffen sollten gemäß den Planungsunterlagen Proben genommen und geprüft werden.

Im Werk hergestellte Lehmbaustoffe müssen nach den Anweisungen des Herstellers verwendet werden.

Alle Arbeiten müssen den Planungsvorgaben entsprechend und innerhalb der zulässigen Abweichungen, falls in den Planungsunterlagen nicht anders festgelegt, nach ÖNORM EN 1996-2:2009, Bild 3.1 und Tabelle 3.1 ausgeführt werden.

Dächer

Steildach- und Flachdachkonstruktionen sind je nach Dacheindeckungsart z.B. gemäß ÖNORM B 3419, ÖNORM B 3691 und ÖNORM B 4119 auszuführen.

Installationen und Haustechnik

Elektro-, Wasser-, Heizungs- und Lüftungsinstallationen sind entsprechend detailliert zu planen und auszuführen, sodass die Ausführungsqualität des Lehmbauwerks nicht negativ beeinflusst wird. Dies betrifft insbesondere die Statik und Bauphysik.

5.4.8 Planung und Ausführung von Lehmziegel

5.4.8.1 Material

Im Werk hergestellte Lehmziegel

Für im Werk hergestellte Lehmziegel gelten die Anforderungen nach DIN 18945.

Örtlich hergestellte Lehmziegel

Für die Prüfung von örtlich hergestellten Lehmziegeln sind folgende Verfahren im Feld anzuwenden:

- Rissprüfung zur Bestimmung der optimalen Baulehmmischung,
- Bandtest zur Überprüfung der Plastizität gemäß ÖNORM EN ISO 14688,
- Kugelttest zur Bestimmung der Trockenfestigkeit gemäß ÖNORM EN ISO 14688,
- Feld-Biegezugversuch zur Abschätzung der Biegezugfestigkeit.

Mit Hilfe der Rissprüfung wird die optimale Baulehmmischung zur Herstellung der Lehmziegel bestimmt. Dazu sind Lehmziegel mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von Lehm zu Sand (z.B. zwischen 1:0 bis 1:3) herzustellen und anschließend zu trocknen. Nach Ablauf der Trocknung ist jene Mischung zur weiteren Verarbeitung heranzuziehen, bei der der Lehmziegel die geringsten Risse aufweist.

ANMERKUNG Die Rissprüfung wird in ASTM E 2392 geregelt. In dieser Norm dürfen Risse nicht länger als 75mm, nicht breiter als 3mm und nicht tiefer als 10mm sein.

Für den Kugelttest ist aus dem Baulehm eine Kugel zu formen und anschließend zu trocknen. Danach wird die getrocknete Kugel zwischen Daumen und Zeigefinger gedrückt. Bricht die Kugel dabei nicht, so ist der Baulehm zur weiteren Verwendung geeignet.

ANMERKUNG Die Trockenfestigkeit wird in ASTM E 2392, IS 13827, Lehm bau-Regeln und NTE E.080 geregelt.

Für den Walzentest oder Bandversuch wird aus dem Baulehm gemäß ÖNORM EN ISO 14688 eine Walze mit einem Durchmesser von 3mm gerollt. Kann aus dem Baulehm mehrmals eine Walze gerollt werden, so ist dieser hoch plastisch.

ANMERKUNG Bandversuche in ähnlicher Form werden in ASTM E 2392, NTE E.080 und ZW HS 983 geregelt.

Für die Abmessungen von örtlich hergestellten Lehmziegeln gelten die Bestimmungen gemäß ÖNORM B 3200. Typische Formate sind der Tabelle 81 zu entnehmen.

Tabelle 81 – Beispiele für Lehmziegelformate

Nennmaße in mm		
L	B	h
250	120	65
250	170	113

Die Biegezugfestigkeit hat am getrockneten Lehmziegel mit dem Format gemäß Tabelle 81 bei 20cm Stützweite durch das Aufbringen einer Einzellast in der Mitte des Lehmziegels im Feld-Biegezugversuche mindestens 1kN (100kg) schadfrei standzuhalten.

ANMERKUNG Feld-Biegezugversuche werden in IS 13827 und NZS 4298 geregelt (siehe Abschnitt 5.4.16).

Die Prüfung von örtlich hergestellten Lehmziegeln im Labor hat gemäß Abschnitt 5.4.6.4 zu erfolgen.

5.4.8.2 Bemessung

Für die Bemessung und Konstruktion von Lehmziegelbauten gelten die Bestimmungen gemäß ÖNORM EN 1996-3 und ÖNORM B 1996-3.

Für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist für den Lehmziegel der maßgebende Teilsicherheitsbeiwert für das Material γ_M gemäß ÖNORM B 1996-3:2016, Tabelle 1, Steine der Kategorie II.

Die charakteristische Druckfestigkeit wird nach ÖNORM EN 1996-1-1:2005, 3.6.1 oder nach ÖNORM B 1996-3:2016, 4.4 bestimmt.

Die charakteristische Biegefestigkeit wird nach ÖNORM EN 1996-1-1:2005, 3.6.3 oder nach ÖNORM EN 1996-3:2009, Anhang D bestimmt.

Die charakteristische Haftscherfestigkeit wird nach ÖNORM EN 1996-1-1:2005, 3.6.2 oder nach ÖNORM EN 1996-3:2009, Anhang D bestimmt.

Bedingungen für die Gesamtstabilität des Lehmgebäudes sind gemäß ÖNORM B 1996-3:2009, 4.2 zu berücksichtigen.

Bedingungen für die Anwendung der vereinfachten Berechnungsmethode für unbewehrte Mauerwerksbauten sind gemäß ÖNORM EN 1996-3:2009, 4.2.1 für das Lehmgebäude zu prüfen.

Der vertikale Tragwiderstand einer Wand ist gemäß ÖNORM EN 1996-3:2009, 4.2.2 nachzuweisen.

Lehmwände unter Einzellast sind gemäß ÖNORM EN 1996-3:2009, 4.3 nachzuweisen.

ANMERKUNG Eine direkte Lasteinleitung in Lehmwände sollte grundsätzlich vermieden werden.

Die Schubtragfähigkeit einer Wandscheibe ist gemäß ÖNORM EN 1996-3:2009, 4.4 nachzuweisen.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für Risse und Verformungen ist nach ÖNORM EN 1996-1-1:2013, 7.2 nicht zusätzlich nachzuweisen, wenn der Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllt ist.

5.4.8.3 Planung und Ausführung

Erzeugung von örtlich hergestellten Lehmziegeln

Vor der Erzeugung von örtlich hergestellten Lehmziegeln muss der Baulehm ausreichend lang gemaukt werden. Die genaue Maukdauer ist durch Vorversuche zu ermitteln und sollte in der Regel zumindest 72 Stunden betragen.

Der aufbereitete Baulehm wird in Formen aus Holz oder Metall eingearbeitet. Ist die Form vollständig befüllt, wird diese sofort entfernt und der Lehmziegel getrocknet.

Während der Trocknung sind die Lehmziegel vor direkter Sonneneinstrahlung und Wind zu schützen. Die Umgebungstemperatur darf nicht unter +5°C liegen. Der Boden für die Lagerung kann vorab mit feinem Sand gestreut werden. Gras, Kopfsteinpflaster u. dgl. sind nicht als Lagerungsfläche geeignet. Die Trocknungsdauer liegt in der Regel bei 28 Tagen. Nach Ablauf der vollständigen Trocknung sollte der Lehmziegel frei von Rissen sein.

Verlegung der Lehmziegel

Zur Verlegung der Lehmziegel müssen diese vollständig ausgetrocknet sein.

Die Verlegung der Lehmziegel erfolgt nach den üblichen Regeln für Mauerwerksverbände. Vor der Verlegung sollten die Lehmziegel vorgehäst werden.

Für die bauliche Durchbildung gelten die Bestimmungen nach ÖNORM EN 1996-1-1. Lehmziegel müssen im Verband mit Mörtel nach bewährten Regeln vermauert werden. Sie müssen schichtweise überbinden, so dass sich die Wand wie ein einziges Bauelement verhält.

Das Ziegelversatzmaß sollte eine halbe Lehmziegellänge betragen. Das Überbindemaß sollte bei einer Lehmziegelhöhe kleiner als 250mm mindestens das 0,4-fache der Mauersteinhöhe oder mindestens 40mm betragen. Der größere der beiden Werte ist dabei maßgebend.

Lager- und Stoßfugen aus Lehmmörtel sollten mindestens eine Ist-Dicke von 10mm aufweisen.

Nachbehandlung und Schutzmaßnahmen während der Bauausführung

Es müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, um das frisch hergestellte Lehmmauerwerk gegen Regen, Frost-Tau-Wechsel und Beschädigungen (z.B. laufende Baubetrieb, Bauverkehr) zu schützen.

Die Herstellung von Lehmziegelwänden darf nur bei gesicherter Frostfreiheit erfolgen.

Die frisch hergestellten Lehmziegelwände sollten gegen Austrocknung, einschließlich der austrocknenden Wirkung von Wind und hohen Temperaturen, geschützt werden.

Die Mauerwerkshöhe, die an einem Tag hergestellt werden soll, sollte so begrenzt werden, dass Instabilität oder eine Überlastung des frischen Mörtels vermieden wird.

5.4.8.4 Anforderungen für den Lehmmörtel

Im Werk hergestellte Lehmmörtel

Für im Werk hergestellten Lehmmörtel gelten die Anforderungen nach DIN 18945.

Im Werk hergestellter Lehmmörtel muss nach den Anweisungen des Herstellers verarbeitet werden.

Örtlich hergestellte Lehmmörtel

Für örtlich hergestellten Lehmmörtel kann der gleiche Baulehm verwendet werden, der für die örtlich hergestellten Lehmziegel verwendet wurde.

Örtlich hergestellter Lehmmörtel ist auf dessen Rohdichte, Druckfestigkeit und Schwindmaß zu prüfen.

Zur Verbesserung der Druckfestigkeit wird das Mauken von Lehmmörtel von mindestens 72 Stunden empfohlen.

Getrockneter Lehmörtel sollte keine Risse aufweisen. Andernfalls sind dem Baulehm mineralische oder organische Zusätze hinzuzufügen.

5.4.9 Planung und Ausführung von Stampflehm

5.4.9.1 Material

Im Werk hergestellter Stampflehm

Im Werk hergestellter Baulehm für die Herstellung von Stampflehmbauten muss nach den Anweisungen des Herstellers verwendet werden.

Örtlich hergestellter Stampflehm

Für die Prüfung von örtlich hergestelltem Stampflehm sind folgende Verfahren im Feld anzuwenden:

- Rissprüfung zur Bestimmung der optimalen Baulehmmischung,
- Prüfung der Druckfestigkeit durch Pendelhammer für einen Druckbereich von 1 bis 5N/mm²,
- Bandtest zur Überprüfung der Plastizität gemäß ÖNORM EN ISO 14688,
- Optimaler Wassergehalt durch Falltest.

Der verwendete Baulehm für Stampflehm darf keinen zu hohen Tongehalt aufweisen, da dies zu einem zu hohen Schwindmaß führen würde. Die Zugabe von mineralischen oder organischen Zuschlägen zum Baulehm kann dies verhindern.

Baulehm ist im Labor auf dessen Rohdichte, Druckfestigkeit, optimalen Wassergehalt und Schwindmaß zu untersuchen. Durch den Proctorversuch nach ÖNORM B 4418 kann der optimale Wassergehalt festgestellt werden, um so eine maximale Verdichtung des Baulehms beim Einbau zu erreichen.

Zur Überprüfung des optimalen Wassergehaltes im Feld wird der Falltest verwendet. Für diesen Test wird aus dem Baulehm eine Kugel mit einem Durchmesser von 40mm geformt und aus einer Fallhöhe von 1,5m auf eine ebene und feste Fläche fallen gelassen. Zerfällt die Probe nur in wenige Teile, so ist der Wassergehalt des Baulehms optimal.

An der fertiggestellten Wandoberfläche des Stampflehms dürfen maximal 20 Risse mit einer Länge von 75mm und Breite von 3mm pro Quadratmeter auftreten.

ANMERKUNG Die Rissprüfung wird in ASTM E 2392 und ZW HS 983 geregelt.

5.4.9.2 Bemessung

Für die Bemessung von Stampflehmbauten können ÖNORM EN 1996-3 und ÖNORM EN 1992-1-1 für den unbewehrten Beton herangezogen werden.

5.4.9.3 Planung und Ausführung

Herstellung einer Stampflehmwand

Der aufbereitete Baulehm sollte in erdfeuchter Konsistenz lagenweise in eine Arbeitsschalung gerammt werden.

Es sind Schalungselemente gemäß ÖNORM EN 13377 zu verwenden. Typische Größen für ein Schalungselement sowie die Höhe einer einzelnen Lehmlage sind der Tabelle 82 zu entnehmen.

Tabelle 82 – Schalungselement und Lagenhöhe

Merkmal	Länge [in cm]	Höhe [in cm]
Schalungselement	150	60
Lagenhöhe	-	10-15

Nach Abschluss der Verdichtung werden die Schalungselemente entfernt und mit dem nächsten Abschnitt fortgesetzt. Der Schalungsversatz kann seitwärts oder aufwärts erfolgen. Bei seitlichem Versetzen werden die Stampflehmblöcke wie beim Mauerwerk angeordnet. Wird die Schalung aufwärtsbewegt, so sollten die Blöcke eine vertikale Nutverbindung aufweisen.

Bevor mit der Herstellung eines neuen Stampflehmblock fortgesetzt werden kann, ist die Oberfläche des bereits hergestellten Stampflehmblockes anzuweichen.

An der fertigen Stampflehmwand sollten Risse vermieden werden. Bilden sich trotzdem solche, so sind diese unverzüglich mit Baulehm zu verschließen.

Ergibt der Bewitterungstest, dass die Stampflehmwand vor Witterungseinflüssen zusätzlich zu schützen ist, so kann dies durch die Ausführung eines Kalkputzes vorgenommen werden, der auf größeren mineralischen Oberflächen ohne Probleme haftet. Ist die Stampflehmwand zu feinkörnig, so kann die Haftung durch Stein- oder Mörtelleiste, Kerbungen oder Putzträger verbessert werden. Vor dem Auftragen des Putzes muss die Wand mindestens auf eine Tiefe von 10cm ausgehärtet sein.

Nachbehandlung und Schutzmaßnahmen während der Bauausführung

Es müssen geeignete Maßnahme getroffen werden, um das frisch hergestellte Lehm-mauerwerk gegen Regen, Frost-Tau-Wechsel und Beschädigungen (zB laufende Baubetrieb, Bauverkehr) zu schützen.

Frisch hergestellte Stampflehmwände sollten gegen Austrocknung, einschließlich der austrocknenden Wirkung von Wind und hohen Temperaturen, geschützt werden.

5.4.10 Planung und Ausführung von Lehmputz

5.4.10.1 Material

Im Werk hergestellter Lehmputz

Für im Werk hergestellten Lehmputz gelten die Anforderungen nach DIN 18947.

Örtlich hergestellter Lehmputz

Die Prüfung eines örtlich hergestellten Lehmputzes erfolgt wie für den Lehmmörtel nach 5.4.6.5.

5.4.10.2 Planung und Ausführung

Innenbereich

Für den Lehmputz im Innenbereich gelten die Bestimmungen nach ÖNORM EN 13914-2.

ANMERKUNG DIN 18550-2:2018 enthält im normativen Anhang F ergänzende Festlegungen zu EN 13914-2 für den Lehmputz im Innenbereich.

Außenbereich

Im Außenbereich ist der Lehmputz durch geeignete Zusätze, wie z.B. Molke, Kuhdung oder Feinfasern aufzubereiten.

Im Werk hergestellter Lehmputz nach DIN 18947 ist im witterungsgeschützten Außenbereich verwendbar.

5.4.11 Inspektion, Wartung und Instandhaltung

Lehmbauten sind laufend auf ihren Istzustand zu inspizieren und zu warten. Falls notwendig sind Instandsetzungsarbeiten durchzuführen, um den Sollzustand des Lehmbaus aufrechtzuerhalten,

Die durchgeführten Inspektions-, Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sind zu protokollieren.

Zu prüfen ist die Lehmwand auf Schäden oder Abnützungen der Wandoberfläche hinsichtlich Einwirkungen durch Feuchte- oder Wassereintritt (z.B. undichte Rohrleitungen, Niederschläge), die den Feuchtegehalt der Lehmwand wesentlich erhöht.

Für notwendige Instandhaltungsarbeiten ist das gleiche Lehmmaterial zu verwenden, mit dem der Lehmbau errichtet wurde.

5.4.12 Anhang A – Erdbebensicheres Bauen mit Lehm (normativ)

Für die Auslegung von Lehmbauwerken gegen Erdbeben gelten die Anforderungen nach ÖNORM B 1998-1.

Die Zonenzuordnung und Referenzbodenbeschleunigung für den jeweiligen Standort sind der Tabelle A.1 gemäß ÖNORM B 1998-1:2017 zu entnehmen.

Für die Auslegung von Lehmbauten hinsichtlich des Entwurfskonzeptes, Tragwerksberechnung und Sicherheitsnachweise sind die Anforderungen nach ÖNORM EN 1998-1 zu beachten.

Lehmbauwerke, die in einer Zone 4 mit einer Referenzbodenbeschleunigung größer $1,0\text{m/s}^2$ errichtet werden, dürfen nur eingeschossig ausgeführt werden.

Für Lehmbauwerke in Erdbebengebieten sind folgende Abmessungen zu beachten:

- maximale Abstand zwischen aussteifenden Querwänden darf nicht größer als das 10-fache der Wandbreite sein;
- maximale Wandhöhe darf nicht mehr als das 8-fache der Wandbreite betragen sowie in Erdbebenzonen 4 das 6-fache der Wandbreite;
- Wandöffnungen dürfen nicht größer als 120cm sein und müssen mindestens 120cm von der Außenwandkante entfernt liegen;
- Die Summe der Wandöffnungen in einer Wand darf nicht mehr als ein Drittel der Wandlänge betragen.

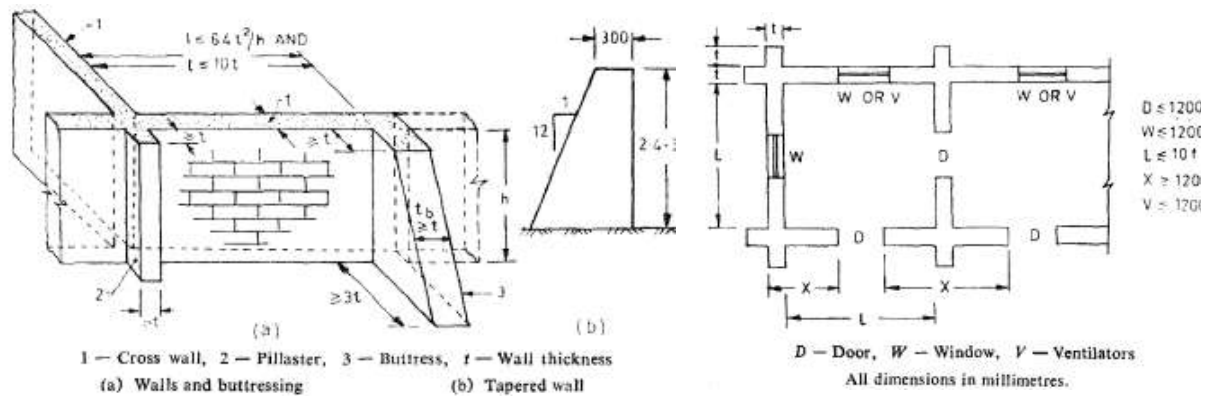


Abbildung 66 – Gebäudeabmessungen für erdbebensicheres Bauen mit Lehm⁷⁹⁰

Abbildung 66 zeigt die wichtigsten Gebäudeabmessungen, die für erdbebensicheres Bauen mit Lehm zu berücksichtigen sind.

Lehmwände können noch durch folgende Maßnahme zusätzlich verstärkt werden:

- Einlegen von Holzbalken in den Wandecken,
- Verlegen von vertikalen Holzstäben im Abstand von 40cm im Wandelement,
- flächiges Einlegen von polypropylenen biaxialen Geotextilien gemäß ÖNORM EN ISO 10319 in das Wandelement.

5.4.13 Anhang B – Dimensionierung eines wirksamen Dachüberstand (informativ)

Ein wirksamer Dachüberstand kann über die Klimadaten des gewählten Standortes (Jahresniederschlag und Bemessungswindstärke), die Gleichung (5-1) aus 5.4.14 und die daraus resultierende Anforderungen an die Lehmwand (Erosionsindex, 5.4.15) ermittelt werden.

Die Basiswindgeschwindigkeit kann der ÖNORM B 1991-1-4:2019, Anhang A für den jeweiligen Standort entnommen werden.

Der Jahresniederschlag kann für den jeweiligen Standort bei der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (zamg) erfragt werden.

⁷⁹⁰ IS 13827:1993, Bilder 4 und 5

5.4.14 Anhang C – Bewertung der Dauerhaftigkeit von Lehmbauwerken nach NZS 4297 (informativ)

NZS 4297:1998, Anhang A liefert eine Methode, wie ein Lehmbauwerk auf dessen Dauerhaftigkeit bewertet werden kann.

Abhängig vom Standort und Geometrie der Lehmwand wird ein *Limiting Erodibility Index* (LEI) mit der Gleichung (5-1) ermittelt:

$$LEI = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \text{ (abgerundet auf eine ganze Zahl)} \quad (5-1)$$

$$k_1 = \frac{500}{\sqrt[3]{p \cdot V_{(z)}}} \quad (5-2)$$

$$k_3 = 1 + \frac{2b}{h} \quad (5-3)$$

Es bedeutet:

- k_1 Regenfaktor
- k_2 Wandorientierungsfaktor: 1,0 für Wände die auf der Wetterseite liegen, sonst 1,4
- k_3 Dachüberstandfaktor
- k_4 Standortfaktor: 1,0
- b Dachüberstand, in mm
- h Wandhöhe bis zum Dachüberstand, in mm
- p jährlicher Niederschlag, in mm
- $V_{(z)}$ Windgeschwindigkeit in der Höhe z , in m/s

Eine Lehmwand ist dann als dauerhaft zu bewerten, wenn der *Limiting Erodibility Index* (LEI) größer gleich dem *Erodibility Index* nach 5.4.15 ist.

5.4.15 Anhang D – Bewitterungstest einer Lehmwand nach NZS 4298 (informativ)

NZS 4298:1998, Anhang D liefert eine Methode, wie eine Lehmwand auf Regenerosion reagiert.

Dabei wird eine Lehmwand für eine Stunde nach Abbildung 67 mit einem Wasserstrahl besprüht und anschließend auf dessen Schäden überprüft. Auf Grund des Schadenbildes wird der Lehmwand ein *Erodibility Index* zugewiesen.

Die Lehmwand muss vor dem Bewitterungstest mindestens 28 Tage getrocknet sein.

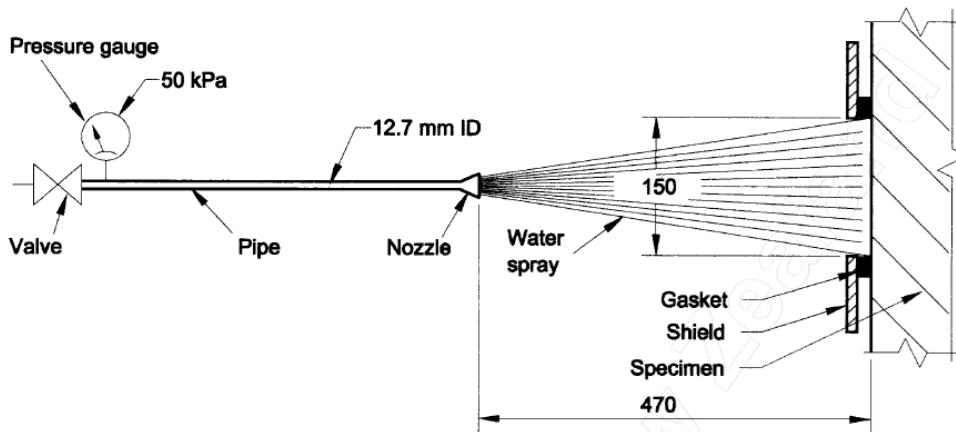


Abbildung 67 – Schematische Darstellung des Drucksprühverfahrens⁷⁹¹

Zur Durchführung des Tests wird die Lehmwand innerhalb von einer Stunde in einem Intervall von 15 Minuten mit einem genau definiertem Wasserstrahl nach Abbildung 67 belastet. Nach jedem Intervall wird die Wandoberfläche auf Schäden untersucht.

Die Tiefe der Löcher ist mit einem Rundeisen mit einem Durchmesser von 10mm zu bestimmen.

Wird der Probekörper innerhalb von einer Stunde durch den Wasserstrahl durchbohrt, so wird der Index für die Regenerosion ermittelt, indem die Wanddicke durch die benötigte Zeit für die vollständige Penetration dividiert wird. Ansonsten wird der Index für die Regenerosion nach Tabelle 83 ermittelt.

Tabelle 83 – Index für Regenerosion

	Kriterium	<i>Erodibility Index</i>
Tiefe der Erosion D (mm)	$0 \leq D < 20$	1
	$20 \leq D < 50$	2
	$50 \leq D < 90$	3
	$90 \leq D < 120$	4
	$120 \leq D$	5 (versagen)

Der Versuch wird an einer Lehmoberfläche ohne speziellen Oberflächenschutz durchgeführt.

ANMERKUNG Alternativ zum Drucksprühverfahren kann die Regenerosion mit der *Geelong method* nach NZS 4298:1998, Anhang E bestimmt werden.

5.4.16 Anhang E – Ermittlung Biegezugfestigkeit im Feld (informativ)

NZS 4298:1998, Anhang J2 liefert eine einfache Methode, wie eine Lehmwand im Feld auf Biegezugfestigkeit untersucht werden kann.

⁷⁹¹ NZS 4298:1998, Bild D.1

Die Prüfung wird nach Abbildung 68 durchgeführt. Die Länge zwischen den Auflagerpunkten des prüfenden Ziegels muss mehr als das Doppelte der Ziegelbreite betragen.

Die Prüflast ist langsam zu erhöhen bis der Lehmziegelbruch eintritt. Das Eigengewicht des Hebels und der Prüflast sind auf 0,2kg gerundet anzugeben.

Die Biegezugfestigkeit ist nach der Gleichung (5-4) zu berechnen.

$$f_{et} = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{0,015 \cdot (Q + \frac{G}{2}) \cdot L}{b \cdot d^2} \quad (5-4)$$

Es bedeutet:

- f_{et} Biegezugfestigkeit, in N/mm²
- L_1, L_2 gemäß Abbildung 68
- Q Prüflast, in N
- G Eigengewicht des Hebels, in N
- L Abstand zwischen den beiden Auflagern, in mm
- b Länge des Testziegels, in mm
- d Breite des Testziegels, in mm

Der Prüfaufbau ist laut Abbildung 68 vorzunehmen.

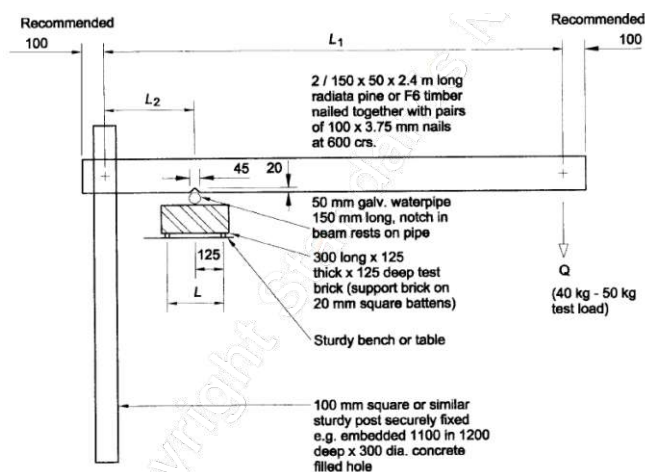


Abbildung 68 – Ermittlung der Biegezugfestigkeit mittels Hebelprüfung⁷⁹²

ANMERKUNG Alternativ zur Hebelprüfung kann die Biegezugfestigkeit im Feld mit der *Stacked bricks method* nach NZS 4298:1998, Anhang J1 bestimmt werden.

⁷⁹² NZS 4298:1998, Bild J2

Literaturhinweise

- [1] ASTM E 2392, *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems*
- [2] DIN 18550-2, *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-2:2016-09 für Innenputze*
- [3] DIN 18942-100, *Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis*
- [4] DIN 18948, *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*
- [5] ÖNORM B 1991-1-4, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen*
- [6] IS 13827, *Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines*
- [7] NBC 204, *Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building (EB)*
- [8] NEC SE VIVIENDA, *Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*
- [9] NMAC 14.7.4, *Housing and construction, Building codes general, New Mexico earthen building materials code*
- [10] NTE E.080, *Diseño y construcción con tierra reforzada*
- [11] NZS 4297, *Engineering design of earth buildings*
- [12] NZS 4298, *Materials and workmanship for earth buildings*
- [13] NZS 4299, *Earth buildings not requiring specific design*
- [14] SADC ZS HS 983, *Rammed earth structures – Code of practice*
- [15] *Lehmbau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile; 3. überarbeitete Auflage 2009*
- [16] Richtlinie OIB 5, *Schallschutz, hg. V. Österreichisches Institut für Bautechnik (www.oib.or.at), Wien 2011*
- [17] Richtlinie OIB 6, *Energieeinsparung und Wärmeschutz, hg. V. Österreichisches Institut für Bautechnik (www.oib.or.at), Wien 2015*

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit liefert den Nachweis, dass es bereits viel länger, als man oft früher annahm, schriftliche Festlegungen und Definitionen zum Lehm- und Ziegelbau gibt. Die ersten dokumentierten Arbeitsabläufe zur Lehmziegelherstellung finden sich etwa bei den Ägyptern anhand der am Grab vom Wesir Rehmire angebrachten Hieroglyphen. Und später war es beispielsweise der römische Architekt Vitruvius, der in seinen zehn Büchern zur Architektur dem Lehmziegel sogar einen eigenen Abschnitt widmete. Sein Werk verfasste er auf Basis der damaligen hellenistischen Fachliteratur, womit man mit Sicherheit annehmen kann, dass bereits im antiken Griechenland schriftliche Festlegungen zum Lehm- und Ziegelbau existierten, die jedoch Großteils heute verschollen sind. Mit Beginn der Neuzeit sorgten die regen Publikationstätigkeit zum Thema Lehm- und Ziegelbau (vor allem in Frankreich und Deutschland) und die Erlassung erster Allgemeiner Bürgerlicher Gesetzestexten, dass das Bauen mit Lehm sich auch in den bautechnischen Paragrafen bald wiederfand. Also Lehm- und Ziegelbau und da vor allem die Bautechnik mit dem Lehmziegel und Stampflehm ist nicht nur eine alte Bauweise, sondern ist auch Teil des seit mehreren Jahrhunderten dokumentierten Bauwissens.

Das zweite wesentliche Ergebnis dieser Arbeit ist die Bestätigung, dass es sehr wohl Sinn macht, einen einheitlichen weltweiten Standard für den Lehm- und Ziegelbau zu schaffen. Im abschließenden Kapitel 5 wurde deshalb auf Basis bestehender Baunormen ein Normvorschlag für diese Bautechnik formuliert. Der Weg zu einem eigenen europäischen oder Internationalen Standard ist dabei jedoch ein aufwendiger und kostenintensiver. Betrachtet man jedoch nur die Ausgangslage für eine rein österreichische Lehm- und Ziegelbaunorm, so stellt dies einen wesentlich einfacheren Prozess dar. Dafür ist zunächst als erster Schritt ein Projektantrag zur Erstellung einer solchen bei Austrian Standards einzubringen. Dieser Projektantrag ist dabei nicht mit Kosten verbunden. Wird dieser angenommen, kann mit der Ausarbeitung des Normvorschlages begonnen werden und auch dieser Prozess ist mit keinen Kosten verbunden, außer dass die Experten für die Erarbeitung von solch einem Dokument ihre Arbeitszeit zur Verfügung stellen müssen.

Als Conclusio wäre also zu sagen, dass dies für den österreichischen Lehm- und Ziegelbaumarkt eine durchaus einfache und probate Vorgangsweise darstellen würde, oder anders gesagt, ein Versuch wäre es allemal wert.

Damit die Bautechnik zum Lehmbau in seiner Breite noch mehr zur Anwendung gelangt, sind jedoch durchaus noch etliche Forschungsarbeiten zu leisten. Diese wären wohl unter anderem zu folgenden Themenbereichen unerlässlich:

- Vergleich der historischen Lehmbaupublikationen:

Der erste Teil der Arbeit zeigte, dass es ab dem 16. Jahrhundert eine Vielzahl von Publikationen zum Lehmbau gab. Ein Vergleich dieser Werke untereinander bzw. mit den heute vorhandenen Regelwerken könnte wohl durch aus endgültig die Lücke zum historischen Lehmbauwissen schließen und eventuell zusätzliche neue Blickwinkel eröffnen.

- Bauteilkatalog für den Lehmbau:

Neben einer österreichischen eigenen Lehmbaunorm wäre es wichtig, auch die vielen Fragestellungen über die unterschiedlichen Baudetails vom Lehmbau zu untersuchen und definieren, um schlussendlich einen öffentlich zugänglichen Bauteilkatalog zur Verfügung stellen zu können.

- Validierung des Normvorschlages:

Zur Validierung des im vorherigen Kapitel definierten Normvorschlages wäre es unerlässlich großangelegte labortechnische Untersuchungsreihen aller für den Lehmbau relevanten Parameter zu fahren, um so die Richtigkeit bzw. Anwendbarkeit des Normvorschlages sicherstellen zu können. Aus den Ergebnissen dieser Forschungsarbeiten könnten dann eine eigenständige Lehmbaunorm publiziert werden, so wie Leitfäden bzw. Checklisten für den privaten und öffentlichen Bauherrn.

- Nachhaltigkeitsanalyse auf Basis der ÖNORM EN 15643:

Eines der großen Vorteile des Lehms gegenüber modernen Baustoffen ist die Tatsache, dass dieser zu hundert Prozent recycelbar ist. Nur auch das gilt es mit den heute üblichen Instrumentarien wissenschaftlich zu untersuchen und nachzuweisen. Dazu wurde mittlerweile vom europäischen Normungsorganisation CEN allgemeine Richtlinien erarbeitet, wie die Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken zu erfolgen hat (ÖNORM EN 15643). Auf Basis dessen sollte auch der Baustoff Lehm untersucht werden.

7 VERZEICHNISSE

7.1 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Quelle: Schröder 2010, Bild 1-1, Bild 1-2, Bild 1-3

Abbildung 2 Quelle: <https://artinwords.de/asparn2/> [Zugriff am 21.10.2019]

Abbildung 3 Quelle: links: <http://whc.unesco.org/en/list/1456> [Zugriff am 21.10.2019], Mitte:
<http://whc.unesco.org/en/list/1343> [Zugriff am 21.10.2019], rechts: © Joachim Brocks

Abbildung 4 Quelle: links und Mitte: <http://whc.unesco.org/en/list/138> [Zugriff am 23.10.2019],
rechts: © Joachim Brocks

Abbildung 5 Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Niebla> [Zugriff am 29.01.2020]

Abbildung 6 Quelle: links: <http://whc.unesco.org/en/list/385> [Zugriff am 23.10.2019]; Mitte:
<http://whc.unesco.org/en/list/1208> [Zugriff am 23.10.2019]; rechts: © Joachim Brocks

Abbildung 7 Quelle: links: <http://whc.unesco.org/en/list/208/> [Zugriff am 23.10.2019]; rechts:
<http://whc.unesco.org/en/list/603/> [Zugriff am 23.10.2019]

Abbildung 8 Quelle: links: <http://whc.unesco.org/en/list/116/> [Zugriff am 23.2019]; Mitte
<http://whc.unesco.org/en/list/119/> [Zugriff am 23.2019]; rechts:
<http://whc.unesco.org/en/list/1139> [Zugriff am 23.10.2019]

Abbildung 9 Quelle: links: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24518830> [Zugriff am
23.10.2019]; Mitte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25359277> [Zugriff am
23.10.2019]; rechts: <http://whc.unesco.org/en/list/366/> [Zugriff am 23.10.2019]

Abbildung 10 Quelle: links: <http://whc.unesco.org/en/list/192> [Zugriff am 25.10.2019]; Mitte und
rechts: <http://whc.unesco.org/en/list/433/> [Zugriff am 25.10.2019]

Abbildung 11 Quelle: links und Mitte: <http://whc.unesco.org/en/list/1113> [Zugriff am 25.10.2019];
rechts: <http://whc.unesco.org/en/list/661> [Zugriff am 25.10.2019]

Abbildung 12 Quelle: links: <http://whc.unesco.org/en/list/565> [Zugriff am 25.10.2019]; Mitte:
[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Morocco,_Souss-Massa-
Draa_Region,_Ouarzazate_Province,_Skoura,_Kasbah_Amerhidil_\(3\).JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Morocco,_Souss-Massa-Draa_Region,_Ouarzazate_Province,_Skoura,_Kasbah_Amerhidil_(3).JPG) [Zugriff am 25.10.2019];
rechts: <http://whc.unesco.org/en/list/1268> [Zugriff am 25.10.2019]

Abbildung 13 Quelle: vom Verfasser

- Abbildung 14 Quelle: links: <http://www.leparisien.fr/week-end/les-francais-se-mobilisent-pour-sauver-le-patrimoine-08-11-2017-7381731.php> [Zugriff am 29.10.2019]; rechts: <http://www.champdieu.eu/tourisme/decouvrir/chateau-de-vaugirard> [Zugriff am 29.01.2020]
- Abbildung 15 Quelle: <http://cs-lehmbau.boku.ac.at/>, [Zugriff: 29.10.2019]
- Abbildung 16 Quelle: Renn (Band I) 2014, Abbildung 6.3
- Abbildung 17 Quelle: Renn (Band II) 2014, Abbildung 1.9
- Abbildung 18 Quelle: Bender, 2004, Abbildung 3.2
- Abbildung 19 Quelle: Schröder 2010, Bild 1.8
- Abbildung 20 Quelle: Steiner 1840, Tafel 1
- Abbildung 21 Quelle: vom Verfasser
- Abbildung 22 Quelle: links: <https://de.wikipedia.org/wiki/Klimazone#/media/Datei:Klimag%C3%BCrtel-der-erde.svg> (von LordToran) [Zugriff am 21.05.2020]; rechts: <http://seismo.ethz.ch/de/earthquakes/what-to-do/earthquakes-abroad/> [Zugriff am 21.05.2020]
- Abbildung 23 Quelle: links und Mitte: ZW HS 983:2014, Bild 4; rechts: NTE E.080:2017, Bild 7
- Abbildung 24 Quelle: Von links nach rechts: NTE E.080:2017, Anhang 2; IS 13827:1993, Bild 1; ASTM E 2392:2010, Bild 3
- Abbildung 25 Quelle: ASTM E 2392:2010, Bild 2
- Abbildung 26 Quelle: ZW HS 983:2014, Bild 14 und NZS 4298:1998, Bild G1
- Abbildung 27 Quelle: links und Mitte: IS 13827:1993, Bild 2; rechts: NZS 4298:1998, Bild H1
- Abbildung 28 Quelle: ÖNORM EN ISO 17892-4:2017, Bild 1 und Bild 3
- Abbildung 29 Quelle: vom Verfasser
- Abbildung 30 Quelle: ÖNORM EN ISO 17892-12:2018, Bild 1 und Bild 3
- Abbildung 31 Quelle: ÖNORM EN ISO 17892-12:2018, Bild 7
- Abbildung 32 Quelle: ÖNORM EN 14688-2:2018, Tabelle 8
- Abbildung 33 Quelle: Lehmbau-Regeln 2009, Bild 2-1
- Abbildung 34 Quelle: ÖNORM EN 1015-11:2007, Bild 1
- Abbildung 35 Quelle: ÖNORM EN 12390-6:2010, Bild 1
- Abbildung 36 Quelle: NZS 4298:1998, Bild J1
- Abbildung 37 Quelle: NZS 4298:1998, Bild J2
- Abbildung 38 Quelle: NTE E.080:2017, Bild 7
- Abbildung 39 Quelle: ÖNORM EN 1052-2:1999, Bild 1
- Abbildung 40 Quelle: NTE E.080:2017, Bild 9
- Abbildung 41 Quelle: ÖNORM EN ISO 17892-7:2018, Bild 1

- Abbildung 42 Quelle: ÖNORM EN 1052-1:1999, Bild 1
- Abbildung 43 Quelle: Katzenbach 2013, Abbildung 25
- Abbildung 44 Quelle: NZS 4298:1998, Bild D.1
- Abbildung 45 Quelle: NZS 4298:1998, Bild E.1
- Abbildung 46 Quelle: ÖNORM EN 13286-2:2012, Bild 1 und ÖNORM B 4418:2019, Bild 1
- Abbildung 47 Quelle: ÖNORM EN ISO 17892-3:2016, Bild 1
- Abbildung 48 Quelle: ÖNORM B 4418:2019, Anhang A
- Abbildung 49 Quelle: Von links nach rechts: NZS 4299:1998, Bild 2.2; IS 13827:1993, Bild 6; ASTM E 2392:2010, Bild 1; ZW HS 983, Bild 3 und Bild 2
- Abbildung 50 Quelle: NZS 4299:1998, Bild 3.1 und NBC 204:2015, Bild 6.2
- Abbildung 51 Quelle: Von links nach rechts: IS 13827:1993, Bild 8; NTE E.080:2017, Bild 6; NZS 4299:1998, Bild 4.1; NBC 204:2015, Bild 6.1
- Abbildung 52 Quelle: NMAC 14.7.4:2015, Bild 2
- Abbildung 53 Quelle: NMAC 14.7.4:2015, Bild 3
- Abbildung 54 Quelle: NMAC 14.7.4:2015, Bild 12
- Abbildung 55 Quelle: NMAC 14.7.4:2015, Bild 14
- Abbildung 56 Quelle: NMAC 14.7.4:2015, Bild 4
- Abbildung 57 Quelle: NMAC 14.7.4:2015, Bild 8
- Abbildung 58 Quelle: Von links nach rechts: ZW HS 983:2014, Bild 7 und IS 2110:1980, Bild 1
- Abbildung 59 Quelle: Von links nach rechts: ZW HS 983:2014, Bild 7; NTE E.080:2017, Anhang 5; IS 2110:1980, Bild 2
- Abbildung 60 Quelle: NZS 4299:1998, Bild 10.1 und Bild 10.2
- Abbildung 61 Quelle: IS 13827:1993, Bild 3
- Abbildung 62 Quelle: NTE E.080:2017, Bild 2; IS 13827:1993, Bilder 4, 5 und 8; NEC-SE-VIVEINDA:2014, Bild 23
- Abbildung 63 Quelle: IS 13827:1993, Bild 11 und NTE E.080:2017, Bild 4
- Abbildung 64 Quelle: Von links nach rechts: IS 13827:1993, Bild 9 und NTE E.080:2017, Bild 3
- Abbildung 65 Quelle: NTE E.080:2017, Bild 5
- Abbildung 66 Quelle: IS 13827:1993, Bilder 4 und 5
- Abbildung 67 Quelle: NZS 4298:1998, Bild D.1
- Abbildung 68 Quelle: NZS 4298:1998, Bild J2

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Gegenüberstellung Lehmbaubegriffe	15
Tabelle 2 – Ziegelmaße aus 1787	71
Tabelle 3 – Ziegelmaße aus 1790	72
Tabelle 4 – Gegenüberstellung der Baukosten in Kronen.....	101
Tabelle 5 – Zusammenstellung der Lehmbautechnik und die dazugehörigen Normen	115
Tabelle 6 – Bezeichnung der Lehmprodukte nach DIN 18945 bis DIN 18948.....	119
Tabelle 7 – Anforderungen, Prüfung und Produktdatenblatt nach DIN 18945 bis DIN 18948	120
Tabelle 8 – Übersicht der einzelnen ARS-Normen	143
Tabelle 9 – Bezeichnung für CEB gemäß ARS 671	145
Tabelle 10 – Abmessungen für CEB O und CEB F (Angaben in Millimeter).....	145
Tabelle 11 – Leistungsmerkmale für Mauersteine gemäß Mandat M/116	152
Tabelle 12 – Übersicht der Lehmbaunormen nach Lehmbautechnik, Region, Klima und Erdbeben	164
Tabelle 13 – Korngrößenbereich für den Baulehm	167
Tabelle 14 – Ermittlung der Korngrößenverteilung im Feld.....	168
Tabelle 15 – Risskontrolle im Feld.....	170
Tabelle 16 – Ermittlung der Trockenfestigkeit im Feld	171
Tabelle 17 – Untersuchung der Plastizität des Baulehms im Feld	174
Tabelle 18 – Wassergehalt im Feld.....	176
Tabelle 19 – Ermittlung der Bindekraft im Feld	177
Tabelle 20 – Festigkeitsprüfung am Lehmziegel im Feld.....	178
Tabelle 21 – Prüfung des organischen Anteils im Baulehm	180
Tabelle 22 – Prüfung des Kalkgehalts im Baulehm	182
Tabelle 23 – Korngrößenfraktionen nach ÖNORM EN ISO 14688-1	186
Tabelle 24 – Formen der Körnungslinie nach ÖNORM EN ISO 14688-2	187
Tabelle 25 – Ermittlung der Korngrößenverteilung im Labor	187
Tabelle 26 – Ermittlung der Bodendichte im Labor	191
Tabelle 27 – Konsistenzzahl I_c von Schluffen und Tonen	195
Tabelle 28 – Fließ-, Ausrollgrenze und Plastizitätszahlen von verschiedenen Lehmarten	195
Tabelle 29 – Aktivität des Tons.....	197
Tabelle 30 – Aktivität feinkörniger Böden.....	197
Tabelle 31 - Ermittlung der Plastizität für einen Baulehm im Labor	197
Tabelle 32 – Mindestprobenmasse zur Bestimmung des Wassergehaltes.....	198

Tabelle 33 – Ermittlung des Wassergehaltes im Labor	199
Tabelle 34 – Bindekraft in $[g/cm^2]$ von Baulehm	200
Tabelle 35 - Ermittlung der Bindekraft im Labor.....	201
Tabelle 36 – Ermittlung der Biegezugfestigkeit für Lehmziegel im Labor.....	206
Tabelle 37 - Ermittlung der Biegezugfestigkeit für Lehmörtel im Labor	207
Tabelle 38 - Ermittlung der Biegezugfestigkeit für das Mauerwerk im Labor.....	209
Tabelle 39 – Ermittlung der Druckfestigkeit für Bodenproben im Labor.....	212
Tabelle 40 – Ermittlung der Druckfestigkeit für Stampflehm im Labor	214
Tabelle 41 – Ermittlung der Druckfestigkeit für Lehmziegel im Labor	216
Tabelle 42 – Ermittlung des Schwindmaßes im Labor	219
Tabelle 43 – Wasseraufnahmekoeffizient in $[kg/m^2h^{0,5}]$ für unterschiedliche Bauteile	220
Tabelle 44 – Ermittlung der Wasseraufnahme im Labor	224
Tabelle 45 – Bewitterungstests im Labor	227
Tabelle 46 – Ermittlung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes im Labor.....	228
Tabelle 47 – Ermittlung des Brandverhaltens von Baulehm im Labor	229
Tabelle 48 – Auswahl für die Probemasse und Proctortopf	231
Tabelle 49 – Anforderungen für den Proctortopf und Proctorhammer	232
Tabelle 50 – Ermittlung der optimalen Verdichtung im Labor.....	234
Tabelle 51 – Übersicht der Prüfmethode zur Baulehmuntersuchung	236
Tabelle 52 – Baustoff- und Bauteilkennwerte für den Lehmbau	238
Tabelle 53 – Anforderungen zum Schutz gegen Feuchtigkeit.....	246
Tabelle 54 – Anforderungen an das Fundament.....	250
Tabelle 55 – Anforderungen an den Ringbalken.....	253
Tabelle 56 – Anforderungen an eine Wandöffnung mit Sturz	258
Tabelle 57 – Anforderungen an eine Wandöffnungen als Bogen	259
Tabelle 58 – Anforderungen an Wanddurchführungen bzw. Installationsrohre	260
Tabelle 59 – Übersicht der Bemessungskonzepte	263
Tabelle 60 – Nachweis für die vertikale Tragfähigkeit einer Wand	264
Tabelle 61 – Nachweis für Wände unter Einzellast.....	265
Tabelle 62 – Nachweis für die Schubtragfähigkeit von Wänden	266
Tabelle 63 – Abmessungen für Stampflehmwände	268
Tabelle 64 – Anforderungen an den Baulehm für Stampflehm	270
Tabelle 65 – Ausführung von Stampflehmelementen	274
Tabelle 66 – Anwendungsklassen (AK) für Lehmziegel nach DIN 18945, Tabelle 1	277

Tabelle 67 – Abmessungen und Material von Lehmziegel.....	277
Tabelle 68 – Gegenüberstellung der jeweiligen Erdbebenzonen	286
Tabelle 69 – Geschoßanzahl gemäß den definierten Erdbebenzonen	288
Tabelle 70 – Abmessungen für erdbebensicheres Bauen	289
Tabelle 71 – Normen für Lehmziegel (LZ) und Stampflehm (SL).....	295
Tabelle 72 – Baulehmprüfung im Feldversuch.....	301
Tabelle 73 – Baulehmprüfung im Labor	301
Tabelle 74 – Lehmziegelprüfung im Feld.....	302
Tabelle 75 – Lehmziegelprüfung im Labor	302
Tabelle 76 – Stampflehmprüfung im Feld	302
Tabelle 77 – Stampflehmprüfung im Labor.....	303
Tabelle 78 – Im Werk hergestellte Baustoffe.....	303
Tabelle 79 – Relevante Planungs- und Ausführungsnormen für den Lehmbau.....	303
Tabelle 80 – Werkvertragsnormen.....	304
Tabelle 81 – Beispiele für Lehmziegelformate	320
Tabelle 82 – Schalungselement und Lagenhöhe.....	324
Tabelle 83 – Index für Regenerosion.....	329

7.3

Literaturverzeichnis

ABNT NBR 10833, Manufacture of brick and block of soil-cement with use of a manual or hydraulic brickmaking machine – Procedure. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT NBR 10834, Soil-cement block without structural function – Requirements. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT NBR 10836, Soil-cement block – Dimensional analysis, compressive strength determination and water absorption – Test method. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT NBR 12023, Soil-cement – Compaction test method. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT NBR 12024, Soil-cement – Molding and curing of cylindrical specimens – Procedure. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT NBR 12025, *Soil-cement – Simple compression test of cylindrical specimens – Method of test.*

Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT NBR 13553, *Soil-cement materials for monolithic walls of soil-cement without structural function*

– *Requirements.* Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT NBR 13554, *Soil-cement – Durability test by wetting and drying – Test method.* Rio de Janeiro:

ABNT, 2012.

ABNT NBR 13555, *Soil-cement – Determination of water absorption – Test method.* Rio de Janeiro:

ABNT, 2012.

ABNT NBR 8491, *Soil-cement brick – Requirements.* Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT NBR 8492, *Soil-cement brick – Dimensional analysis, compressive strength determination and*

water absorption – Test method. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ARS 67x, *Compressed Earth Blocks.* Nairobi: ARSO, 1996.

ASTM E 2392/E 2392M, *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems.* Pennsylvania:

ASTM, 2010.

Baden-Württemberg, Landesarchiv. *Ziegelordnung zu Burkheim.* kein Datum.

<https://www2.landesarchiv->

[bw.de/ofs21/bild_zoom/zoom.php?bestand=10713&id=2862994&gewaehlteSeite=04_0001](https://www2.landesarchiv-bw.de/ofs21/bild_zoom/zoom.php?bestand=10713&id=2862994&gewaehlteSeite=04_0001)

[428676_0002_4-1428676-2.jpg&screenbreite=1366&screenhoehe=768](https://www2.landesarchiv-bw.de/ofs21/bild_zoom/zoom.php?bestand=10713&id=2862994&gewaehlteSeite=04_0001) (Zugriff am 3. Jänner

2020).

Bender, Willi. *Vom Ziegelgott zum Industrieelektroniker.* Herausgeber: Bundesverband der Deutschen

Ziegelindustrie e.V. Bonn, 2004.

Böck, Barbara. *Divination (Alter Orient), Das wissenschaftliche Bibellexikon im Internet (WiBiLex).*

Februar 2016. <http://www.bibelwissenschaft.de/stichwort/16497> (Zugriff am 13. 11 2019).

Boltshauser, Roger. *Pisé - Stampflehm, Tradition und Potenzial.* Zürich: Triest Verlag GmbH, 2019.

„Bundesgesetz über die Vergabe von Aufträgen.“ *Bundesvergabegesetz 2018 – BVergG.* 2018.

CEN/CENELEC *Geschäftsordnung Teil 1: Organisation und Aufbau.* Brüssel: CEN, 2018.

CEN/CENELEC *Geschäftsordnung Teil 2: Gemeinsame Regeln für die Normungsarbeit*. Brüssel: CEN, 2018.

„Centro Histórico de Quito, Problemática y perspectivas.“ *Serie Quito* (Municipio de Quito, Dirección de planificación), 1990.

Champalle, Laurène. *Le Parisien*. 10. November 2017. <http://www.leparisien.fr/week-end/les-francais-se-mobilisent-pour-sauver-le-patrimoine-08-11-2017-7381731.php> (Zugriff am 19. Oktober 2019).

Champdieu, Commune de. *Chateau de Vaugirard*. 2020. <http://www.champdieu.eu/tourisme/decouvrir/chateau-de-vaugirard> (Zugriff am 29. Jänner 2020).

Cointereaux, François. *Der Lehmbau, Pisé-Baukunst*. Leipzig, 1803.

D 0111, Regeln zum Bauen mit Lehm. Zürich: SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, 1994.

DIN 18132, Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens. Berlin: Beuth-Verlag, 2012.

DIN 18940, Tragendes Lehmsteinmauerwerk - Bemessung, Konstruktion und Ausführung. Berlin: (Normprojekt), 2022.

DIN 18942-1, Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 1: Begriffe. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.

DIN 18942-100, Lehmbaumstoffe und Lehmbaumprodukte – Teil 100: Konformitätsnachweis. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.

DIN 18945, Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.

DIN 18946, Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.

DIN 18947, Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.

DIN 18948, Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.

DIN 18952, Blatt 2, Lehmbau – Baulehm – Prüfung von Baulehm. Berlin: Beuth-Verlag, 1956 (zurückgezogen 1971).

DIN 4102-4, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Berlin: Beuth-Verlag, 2016.

DIN. Normprojekt DIN 18940. 2022. <https://www.din.de/de/wdc-proj.din21:351698391> (Zugriff am 27. 06 2022).

Doat, P., et al. *Compressed Earth Blocks: Standards*. Brüssel: Centre for the Development of Industry, 1998.

Duden. Begriff "Richtlinie". 2020. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Richtlinie> (Zugriff am 27. 07 2020).

Ellmer, Heimo. *Normen für jeden Bedarf – die Normenarten (Fachinformation 19)*. Wien: Austrian Standards, 2014.

—. *Welche Wirkungen haben ÖNORMen (Fachinformation 21)*. Wien: Austrian Standards, 2015.

Eppel, Franz. *Das Waldviertel*. Salzburg: St. Peter, 1989.

ETH Zürich. *Erdbebengebiete*. kein Datum.
<http://seismo.ethz.ch/de/earthquakes/what-to-do/earthquakesabroad/> (Zugriff am 21. Mai 2020).

Gailey, Alan. „Rural Houses of the North of Ireland.“ *Österreichische Zeitschrift für Volkskunde*, 1988, XLII Ausg.

GB 50011, *Code for Seismic Design of Buildings*. Peking: SAC, 2016.

Gesetz- und Verordnungsblatt für das Erherzogthum Österrich ob der Enns. 1867.

Gesetz- und Verordnungsblatt für das Erherzogthum Österrich ob der Enns. 1875.

Gilly, David. *Beschreibung der Feuer abhaltenden Lehmschindeldächer nebst gesammelten Nachrichten und Erfahrungen über die Bauart mit getrockneten Lehmziegeln*. Berlin, 1794.

—. *Handbuch der Land-Bau-Kunst*. Bd. 3. Braunschweig, 1811.

—. *Handbuch der Land-Bau-Kunst*. Bd. 2. Berlin: Friedrich Vieweg, 1798.

—. *Handbuch der Land-Bau-Kunst*. Bd. 1. Berlin: Friedrich Vieweg, 1797.

Grünstattgrau. *Infomaterial*. 2020. <https://gruenstattgrau.at/infomaterial/> (Zugriff am 27. 07 2020).

Guía de diseño 5, Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras. Quito: MIDUVI, 2016.

Güntzel, Jochen. *Zur Geschichte des Lehmbaus in Deutschland*. Kassel: Dissertation, Gesamthochschule Kassel, 1986.

Holzforschung. 2020. <https://www.holzforschung.at/> (Zugriff am 27. 07 2020).

Hubmann, Axel. „Kellergassen.“ *Weinviertel*, 2005.

IFB. *Richtlinien*. 2020. <https://ifb.co.at/richtlinienschadensberichte> (Zugriff am 27. 07 2020).

„Indicios de los primeros Quiteños.“ *El Comercio*, November 2019.

IS 13827, Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines. New Dehli: BIS, 1993.

IS 1725, Soil based blocks used in general building construction. New Dehli: BIS, 2013.

IS 2110, Code of practice for in-situ construction of walls, in building with soil-cement. New Dehli: BIS, 1980.

IS 2720, Methods of test for soils: Part 7 Determination of water content – dry density relation using light compaction. New Dehli: BIS, 1980.

Katzenbach, Rolf. *Studienunterlagen Geotechnik, Labor- und Feldversuche*. Darmstadt: Versuchsanstalt für Geotechnik der TU Darmstadt, 2013.

Kiripolská, Anna. „Geplante Lehmbauten im Freilichtmuseum "Museum des slowakischen Dorfes".“ In *Lehmbau, Tradition und Moderne*. Atzenbrugg, 2014.

Kovács, Zsuzsa , und Zsolt Sári. „Lehmarchitektur im ungarischen Freilichtmuseum Szentendre.“ In *Lehmbau, Tradition und Moderne*. Atzenbrugg, 2014.

Kováru, Vera. „Erfahrungen mit der Rettung, Instandhaltung und Renovierung von traditionellen Lehmbauten.“ In *Lehmbau, Tradition und Moderne*. Atzenbrugg, 2014.

Kropatschek, Joseph, Hrsg. *Handbuch aller unter der Regierung des Kaisers Joseph des II. für die K. K. Erbländer ergangenen Verordnungen und Gesetze in einer Systematischen Verbindung*. 18 Bde. Wien, 1785-1790.

Kropatschek, Joseph, Hrsg. *K. k. Theresianisches Gesetzbuch, enthaltend die Gesetze von den Jahren 1740 bis 1780 in einer chronologischen Ordnung und systematischen Verbindung*. 8 Bde. Wien, 1789.

Kropatschek, Joseph, Hrsg. *Sammlung der Gesetze, welche unter der glorreichsten Regierung des (König) Kaisers Leopold des II. in den sämtlichen (k.) k. k. Erbländen erschienen sind*, 5 Bde. 5 Bde. Wien, 1791–1792.

KS 1070, Specifications for stabilized soil blocks. Nairobi: KEBS, 1993.

Landes- Gesetz- und Verordnungsblatt für das Herzogthum Kärnten. 1866.

Landesgesetz für das Land Niederösterreich. 1969.

Landesgesetzblatt für Oberösterreich. 1976.

Matuszková, Jitka. „Bericht über die Ergebnisse der Feldforschung zu traditionellen Lehmbautechniken.“ In *Lehmbau, Tradition und Moderne*. Atzenbrugg, 2014.

Matzner, Alexandra. *Art in words*. 2015. <https://artinwords.de/asparn2/> (Zugriff am 21. Oktober 2019).

Maurer, Gernot. *Richtlinien und Entwurfsansätze für Architekten beim Bau eines Hauses aus ungebrannten Steinen*. Wien: Diplomarbeit am Institut für Hochbau und Technologie, 2005.

Meingast, Roland. „Nachweis historischer Lehmbautechniken in Österreich.“ In *Lehmbau, Tradition und Moderne*, 21-36. Atzenbrugg, 2014.

Miccoli, Lorenzo, Chiara Perrone, Patrick Fontana, Urs Müller, und Christof Ziegert. „Charakterisierung und Modellierung der mechanischen Eigenschaften von Lehmsteinmauerwerk.“ *Mauerwerk, Zeitschrift für Technik und Architektur*, Dezember 2012.

Michette, Martin, Rüdiger Lorenz, und Christof Ziegert. „Clay barriers for protecting historic buildings from ground moisture intrusion.“ *Heritage Science (Springer Open)*, 2017.

Miller, Toni, und u.a. *Lehmbaufibel*. Weimar: Forschungsgemeinschaft Hochschule Weimar, 1947.

- Minke, Gernot. *Handbuch Lehm- und Ziegelbau: Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur*. ökobuch, 2009.
- Mitterlehner, Astrid. *Eferdinger Wohnen*. Herausgeber: TU Wien. Wien: Diplomarbeit, 2008.
- Müller, Philipp, Lorenzo Miccoli, Patrick Fontana, und Christof Ziegert. „Partial safety factors for earth block masonry.“ *terra Lyon 2016, XIIth World Congress on Earthen Architecture*. Lyon: CRAterre, 2018.
- Müller, Philipp, Patrick Fontana, Lorenzo Miccoli, und Christof Ziegert. „Versuchsgestützte Kalibrierung von Teilsicherheitsbeiwerten im Lehm- und Ziegelbau - Empfehlungen für die Erarbeitung eines Bemessungskonzeptes.“ In *Mauerwerk Kalender 2017, Befestigungen Lehm- und Ziegelbau*, von Wolfram Jäger, 181-194. Berlin: Ernst&Sohn, 2017.
- Müller, Urs, Lorenzo Miccoli, Chiara Perrone, und Christof Ziegert. „Vergleich und Modellierung der mechanischen Eigenschaften von Bauteilen aus Lehm- und Ziegelbau, Wellerlehm und Stampflehm.“ *Tagungsbeiträge der 6. Internationalen Fachtagung für Lehm- und Ziegelbau*, 2012: 320-331.
- Nationalbibliothek, Österreichische. *ANNO: Historische Zeitungen und Zeitschriften*. kein Datum. <http://anno.onb.ac.at/anno-suche#searchMode=simple&query=lehm-und-ziegelbau&from=1&sort=date+asc> (Zugriff am 11. Dezember 2019).
- NBC 204, *Guidelines for Earthquake Resistant Building Construction: Earthen Building (Eb)*. Kathmandu: Ministry of Housing and Physical Planning, 1994.
- NEC-SE-VIVENDA, *Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*. Quito: MIDUVI, 2015.
- NetzwerkLehm. 2020. <http://netzwerk-lehm.at/lehmbauten/> (Zugriff am 27. 07 2020).
- Neubauer, Wolfgang. „Geheimnisvolle Kreisgräber, Rätselhafte Monumente der Steinzeit.“ *Weinviertel*, 2005.
- Niemeczek, Edgar. „Der "Brandlhof" in Radlbrunn, ein Baudenkmal von agrargeschichtlicher Bedeutung.“ *Weinviertel*, 2005.
- NIS 692-x, *Standard for Compressed earth block*. Lagos: SON, 1997.

NMAC 14.7.4, *Housing and construction, Building codes general, New Mexico earthen building materials code*. Santa Fe: CID, 2015.

NT 21.33, *Blocs de terre comprimée ordinaires – Spécifications techniques*. Tunis: INNORPI, 1996.

NT 21.35, *Blocs de terre comprimée – Définition, classification et désignation*. Tunis: INNORPI, 1996.

NTC 5324, *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega*. Bogotá: ICONTEC, 2004.

NTE E.030, *Diseño sismorresistente*. Lima: SENCICO, 2016.

NTE E.080, *Diseño y construcción con tierra reforzada*. Lima: SENCICO, 2017.

NTP 331.201, *Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros*. Lima: INACAL, 1979.

NTP 331.202, *Elementos de suelos sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros – Métodos de ensayo*. Lima: INACAL, 1979.

NTP 331.203, *Elementos de suelos sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros – Muestra y recepción*. Lima: INACAL, 1979.

NZS 4297, *Engineering design of earth buildings*. Wellington: NZSO, 1998.

NZS 4298, *Materials and workmanship for earth buildi*. Wellington: NZSO, 1998.

NZS 4299, *Earth buildings not requiring specific design*. Wellington: NZSO, 1998.

ÖBV. *Publikationsliste*. 2020. <https://www.bautechnik.pro/DE/Shop/publikliste> (Zugriff am 27. 07 2020).

OIB. *Österreichisches Institut für Bautechnik*. 2014. <https://www.oib.or.at/> (Zugriff am 12. Februar 2020).

ÖNORM A 2050, *Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibungen, Angebot, Zuschlag*. Wien: Austrian Standards Institute, 2006.

ÖNORM B 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*. Wien: Austrian Standards Institute, kein Datum.

ÖNORM B 1997-1-2, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Flächengründungen - Berechnung der Tragfähigkeit und der Setzungen - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1. Wien: Austrian Standards Institute, 2019.

ÖNORM B 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen. Wien: Austrian Standards Institute, 2017.

ÖNORM B 2004, Erd-, Maurer- und Putzarbeiten. Wien: Österreichischer Normenausschuß, 1932.

ÖNORM B 2061, Preisermittlung für Bauleistungen – Verfahrensnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2020.

ÖNORM B 2107-1, Koordination von Bauarbeiten für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz von Personen - Teil 1: Funktionen und Pflichten bei der Bauarbeitenkoordination. Wien: Austrian Standards Institute, 2016.

ÖNORM B 2107-2, Koordination von Bauarbeiten für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz von Personen - Teil 2: Verfahren zur Erstellung von Sicherheits- und Gesundheitsschutzplänen sowie von Unterlagen für spätere Arbeiten. Wien: Austrian Standards Institute, 2016.

ÖNORM B 2110, Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2013.

ÖNORM B 2110, Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2013.

ÖNORM B 2202, Arbeiten gegen aufsteigende Feuchtigkeit bei Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Werkvertragsnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2007.

ÖNORM B 2207, Fliesen-, Platten- und Mosaiklegearbeiten – Werkvertragsnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2017.

ÖNORM B 2209, Bauwerksabdichtungsarbeiten – Werkvertragsnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2014.

ÖNORM B 2215, Holzbauarbeiten – Werkvertragsnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2017.

ÖNORM B 2217, Bautischlerarbeiten – Werkvertragsnorm. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.

- ÖNORM B 2219, *Dachdeckerarbeiten – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.
- ÖNORM B 2220, *Dachabdichtungsarbeiten – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2012.
- ÖNORM B 2221, *Bauspenglerarbeiten – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2012.
- ÖNORM B 2227, *Glaserarbeiten – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2017.
- ÖNORM B 2230-1, *Maler- und Beschichtungsarbeiten - Teil 1: Beschichtungen auf Holz- und Holzwerkstoffen, Metall, Kunststoff, Mauerwerk, Putz, Beton und Leichtbauplatten – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2014.
- ÖNORM B 2230-2, *Maler- und Beschichtungsarbeiten - Teil 2: Aufbringen von Brandschutzbeschichtungen – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2014.
- ÖNORM B 2233, *Hafnerarbeiten - Installation und Errichtung von häuslichen Feuerstätten – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2014.
- ÖNORM B 2320, *Wohnhäuser aus Holz – Technische Anforderungen*. Wien: Austrian Standards Institute, 2017.
- ÖNORM B 3131, *Gesteinskörnungen für Beton – Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12620*. Wien: Austrian Standards Institute, 2016.
- ÖNORM B 3200, *Mauerziegel – Anforderungen, Prüfungen, Klassifizierung und Kennzeichnung –*. Wien: Austrian Standards Institute, 2016.
- ÖNORM B 3344, *Baustellengemischte Mauer- und Putzmörtel*. Wien: Austrian Standards Institute, 2012.
- ÖNORM B 3346, *Putzmörtel - Regeln für die Verwendung und Verarbeitung*. Wien: Austrian Standards Institute, 2019.
- ÖNORM B 3350, *Massive Mauern und Wände – Güteeigenschaften*. Wien: Österreichischer Normenausschuß, 1951.
- ÖNORM B 3355, *Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk - Bauwerksdiagnose, Planungsgrundlagen, Ausführungen und Überwachung*. Wien: Austrian Standards Institute, 2017.

- ÖNORM B 3358, Nichttragende Innenwandsysteme.* Wien: Austrian Standards Institute, 2013.
- ÖNORM B 3417, Planung und Ausführung von Sicherheitsausstattungen auf Dächern.* Wien: Austrian Standards Institute, 2016.
- ÖNORM B 3418, Planung und Ausführung von Schneeschutzsystemen auf Dächern.* Wien: Austrian Standards Institute, 2012.
- ÖNORM B 3419, Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen.* Wien: Austrian Standards Institute, 2018.
- ÖNORM B 3430-1, Planung und Ausführung von Maler- und Beschichtungsarbeiten - Teil 1: Beschichtungen auf Holz und Holzwerkstoffen, Metall, Kunststoff, Mauerwerk, Putz, Beton und Leichtbauplatten.* Wien: Austrian Standards Institute, 2019.
- ÖNORM B 3521-1, Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen aus Metall – Teil 1: Bauspenglerarbeiten – handwerklich gefertigt.* Wien: Austrian Standards Institute, 2012.
- ÖNORM B 3691, Planung und Ausführung von Dachabdichtungen.* Wien: Austrian Standards Institute, 2019.
- ÖNORM B 3692, Planung und Ausführung von Bauwerksabdichtungen.* Wien: Austrian Standards Institute, 2014.
- ÖNORM B 3716, Glas im Bauwesen - Konstruktiver Glasbau.* Wien: Austrian Standards Institute, 2016.
- ÖNORM B 4119, Planung und Ausführung von Unterdächern und Unterspannungen.* Wien: Austrian Standards Institute, 2018.
- ÖNORM B 4414-2, Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Dichte des Bodens;.* Wien: Austrian Standards Institute, kein Datum.
- ÖNORM B 4418, Geotechnik - Durchführung von Proctorversuchen im Erdbau unter Einbeziehung der ÖNORM EN 13286-2.* Wien: Austrian Standards Institute, 2019.
- ÖNORM B 4424, Geotechnik – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des organischen Anteils.* Wien: Austrian Standards Institute, 2016.

ÖNORM B 4435-1, *Erd- und Grundbau - Flächengründungen - Teil 1: Berechnung der Tragfähigkeit bei einfachen Verhältnissen*. Wien: Austrian Standards Institute, 2003 (zurückgezogen 2019).

ÖNORM B 5300, *Fenster - Anforderungen - Ergänzungen zur Austrian Standards Institute ÖNORM EN 14351-1*. Wien: Austrian Standards Institute, 2007.

ÖNORM B 5305, *Fenster und Außentüren - Inspektion und Instandhaltung*. Wien: Austrian Standards Institute, 2018.

ÖNORM B 5312, *Holzfenster und Holz-Alufenster – Konstruktionsregeln*. Wien: Austrian Standards Institute, 2018.

ÖNORM B 6000, *SchallschutzWerkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau - Produktarten, Leistungsanforderungen und Verwendungsbestimmungen*. Wien: Austrian Standards Institute, 2018.

ÖNORM B 6000, *Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau - Produktarten, Leistungsanforderungen und Verwendungsbestimmungen*. Wien: Austrian Standards Institute, 2018.

ÖNORM B 6015-2, *Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät – Teil 2: Ermittlung des Nennwertes und des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit für homogene Baustoffe*). Wien: Austrian Standards Institute, 2009.

ÖNORM B 6400, *Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)*. Wien: Austrian Standards Institute, 2017.

ÖNORM B 8110 (alle Teile), *Wärmeschutz im Hochbau*. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.

ÖNORM B 8110 (alle Teile), *Wärmeschutz im Hochbau*. Wien: Austrian Standards Institute , kein Datum.

ÖNORM B 8115 (alle Teile), *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau*. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.

ÖNORM B 8115, *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau*. Wien: Austrian Standards Institute , 2011.

- ÖNORM B 8311, Installation und Errichtung von häuslichen Feuerstätten.* Wien: Austrian Standards Institute, 2013.
- ÖNORM EN 1015-11, Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel.* Wien: Austrian Standards Institute, 2020.
- ÖNORM EN 1015-3, Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch).* Wien: Austrian Standards Institute, 2007.
- ÖNORM EN 1052-1, Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit.* Wien: Austrian Standards Institute, 1999.
- ÖNORM EN 1052-2, Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 2: Bestimmung der Biegezugfestigkeit.* Wien: Austrian Standards Institute, 2017.
- ÖNORM EN 12390-6, Prüfung von Festbeton – Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern.* Wien: Austrian Standards Institute, 2010.
- ÖNORM EN 12504-2, Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung - Bestimmung der Rückprallzahl.* Wien: Austrian Standards Institute, 2013.
- ÖNORM EN 12865, Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Bauteilen - Bestimmung des Widerstandes des Außenwandsystems gegen Schlagregen bei pulsierendem Luftdruck.* Wien: Austrian Standards Institute, 2001.
- ÖNORM EN 13286-2, Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes - Proctorversuch.* Wien: Austrian Standards Institute, 2012.
- ÖNORM EN 13377, Industriell gefertigte Schalungsträger aus Holz – Anforderungen, Klassifizierung und Nachweis.* Wien: Austrian Standards Institute, kein Datum.
- ÖNORM EN 13501-1, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten.* Wien: Austrian Standards Institute, 2020.
- ÖNORM EN 13914-1, Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen - Teil 1: Außenputz.* Wien: Austrian Standards Institute, 2016.

ÖNORM EN 13914-2, Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen – Teil 2: Innenputze. Wien: Austrian Standards, 2016.

ÖNORM EN 15643, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden.
Wien: Austrian Standards Institute, 2010.

ÖNORM EN 15804, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Wien: Austrian Standards Institute, 2020.

ÖNORM EN 15978, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Wien: Austrian Standards Institute, 2012.

ÖNORM EN 16309, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der sozialen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethoden. Wien: Austrian Standards Institute, 2014.

ÖNORM EN 16627, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der ökonomischen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethoden. Wien: Austrian Standards Institute, 2015.

ÖNORM EN 16907-2, Erdarbeiten - Teil 2: Materialklassifizierung. Wien: Austrian Standards Institute, 2019.

ÖNORM EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.

ÖNORM EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Wien: Austrian Standards Institute, 2015.

ÖNORM EN 1995, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Wien: Austrian Standards Institute, 2019.

ÖNORM EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Wien: Austrian Standards Institute, kein Datum.

ÖNORM EN 1996-3, Eurocode 6 - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten. Wien: Austrian Standards Institute, 2009.

ÖNORM EN 1997, Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Wien: Austrian Standards Institute, 2014.

- ÖNORM EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.* Wien: Austrian Standards Institute, 2013.
- ÖNORM EN 771-1, Festlegung für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel.* Wien: Austrian Standards Institute, 2015.
- ÖNORM EN 772-1, Prüfverfahren für Mauersteine - Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit.* Wien: Austrian Standards Institute, 2015.
- ÖNORM EN 998-2, Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 2: Mauermörtel.* Wien: Austrian Standards Institute, 2010.
- ÖNORM EN ISO 10319, Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen.* Wien: Austrian Standards Institute, 2015.
- ÖNORM EN ISO 12572, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit - Verfahren mit einem Prüfgefäß.* Wien: Austrian Standards Institute, 2017.
- ÖNORM EN ISO 14688-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung.* Wien: Austrian Standards Institute, 2019.
- ÖNORM EN ISO 14688-2, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen.* Wien: Austrian Standards Institute, 2019.
- ÖNORM EN ISO 15148, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen.* Wien: Austrian Standards Institute, 2016.
- ÖNORM EN ISO 17892-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts.* Wien: Austrian Standards Institute, 2015.
- ÖNORM EN ISO 17892-12, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen.* Wien: Austrian Standard Institute, 2018.

ÖNORM EN ISO 17892-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 2: Bestimmung der Dichte des Bodens*. Wien: Austrian Standard Institute, 2015.

ÖNORM EN ISO 17892-3, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 3: Bestimmung der Korndichte*. Wien: Austrian Standards Institute, 2016.

ÖNORM EN ISO 17892-4, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung*. Wien: Austrian Standard Institute, 2017.

ÖNORM EN ISO 17892-7, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 7: Einaxialer Druckversuch*. Wien: Austrian Standards Institute, 2018.

ÖNORM L 1131, *Gartengestaltung und Landschaftsbau – Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken – Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung*. Wien: Austrian Standards Institute, 2010.

ÖNORM M 7778, *Montageplanung und Montage von thermischen Solarkollektoren und Photovoltaikmodulen*. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.

ÖVE/ÖNORM EN 45020, *Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten - Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004)*. Wien: Austrian Standards, 2007.

Paech, Niko. *Befreiung vom Überfluss*. München: oekom Verlag, 2012.

Potucek, Walter, Gerhard F. Kidéry, Richard Fritze, und Georg Valentin. *Stahlbetonbau - Teil 1: Grundlagen und Beispiele*. 11. Wien: Manz, 2008.

Ramml, Ferdinand. *Ziegelöfen und Lehmabbaue der politischen Bezirke Mistelbach und Gänserndorf (Niederösterreich): Geschichte und Geologie*. Wien, 2014.

Rauch, Peter. *Magazin für gesundes Wohnen und Bauen*. August 2015. <https://www.ib-rauch.de/> (Zugriff am 05. März 2020).

Renn, Jürgen, Wilhelm Osthus, und Hermann Schlimme, . *Wissensgeschichte der Architektur*. Berlin: Max Planck Institute for the History of Science, 2014.

- Rheinland, Landschaftsverband. *APX: LVR-Archäologischer Park Xanten*. kein Datum.
https://apx.lvr.de/de/lvr_archaeologischer_park/rekonstruktionsbauten/roemische_wohnhaeuser/ (Zugriff am 29. Jänner 2020).
- Rieger-Jandl, Andrea, Gerold Esser, und Ulrike Herbig. „Warum, was, wie erhalten? Weinviertler Lehm Bauten zwischen Musealisierung und Wiederbelebung.“ In *Lehmbau, Tradition und Moderne*. Atzenbrugg, 2014.
- Rischaneck, Andreas. „Sicherheitskonzept für den Lehmsteinbau.“ Wien: Dissertation am Institut für Hochbau, 2009.
- . *Übersicht über Normen der Gebäudehülle 2016*. Wien: Austrian Standards Plus, 2016.
- Rode, August. *Des Marcus Vitruvius Pollio Baukunst*. Leipzig: Georg Joachim Göschen, 1796.
- Röhlen, Ulrich, und Christof Ziegert. *Lehmbau-Praxis: Planung und Ausführung*. Berlin: Beuth Verlag, 2020.
- SADC ZW HS 983, Rammed earth structures – Code of practice*. Harare: SAZ, 2014.
- Schneider, Ulrich, Mathias Schwimann, und Heinrich Bruckner. *Lehmbau für Architekten und Ingenieure*. Düsseldorf: Werner-Verlag, 1996.
- Schröder, Horst. „The New DIN Standards in Earth Building—The Current Situation in Germany.“ *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2018: 113-120.
- . *Lehmbau*. Wiesbaden: Vieweg-Teubner, 2010.
- Serie Quito – Quito, Guía Arquitectónica*. Quito: Municipio de Quito (Dirección de planificación), 1991.
- SLS 1382, Specification for compressed stabilized earth blocks*. Sri Lanka: SLSI, 2009.
- Staatsdruckerei, Hrsg. *Landesgesetzblatt für Wien*. Wien, 1930.
- Staatsdruckerei, Hrsg. *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*. Wien, 1866.
- Staatsdruckerei, Hrsg. *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*. Wien, 1868.

Staatsdruckerei, Hrsg. *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*. Wien, 1883.

Staatsdruckerei, Hrsg. *Landesgesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*. Wien, 1922.

Staatsdruckerei, Hrsg. *Landes-Gesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*. Wien, 1868.

Staatsdruckerei, Hrsg. *Landes-Gesetz und Verordnungsblatt für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*. Wien, 1884.

Staatsdruckerei, Hrsg. *Sammlung der Gesetze für das Erzherzogthum Österreich unter der Enns*. Wien, 1828.

Staatsdruckerei, Hrsg. *Sr. k.k. Majestät Franz des Ersten politische Gesetze und Verordnungen*. Wien, 1816.

Staatsdruckerei, Hrsg. *Sr. k.k. Majestät Franz des Zweiten politische Gesetze und Verordnungen*. Wien, 1817.

Staatsdruckerei, Hof- und, Hrsg. *Allgemeines Reichs-, Gesetz- und Regierungsblatt für das Kaiserthum Österreich*. Wien, 1850.

Standards einfach mitgestalten - Wie sie entstehen - wer aller mitmacht - und warum. Wien: Austrian Standards International, 2018.

Steiner, W. *Der Lehm- und Ziegelnbau auf dem Lande*. Weimar: Verlag, Druck und Lithographie von Bernhard Friedrich Voigt, 1840.

Stummer, Astrid. *Maßnahmen zur Vermeidung der Druckfestigkeitsverluste bei Lehmsteinen in feuchten Klimaten*. Wien: Diplomarbeit (TU Wien), 2007.

Sztrinkó, István. „Volksarchitektur zwischen Donau und Theiß.“ *Österreichische Zeitschrift für Volkskunde*, 1988, XLII Ausg.

Tavernier, Jean-Baptiste. *ETH Zürich: Bibliothek*. 1681. <https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-13087> (Zugriff am 3. Jänner 2020).

- Thayer, Bill. *De Agricultura*. 2014.
http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cato/De_Agricultura/A*.html (Zugriff am 29. Jänner 2020).
- Toccafondi, Viola. *Neuinterpretation und zeitgenössische Anwendung der antiken Lehmbau-Tradition auf Sardinien*. Berlin: Dissertation TU Berlin, 2015.
- Trojan, Martin. *Auswirkungen durch Beimischen von Zusatzstoffen auf die Druckfestigkeit von Lehmbaumstoffen*. Wien: Diplomarbeit (TU Wien), 2007.
- TS 537, Cement Treated Adobe Bricks*. Ankara: TSE, 1985.
- UNE 41410, Compressed earth blocs for walls and partitions – Definitions, specifications and test methods*. Madrid: AENOR, 2008.
- UNESCO. 1992. <http://whc.unesco.org> (Zugriff am 21. Oktober 2019).
- Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten*. Europäische Union, 2011.
- Volhard, Franz, und Ulrich Röhlen. *Lehmbau-Regeln: Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. 3. Braunschweig: Springer Vieweg Verlag, 2009.
- Wenzel, Tamara. *Die Bautypen der Waldviertler Textilstraße*. TU Wien: Diplomarbeit, 2007.
- Wien, Universität für Bodenkultur. *Lehmbau im Weinviertel*. kein Datum. CHÂTEAU DE VAUGIRAR (Zugriff am 29. Oktober 2019).
- Wikimedia. *Ait Benhaddou, Morocco*. 2012.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24518830> (Zugriff am 23. Oktober 2019).
- . *Timit, Tighremt*. 2011. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25359277> (Zugriff am 23. Oktober 2019).
- Wikipedia. *Albrecht-Dürer-Haus*. 2020. <https://de.wikipedia.org/wiki/Albrecht-D%C3%BCrer-Haus> (Zugriff am 29. Jänner 2020).
- . *Begriff "Richtlinie"*. 2020. <https://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinie> (Zugriff am 27. 07 2020).

- . *Cheops-Pyramide*. 2020. <https://de.wikipedia.org/wiki/Cheops-Pyramide> (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Klimazonen*. kein Datum.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Klimazone#/media/Datei:Klimag%C3%BCrtel-der-erde.svg>
(Zugriff am 21. Mai 2020).

 - . *Merv*. 2020. <https://en.wikipedia.org/wiki/Merv> (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Morocco, Souss-Massa-Draa Region, Ouarzazate Province, Skoura, Kasbah Amerhidil*. 2013.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Morocco,_Souss-Massa-Draa_Region,_Ouarzazate_Province,_Skoura,_Kasbah_Amerhidil_\(3\).JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Morocco,_Souss-Massa-Draa_Region,_Ouarzazate_Province,_Skoura,_Kasbah_Amerhidil_(3).JPG) (Zugriff am 25. Oktober 2019).

 - . *Mudéjares*. 2020. <https://de.wikipedia.org/wiki/Mud%C3%A9jares#Mud%C3%A9jarstil> (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Naturalis historia*. 2020. https://de.wikipedia.org/wiki/Naturalis_historia#Rezeption (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Niebla*. 2020. <https://de.wikipedia.org/wiki/Niebla> (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Teotihuacán*. 2019. <https://de.wikipedia.org/wiki/Teotihuac%C3%A1n> (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Tighremt*. 2020. <https://de.wikipedia.org/wiki/Tighremt> (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Van Fortress*. 2020. https://en.wikipedia.org/wiki/Van_Fortress (Zugriff am 29. Jänner 2020).

 - . *Vitruv*. 2020. <https://de.wikipedia.org/wiki/Vitruv#Rezeption> (Zugriff am 29. Jänner 2020).
- Wittstein, Georg Christoph. *Die Naturgeschichte des Caius Plinius Secundus*. Leipzig: Gressner & Schramm, 1881.
- XP P13-901, Compressed earth blocks for walls and partitions: definitions – Specifications – Test methods – Delivery acceptance conditions*. Paris: AFNOR, 2001.
- ZAMG. *Schweres Erdbeben der Magnitude 7,8 in Nepal*. 27. April 2015.
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/geophysik/news/erdbeben-der-magnitude-7-8-in-nepal>
(Zugriff am 5. Februar 2020).

Zsutty, Gerhard. *Ziegelstempel - Ziegelzeichen, Beispiele aus dem Ziegmuseum*. Bonn: Bundesverband Deutscher Ziegelindustrie, 2005.