

Regeln zum Bauen mit Lehm

Hinweis:
IG Lehm Download
bewilligt, weil D 0111
nicht mehr erhältlich

IG Lehm
Postfach
4020 Basel

[Signature] . 2004



Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
Société suisse des ingénieurs et des architectes
Società svizzera degli ingegneri e degli architetti

Regeln zum Bauen mit Lehm

Die vorliegende Publikation wurde erarbeitet von der Forschungsgruppe Lehmbau, unter der Leitung von Prof. H. Hugi, A.-L. Huber und T. Kleespies, gemeinsam mit dem SIA, im Rahmen eines Forschungsauftrages des Bundesamtes für Energiewirtschaft BEW.

Gesamtredaktion und Gestaltung:
Anne-Louise Huber, Thomas Kleespies
Forschungsgruppe Lehmbau, Tösstalstrasse 12, 8400 Winterthur

SIA-Dokumentation D 0111
SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
Postfach, CH-8039 Zürich, Tel. 01/283 15 15, Fax 01/201 63 35
Normen- und Drucksachenverkauf Tel. 01/283 15 60

Copyright © 1994 by SIA Zurich
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen
Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das
der Übersetzung, vorbehalten.

Vorwort

Ein Drittel der Menschheit lebt in Lehmhäusern. Wo Lehm als Baumaterial lokal vorhanden war, wurde und wird es auch zum Bauen verwendet.

Das gilt natürlich vor allem für heisse, trockene Länder, in denen die Arbeitskraft noch wenig kostet und moderne industriell gefertigte Baumaterialien kaum zu bezahlen sind. Aber auch in der Schweiz hat die Lehmbauweise eine Tradition. Sie zeigt, wie hier solide und dauerhaft mit Lehm gebaut werden kann. Nicht nur im Fachwerkbau, auch als Baustoff für massive tragende Wände kam der Lehm zum Einsatz. Im Mittelalter ebenso wie zur Zeit der Industrialisierung.

Vor fünfzig Jahren, im Zusammenhang mit der Energiekrise gegen Ende des zweiten Weltkriegs, gab es die letzte grössere Initiative, die Lehmbauweise in der Schweiz als Alternative zum herkömmlichen Bauen wieder einzuführen.

Eine Rückbesinnung in neuester Zeit auf ein energiearmes und umweltschonendes Bauen, auf ressourcensparende, giffreie Baustoffe und auf Verminderung der Abfallberge hat die Diskussion um den Baustoff Lehm erneut entfacht.

In den letzten Jahren sind in der Schweiz über dreissig Lehmhäuser entstanden. Ungezählt sind die Beispiele, in denen Lehm zum Ausbau, bei Sanierungen oder im Innenausbau zur Anwendung gelangte.

Dabei zeigt sich ein dringender Bedarf an fachlicher Beratung. Lehmbauten brauchen Anleitung bei der Projektierung und Beaufsichtigung der Baustelle. Baubehörden benötigen brauchbare Entscheidungsgrundlagen.

Dieser SIA Dokumentationsband "Regeln zum Bauen mit Lehm" ist das Ergebnis einer mehrjährigen Zusammenarbeit zwischen der ETH Zürich, der EPF Lausanne, dem SIA und der Privatwirtschaft.

Ein zweijähriger Forschungsauftrag des Bundesamts für Energiewirtschaft BEW zum Bauen mit Lehm in der Schweiz ermöglichte schliesslich den vorläufigen Abschluss dieser Arbeit.

Die "Regeln zum Bauen mit Lehm" werden ergänzt durch einen "Lehmbauatlas" mit ausgeführten Beispielen und Regeldetails, der in der gleichen Reihe vom SIA als Dokumentation D 0112 herausgegeben wird.

An den Regeln zum Bauen mit Lehm haben mitgewirkt:

Roger Fischer
Anne-Louise Huber
Hans Hugli
Thomas Kleespies
Alec Schaerer
Petra Schmidt

mit beratender Stimme:

Manfred Miehlsbradt
Jean-Claude Piguet
Jean-Marie Plancherel
Horst Schröder
Santiago Schuppisser
Franz Volhard
Rudolf Wullimann

Anleitung zum Gebrauch der Lehmbaueregeln

Im vorliegenden Text sind die entscheidenden normativen Angaben durch besondere Darstellung hervorgehoben: In einspaltigen Abschnitten zusammengefasst, mit Fettdruck und beidseitigem Rand.

Die Beschreibung der allgemeingültigen Zusammenhänge und die Anleitungen zum materialgerechten Umgang mit Lehm, bezogen auf die verschiedenen

Lehmbautechniken, erscheint in zweisepaltiger Textform. Ergänzt werden beide Teile mit grafischen Darstellungen und Tabellen.

Die Tabellen mit den Materialkennwerten erscheinen zweimal: Im Textzusammenhang kapitelweise und zum schnellen Auffinden zusammengefasst im Anhang.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	
Anleitung zum Gebrauch der Lehmbauregeln	
Inhaltsverzeichnis	3
1 Allgemeine Informationen	
1.1 Geltungsbereich und inhaltliche Abgrenzung	8
Allgemeines	8
Rechtsgrundlage und mitgeltende Bestimmungen	8
1.2 Definition von grundlegenden Begriffen	9
Baulehm / Lehmestoff / Lehm	
Magere, mittelfette und fette Lehme	
Konsistenzen	
Massivbauten / Skelettbauten	
Massivlehm, Leichtlehm	
Bautechniken	
Zuschlagstoffe / Zusätze	
1.3 Voraussetzungen und Entscheidungsfaktoren zum Lehmestoffbau	11
Energie- und Schadstoffbilanz	11
Vorkommen und Eignung der Lehme in der Schweiz	11
Lokale Lehmestoffvorkommen, lokale Aufbereitung und Trocknung	11
Fachleute und Ausführende	12
Wahl der Lehmestoffbautechnik	12
2 Baumaterial Lehm	
2.1 Entstehung von Lehm und Eigenschaften der Tonminerale	14
Lehme	14
Tonpartikel, Tonminerale	15
Ton-Moleküle und Wasser	16
Bindigkeit	17
2.2 Klassifikation von Lehmen	18
Klassifikation nach Bindekraft	18
Feldproben	19
Aussehen, Geruch	
Aufschlammprobe	
Klebeprobe	
Schüttelprobe	
Knetprobe	
Kugelprobe	
Klassifikation nach Granulometrie und Plastizität	22
Sieb- und Schlammestoffanalyse	
Konsistenzgrenzen nach Atterberg	

2.3	Baulehm, bauphysikalische Anforderungen	24
	Druckfestigkeit	24
	Messen der Druckfestigkeit	
	Wassergehalt	25
	Konsistenzen	
	Optimaler Wassergehalt	
	Proctor-Versuch	
	Dampfleitfähigkeit	
	Hygroskopizität	
	Schwinden	29
	Messen des Trockenschwindmasses	
	Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherung	30
	Schalldämmung	32
	Feuerbeständigkeit	33
	Weitere Materialeigenschaften	34
	Oberflächenbeständigkeit	
	Frostbeständigkeit	
	Einfluss auf den Organismus	
2.4	Zuschlagstoffe und Zusätze	35
2.5	Lehmbaumstoffe, spezifische Anforderungen	36
	Lehmbausteine	36
	Stampflehm	37
	Leichtlehm	37
	Lehmmörtel für Mauerwerk und Verputz	38
3	Allgemeines zur Ausführung von Lehmbauten	
3.1	Baustoff: Gewinnung, Transport, Aufbereitung und Herstellung	40
3.2	Baustelle	40
3.3	Bausaison und Trocknungsdauer	41
3.4	Schutz vor Witterungseinflüssen	42
	Sockel und Dach	
	Schutz der Wände während des Rohbaus	
	Schutz der Wände nach dem Rohbau	
3.5	Innenausbau	44
	Installationen	44
	Wände in Nassräumen	44
	Befestigungen an Wänden	44
4	Lehmbautechniken	
4.1	Lehmsteinbau, Mauerwerkstechnik, Adobe	46
	Lehmbausteine extrudiert	
	Lehmbausteine gepresst	
	Lehmbausteine in Formrahmen gefüllt	
	Zuschlagstoffe und Zusätze	47
	Ausführung	47
4.2	Stampflehm, Pisé	48
	Zuschlagstoffe	48
	Materialaufbereitung	48
	Ausführung	49

4.3	Lehmausfachung gemauert	50
4.4	Leichtlehm-Ausfachung	51
	Zuschlagstoffe	51
	Materialaufbereitung	52
	Ausführung	53
	In die Ausfachung direkt eingestampft	
	Ausfachung mit Elementen	
	Ausfachung mit vermauerten Blöcken	
	Einbau von Wandelementen und Platten	
4.5	Bemessung von Lehmwänden	56
	Massivbauteile	56
	Massivbau, tragend	
	Anschluss von Innenwänden und Decken beim Massivbau	
	Öffnungen in Massivlehmwänden	
	Ausfachungen	57
5	Schutz von Oberflächen	
<hr/>		
5.1	Oberflächenschutz, allgemeine Anforderungen	60
5.2	Anstriche und Imprägnierungen	61
5.3	Putze	62
	Lehmmörtel für Mauerwerk und Verputz	62
	Zuschlagstoffe	
	Aufbereitung	
	Mineralische Putze	63
5.4	Verputzen von Lehmwänden	64
	Zeitpunkt des Verputzens	64
	Ausführung der Verputzarbeit	64
	Putz auf Lehmbaustein-Wänden	
	Putz auf Stampflehmwänden	
	Putz auf Leichtlehmwänden	
5.5	Lehmputze auf Nicht-Lehmwänden	66
5.6	Verschalungen	66
6	Spätere Lehmbauregeln	
<hr/>		
6.1	Besondere Lehmbauteile	68
6.2	Unterhalt und Instandsetzung von Lehmbauten	68
6.3	Weitere Themen	68
A	Anhang	
<hr/>		
A.1	Begriffe zu Baustoffkennwerten	70
A.2	Tabellen Materialkennwerte	71
	Druckfestigkeiten und zulässige Spannungen	
	Dampfleitfähigkeit und Diffusionswiderstandszahl	
	Stoffwerte Wärme	
	Luftschalldämmung	
	Brandkennziffer und Feuerwiderstand	
A.3	Glossar	74
A.4	Adressen von Prüfstellen und Fachstellen	77
A.5	Quellenverzeichnis	79
	Normen, Richtlinien, Empfehlungen	79
	Fachliteratur	80

1 Allgemeine Informationen

1.1 Geltungsbereich und inhaltliche Abgrenzung

Allgemeines

Die Lehmbauregeln sind gedacht als Arbeitsgrundlage. Sie entsprechen dem heutigen internationalen Stand von Wissen und Erfahrung im Bauen mit Lehm. Sie richtet sich an Baufachleute, Behörden und SelbstbauerInnen. Einerseits dient sie zur Regelung des Planungs- und Bauablaufs, andererseits regt sie den Dialog zwischen Theorie und Praxis an und wird durch ihre Anwendung einer Bewährungsprobe unterzogen. Aufgrund von Rückmeldungen und Anregungen kann sie später ergänzt und präzisiert werden, insbesondere in Bezug auf die spezifischen Verhältnisse in der Schweiz.

Die Regeln legen sowohl für die natürlich vorkommenden Erdstoffe wie für den daraus weiterentwickelten und speziell aufbereiteten Baustoff die entsprechenden Materialcharakteristiken, Prüfverfahren und Qualitätsanforderungen fest.

Von der Vielzahl der weltweit bekannten Lehmbautechniken werden vier Techniken behandelt, die sich für das Bauen mit Lehm in der Schweiz besonders eignen: das Mauern mit Lehmbausteinen (Lehmsteinbau, Adobe), das Bauen mit Stampflehm (Stampflehm, Pisé), die Ausfachung von Skelettbauten mit gemauerten Lehmvollsteinen oder mit Leichtlehm.

Die Ausführungen dieser Lehmbauregeln beziehen sich im wesentlichen auf den Bau von Lehmwänden, da Lehmstoffe zum überwiegenden Teil beim Bau von Wänden eingesetzt werden. Deshalb bestimmt auch die Art und Weise der Ausführung einer Wand die genaue Bezeichnung eines Lehmhaustyps als Adobe-, Pisé- oder Leichtlehmgebäude.

In einigen Kapiteln können die Möglichkeiten und Anforderungen vorerst nur schematisch aufgeführt werden. Ergänzungen durch Zusatzblätter sind geplant. Dies betrifft vor allem die Kapitel über Lehmputze, besondere Lehmteile, Unterhalt und Instandsetzung von Lehmbauten.

Die vorliegenden Regeln gelten für das Bauen mit Lehm in schweizerischen Verhältnissen. Sie beziehen sich auf ein- bis zwei-geschossige Wohnbauten und vergleichbare Gebäude. Abweichungen, sei es von den empfohlenen Dimensionen oder sei es als Anwendung einer anderen Bautechnik als in diesen Regeln beschrieben, sind grundsätzlich möglich, bedürfen aber entsprechender Nachweise.

Eine Einpassung in das EG-Normenwerk zu einem späteren Zeitpunkt steht dank der Zusammenarbeit mit internationalen Fachleuten in Aussicht.

Rechtsgrundlagen und mitgeltende Bestimmungen

<input type="checkbox"/>	Soweit für Lehmbauten in den vorliegenden Regeln keine Angaben gemacht werden, gelten sinngemäss:	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	▮ Das Normenwerk des SIA (Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein).	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	▮ Allgemeine Bauvorschriften von Kantonen und Gemeinden.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	▮ Feuerpolizeivorschriften von Kantonen und Gemeinden.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	▮ Umweltschutzvorschriften von Bund, Kantonen und Gemeinden.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	▮ Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz) und Verordnungen der SUVA.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	▮ Normen des VSS (Vereinigung Schweiz. Strassenfachleute) für Böden und mineralische Baustoffe (Normblätter Schweiz. Normenvereinigung SNV).	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Für das Bauen mit Lehmbausteinen gilt insbesondere:	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	▮ SIA V 177/2 Bemessung von Mauerwerkswänden.	<input type="checkbox"/>

1.2 Definition von grundlegenden Begriffen

An dieser Stelle werden Begriffe erläutert, wie sie in den Lehmbauregeln zur Anwendung kommen.

Ein umfangreiches Glossar zu weiteren verwendeten Begriffen findet sich im Anhang unter A.3, Glossar.

Baulehm / Lehmbaustoff / Lehm

Baulehme sind natürlich vorkommende, zum Bauen geeignete Erdstoffe. Durch Aufbereitung des Baulehms und allfällige Beimischung von Zuschlagstoffen oder Zusätzen gelangt man zum Lehmbaustoff. Ein sauberes Auseinanderhalten dieser Begriffe im Text würde schwerfällig wirken und ist auch in der Fachliteratur nicht üblich. Wenn im folgenden von "Lehm" die Rede ist, erklärt sich aus dem Zusammenhang, ob "Baulehm" oder "Lehmbaustoff" gemeint ist.

Magere, mittelfette und fette Lehme

Die zum Bauen verwendeten Lehme werden entsprechend ihrem Anteil an Tonmineralien als magere, mittelfette oder fette Lehme eingestuft. Fette Lehme haben eine hohe Bindekraft, magere Lehme eine niedrige.

Konsistenzen

Entsprechend dem Wassergehalt des verwendeten Lehms wird seine Konsistenz in fünf Kategorien eingeteilt: trocken, erdfeucht, plastisch, breiig, flüssig.

Massivbauten / Skelettbauten

Werden Lehmwände als tragende Bauteile erstellt, gehören sie zur Kategorie der Massivbauten. Wird die Tragfunktion von einem (Holz-, etc.) Skelett übernommen und der Lehm dient nur als Ausfachung, gehören sie zu den Skelettbauten. Bei Ausfachungen, wie auch bei nichttragenden Wänden, muss der Lehm nur sein eigenes Gewicht tragen können.

Massivlehm / Leichtlehm

Als Massivlehm bezeichnen wir Lehmbaustoffe ohne Leicht-Zuschläge mit Rohdichten über 1600 kg/m^3 , die zum Bau von tragenden Wänden verwendet werden. Leichtlehme weisen Rohdichten unter 1200 kg/m^3 auf und können nicht tragend eingesetzt werden. Sie entstehen aus den natürlich vorkommenden Baulehmen durch Beimischung leichter Zuschlagstoffe wie Stroh, Holzhäcksel, Blähton, etc.

Bautechniken

Eine Bautechnik bezeichnet die Art, wie eine Lehmwand arbeitstechnisch aufgebaut wird. Diese Lehmbauregeln behandeln die Bautechniken Lehmsteinbau, Stampflehm- und Lehm-Fachwerkbau, bzw. Lehm-Ständerbau.

Zuschlagstoffe / Zusätze

Die Baustoffeigenschaften des Lehms können durch Beimengung von Zuschlagstoffen und/oder Zusätzen verändert werden. Wird in volumenmässig bedeutenden Mengen beigemischt, sprechen wir von Zuschlagstoffen (z.B. Sand, Stroh, Blähton). Andernfalls, bei kleinen Mengen, wird von Zusätzen gesprochen (z.B. Kalk, Zement, ölige Substanzen).

1.3 Voraussetzungen und Entscheidungsfaktoren zum Bauen mit Lehm

Energie- und Schadstoffbilanz

Bei der Energie- und Schadstoffbilanz eines Lehmhauses fallen besonders die aufgewendete Energie für seine Aufbereitung, seine künstliche Trocknung und für den Transport des Lehmabstoffs zur Baustelle ins Gewicht. Die Herstellungsenergie für die Fertigung von Lehmteilen oder ganzen Lehm-

wänden ist im Vergleich dazu relativ gering. Es ist deshalb sinnvoll, den Lehmabstoff aus der Nähe, bestenfalls vom Baugrundstück selbst zu beziehen und Möglichkeiten zur natürlichen Trocknung von Lehmabstoffen und -bauteilen in Betracht zu ziehen.

Vorkommen und Eignung der Lehme in der Schweiz

Die Lehmvorkommen in der Schweiz sind hinsichtlich Qualität und Quantität sehr unterschiedlich. Im Mittelland ist Lehm reichlich vorhanden und je nach den geologischen Voraussetzungen auch im Jura und in den Alpenrandbereichen. Ergiebige Vorkommen sind insbesondere im Bereich von Moränen und Talböden zu erwarten. Selbst in direkter Umgebung eines Bauobjektes können die Verhältnisse unterschiedlich sein.

Grundsätzlich eignen sich die schweizerischen Lehme zum Bauen. Allerdings kann der Lehm in den meisten Fällen nicht so verwendet werden, wie er dem Boden entnommen wird. Er muss aufbereitet und allenfalls mit Zuschlagstoffen und Zusätzen versehen werden.

Lokale Lehmvorkommen, lokale Aufbereitung und Trocknung

Ideale Voraussetzung zum Bau eines Lehmhauses sind ausreichende lokale Lehmvorkommen. Ist das nicht der Fall, stellt sich die Frage, ob die Distanz zu anderen Bezugsorten, wie z.B. Baustellen, Lehmgruben oder Fabrikationsstätten ökologisch und ökonomisch vertretbar ist.

Die Energiebilanz eines Lehmhauses wird besonders dann positiv beeinflusst, wenn die Aufbereitung des Lehmabstoffs, die Herstellung von Bauteilen und der Bau von Wänden mit kleinen Maschinen vor Ort möglich ist und wenn die Trocknung von Lehmteilen und -wänden während der warmen Sommermonate ohne zusätzlichen Energieeinsatz geschieht.

Fachleute und Ausführende

Die einfachen Anwendungsmöglichkeiten des Baustoffs tragen dazu bei, dass sich die Lehmbauweise zum Selbstbau besonders gut eignet. Allerdings erfordert das Bauen mit Lehm Begleitung und Beratung von Fachleuten mit Erfahrung.

Es empfiehlt sich, möglichst früh in der Planungsphase eine Fachperson für die Aspekte des Lehmbaus beizuziehen. Die Ausführung von Lehmbauten sollte jedenfalls unter Aufsicht und Begleitung von Fachleuten geschehen.

Als Fachleute gelten solche, die sich die theoretischen Kenntnisse des Lehmbaus angeeignet und bei der praktischen Ausführung von Lehmbauten genügend Erfahrung gesammelt haben. Sie beherrschen die technischen und handwerklichen Regeln des Lehmbaus und können auch die Eignung des in Betracht kommenden Lehms beurteilen.

Gewisse Lehmbauweisen eignen sich auch für den Einsatz von Laien im Selbstbau. Immer aber sollte eine Fachperson die Leitung der Bauarbeiten übernehmen.

Die im Anhang unter A.4 aufgeführten Fachstellen können Fachleute vermitteln.

Wahl der Lehmbautechnik

Die Wahl der Lehmbautechnik orientiert sich an der Qualität und Zusammensetzung des vorgefundenen Lehms sowie an den erhältlichen vorgefertigten Baumaterialien. Dabei wirken statische und energetische Überlegungen mitbestimmend. Weitere wichtige Kriterien sind die Jahreszeit der vorgesehenen Lehm-bauarbeiten sowie die Dauer derselben.

Nachstehend aufgeführte Faktoren sind bei der Wahl der Bautechnik grundsätzlich zu berücksichtigen:

- Orientierung des Baugrundstücks / des Hauses zur Sonne, zu Wetterseiten.

- Lage der Konstruktionsteile des Gebäudes aussen oder innen oder auch als Bauteile mit besonderer Beanspruchung.
- Gestalterische und nutzungsmässige Vorgaben mit konstruktiven Folgen, wie Öffnungsbreiten in Wänden, Belastung von Wänden, Spannweiten von Decken.
- Voraussetzungen für die Ausführung wie Grösse und Fachwissen der Bauequipe, Art der zur Verfügung stehenden Maschinen und Werkzeuge, Zufahrtsmöglichkeiten und Platzverhältnisse auf der Baustelle für Lagerung und – allenfalls – Herstellung des Lehmabstoffs.

2 Baumaterial Lehm

2.1 Entstehung von Lehm und Eigenschaften der Tonmineralien

Lehme

Als Lehm wird ein Kies-Sand-Silt-Gemisch mit Ton-Anteil bezeichnet.

Er entsteht aus der Verwitterung und Zertrümmerung von Festgestein zu Lockergestein. Lockergesteine sind Ablagerungen mineralischer und organischer Bestandteile. Das mineralische Lockergestein gliedert sich in bindiges und nicht bindiges Lockergestein. Der Lehm ist ein mineralisches, bindiges Lockergestein.

Lockergestein besteht aus Anteilen von Gesteinspartikeln verschiedener Grösse, sogenannten Fraktionen. Es sind die kleinsten Fraktionen, die Tonpartikel, welche die Bindigkeit des Erdmaterials bewirken und die Eignung von Lehm als Baustoff ausmachen.

Je nach Lagerstätte wird der Lehm den primären Verwitterungsböden oder den umgelagerten Böden zugeordnet. Zu den primären Verwitterungsböden gehört der Berglehm, dessen Vorkommen in der Schweiz jedoch so gering sind, dass er an dieser Stelle nicht näher beschrieben wird.

In der Schweiz findet sich der Lehm vor allem in den umgelagerten Böden. Dazu zählen der Moränenlehm, der Gehängelehm, der Schlick- oder Schwemmlehm, der Seebodenlehm und der Lösslehm, mit jeweils unterschiedlichen Eignungen zum Bauen.

In den oberflächennahen Zonen bis etwa 5 m Tiefe, in Hanglagen bis etwa 10 m Tiefe, sind alle Bodenarten aufgelockert, verwittert, oft organisch verunreinigt.

Moränenlehm	<p>Moränen sind durch Gletscher transportierte eiszeitliche Ablagerungen. Unsortiertes Material in allen Korngrössen ist in wechselnden Anteilen und zufälliger Verteilung vorhanden. Typisch sind Einlagerungen von sortiertem Kies, von Sand und von tonigem Silt.</p> <p>Ein spezieller Morärentyp ist die Grundmoräne, aufgebaut aus besonders feinkörnigem Material mit wenig bis mässigem Tongehalt.</p>
Gehängelehm	<p>Aus Verwitterungsprodukten – nach Rutschungen, Kriechvorgängen – entstandener Lehm, heterogen, aufgelockertes, oft organisch verunreinigtes Material, alle Korngrössen sind möglich.</p>
Seeablagerungen	<p>Im stehenden Wasser abgelagertes Material, ausgehend von Deltabildungen und Einschwemmungen von Zuflüssen. Das Material ist sortiert, die feineren Bestandteile liegen ufer-fern. Die blaugraue bis schwarzgraue Farbe (wenn angewittert: aufgehellte Farbe) ist charakteristisch. Oft finden sich organische (Holz-)Einschlüsse. Es sind Schichtungen aller Korngrössen möglich von Kies über Sand und Silt (alle nicht bindig) bis zu stark bindigem, tonhaltigem Seebodenlehm in dünnen Schichten.</p>
Löss	<p>Vom Wind verfrachtetes, locker gelagertes Material, Korngrössen von Feinsand bis Silt, sortiert, obere Schichtlagen sind meist entkalkter Lösslehm, untere Schichten oft stark kalkhaltig. Meist ungenügender Tongehalt.</p>

Tonpartikel, Tonminerale

Das Material "Ton" kann sowohl als Gesteinspartikel wie auch als Mineral betrachtet werden.

Ton als Gesteinspartikel wird mit seinem Durchmesser, der sog. Korngrösse, von ≤ 0.002 mm definiert. Der Gehalt eines Lehms an Tonen unter diesem Aspekt lässt sich mit der Siebanalyse (s. 2.2, Klassifikation von Lehmen) ermitteln. Es gibt allerdings in Lehmen auch andere Partikel von gleich kleinem Durchmesser, auf welche die Eigenschaften, die den Tonen zugeschrieben werden, nur bedingt zutreffen.

Ton, als Mineral betrachtet, wird auf die kristalline Struktur untersucht. Die wesentlichsten Merkmale der kristallinen Struktur von Tonmineralien sind deren plättchenförmige Gestalt mit negativer Oberflächenladung und die damit zusammenhängende Fähigkeit, Wasser aufzunehmen und Ionen auszutauschen.

Aus "Grundbausteinen", die aneinander gebunden

und in unterschiedlicher Zusammensetzung zu Schichten zusammengebaut werden, entstehen die verschiedenen Tonteilchen in Plättchenform. Die Grundbausteine der Tonminerale sind:

- 4 Sauerstoffatome bilden eine Tetraedereinheit um ein vierwertiges Siliziumion.
- 6 Sauerstoffatome bilden eine Oktaedereinheit um ein sechswertiges Aluminiumion.

Die negative Ladung einer Schicht innerhalb der kristallinen Struktur bewirkt die Bindung an positiv geladene Gegenionen (z.B. Kalium, Kalzium, Natrium, Magnesium, Eisen). Entsprechend ihrer innerkristallinen Struktur unterscheiden sich die einzelnen Tonminerale in ihrem Verhalten gegenüber Wasser und Ionen.

Von der grossen Anzahl verschiedener Tonminerale sind als die Häufigsten zu nennen: Kaolinit, Illit, Chlorit und Montmorillonit.

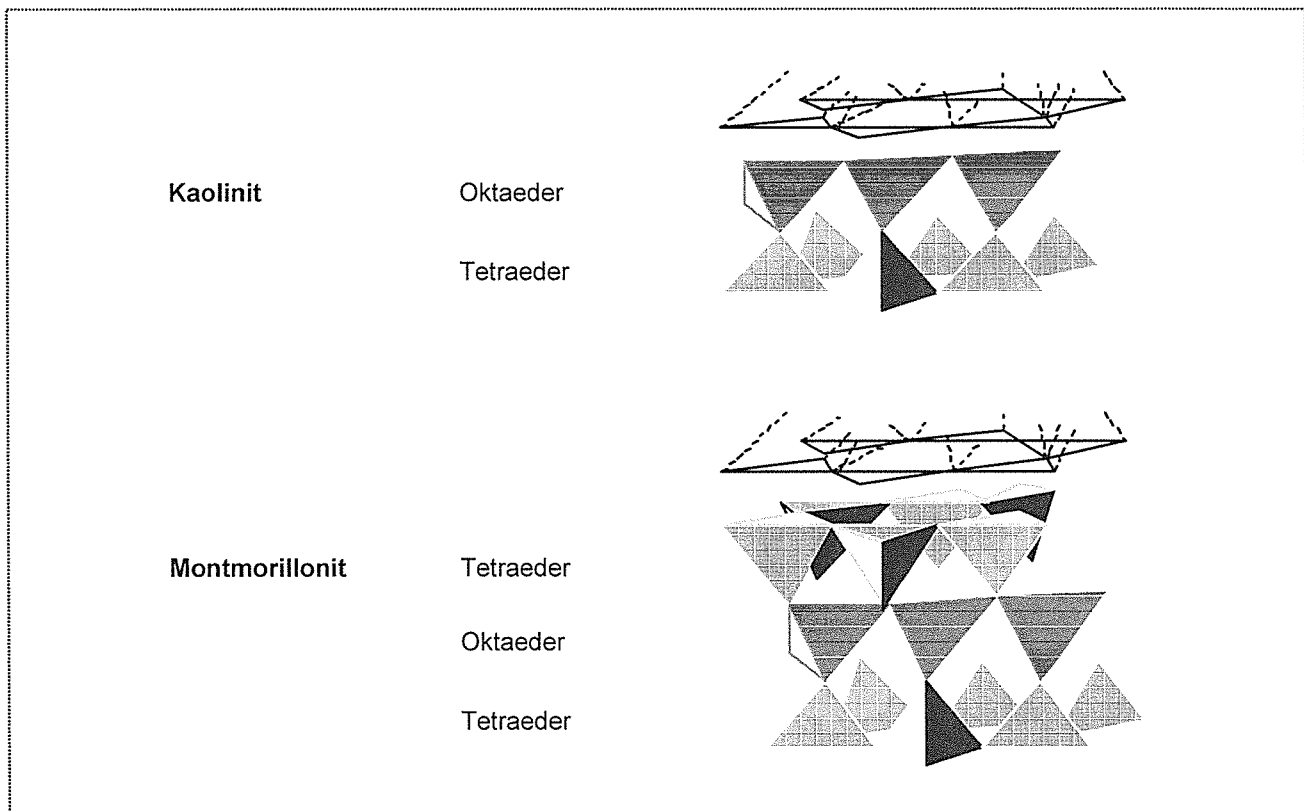


Abb. Schematischer Aufbau der Tonminerale

Ton-Moleküle und Wasser

Es gibt drei Arten der Bindung von Wasser im Ton. Erstens molekular gebunden, zweitens als Oberflächenschicht um jedes Tonplättchen, und drittens als frei bewegliches Wasser dazwischen.

Das molekular gebundene Wasser wird Strukturwasser genannt, es ist Bestandteil des kristallinen Aufbaus eines Tonminerals. Erst bei Hitzeeinwirkung ab 500°C wird dieses Strukturwasser ausgetrieben, das Tonmineral verändert sich chemisch, das Material verfärbt sich rötlich (z.B. beim Ziegelbrennen). Dieser Vorgang lässt sich nicht mehr rückgängig machen.

Die wässrige Oberflächenschicht wird als Kohäsionswasser bezeichnet. Sie ist zu verstehen als Mantel um jedes Tonplättchen. Durch das Kohäsionswasser werden "Wasser-Brücken" zwischen den negativ geladenen Tonoberflächen und den positiv geladenen Gegenionen gebildet. Damit entsteht eine "Bindung" der Tonteilchen aneinander. Das Kohä-

sionswasser macht das Tonmaterial nicht nass, der Ton ist trocken.

Wird dem Tonmaterial mehr Wasser zugefügt, werden diese Wasserbrücken immer länger, sie halten nicht mehr zusammen und es entsteht frei bewegliches Wasser, das Porenwasser. Jetzt wird das Tonmaterial plastisch bis flüssig. Die Übergänge von Porenwasser zu Kohäsionswasser sind allerdings fließend.

Bei der Trocknung entstehen feine Haarrisse, durch deren Kapillarwirkung wieder Wasser aufgenommen werden kann. Die Mengen an Kohäsionswasser und Porenwasser im Ton können beliebig zu- und abnehmen. Auf diese Weise bildet das Ton-Material ein vorzügliches Reservoir zur Aufnahme und Abgabe von Wasser an die umgebende Luft.

Wasseraufnahme und -abgabe bewirken ein Aufquellen, bezw. Schrumpfen des Ton-Materials.

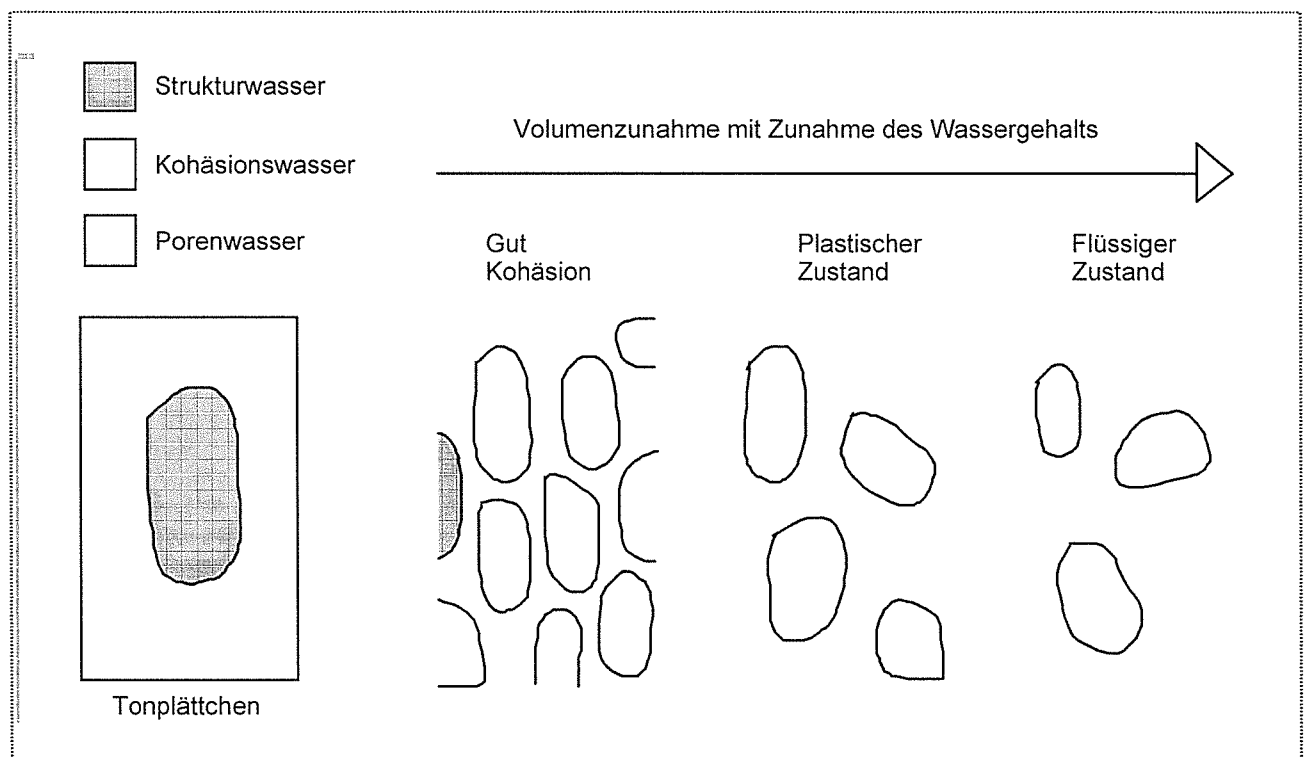


Abb. Schematische Darstellung der Tonplättchen mit Strukturwasser, Kohäsionswasser und Porenwasser.

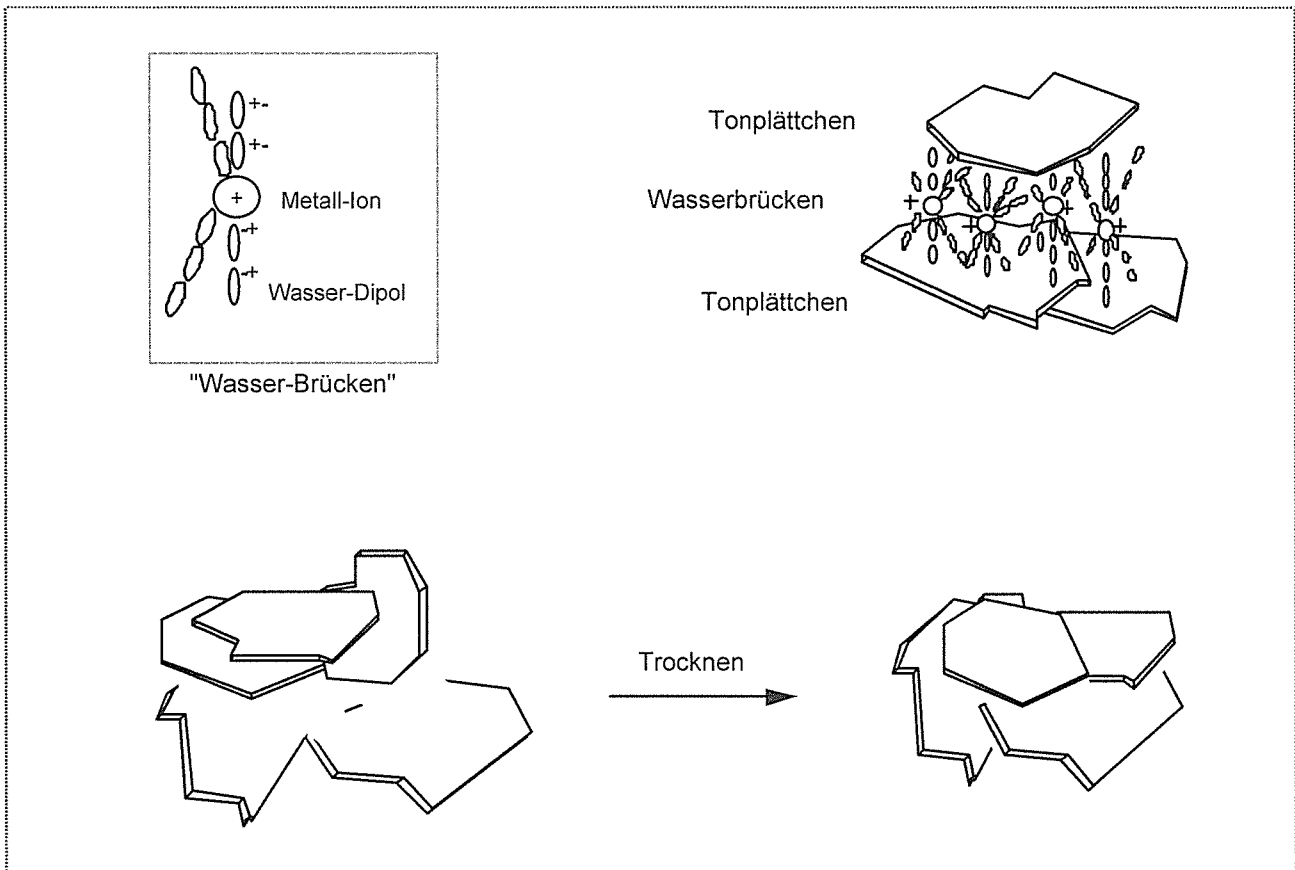


Abb. Schematische Darstellung des Anziehungsmechanismus zwischen Tonplättchen, Wasser und Metallionen, sowie des Schwindvorgangs im Ton.

Bindigkeit

Zwischen den Tonplättchen bestehen Anziehungs- und Abstoßungskräfte, welche von Oberflächenkräften der Moleküle und vom Wassergehalt des Lehms abhängig sind. Die Gesamtheit dieser Kräfte wird als Bindekraft bezeichnet, sie macht die sogenannte Bindigkeit aus.

Wird der Lehm mechanisch durchgearbeitet (geknetet), so kommen die Kräfte durch optimale Durchmischung und Zerkleinerung der Aggregate stärker zur Wirkung.

Lehm mit gleichem Tongehalt, prozentual nach Korngröße beurteilt, ist somit nicht unbedingt gleich stark bindig. Die Bindigkeit eines Lehms ist erstens abhängig von Art und Menge der enthaltenen Tonminerale, zweitens von der enthaltenen Wassermenge und drittens von der Ausrichtung und dem Gefüge der Tonteilchen sowie ihrer Durchmischung mit den größeren Bestandteilen.

2.2 Klassifikation von Lehmen

Vom mengenmässigen Anteil an Ton im Lehm, sowie von der innerkristallinen Struktur der enthaltenen Tonminerale, hängen wesentliche bautechnische Eigenschaften des Materials ab. Diese Eigenschaften sind Bindekraft, Druckfestigkeit, Wasseraufnahmevermögen und Schwinden. Lehme werden deshalb auf diese Fähigkeiten hin untersucht und klassifiziert.

Es wird zwischen lehmbautechnischen und geotechnischen Klassifikations-Kennwerten unterschieden: Erstere klassifizieren nach der Bindekraft (mager/fett), letztere nach Granulometrie (Siebanalyse) und Plastizität (Konsistenzgrenzen nach Atterberg).

Zwischen Bindekraft einerseits und Granulometrie und Plastizität andererseits besteht ein Zusammenhang.

Klassifikation nach Bindekraft

Lehm mit hohem Tonanteil wird als fett bezeichnet. Wenn andere Bestandteile überwiegen, wird er als mager, was dazwischen liegt, als mittelfett bezeichnet. Fette Lehme weisen hohe Bindekraft auf, magere entsprechend niedrigere.

Die folgende Unterscheidungsmethode, ermittelt aufgrund einfacher Feldproben, liefert erste Anhaltspunkte zur Auswahl von Baulehmen.

	mager	mittelfett	fett
Tonanteil	niedrig	mittel	hoch
Wasseraufnahme	gut	mässig	schlecht
Quellen, Schwinden	wenig	mittel	viel
Bindekraft	schwach	mittel	stark

Einteilung der Lehme mager / mittelfett / fett

Feldproben

Die im Folgenden beschriebenen Prüfmethode sind eine Auswahl bewährter Verfahren zur Beurteilung des Tongehaltes, des Anteils von Kies und Steinen sowie zur Überprüfung der Verarbeitbarkeit des Ma-

terials. Eine Kombination verschiedener Versuche und der Vergleich der daraus resultierenden Ergebnisse erhöht die Sicherheit bei der Eignungsbestimmung des Lehmmaterials.

Aussehen, Geruch

Grundsätzlich muss Baulehm frei von Humus, Wurzeln und sonstigen organischen Stoffen sein. Der Ionenhaushalt der Tonmoleküle kann durch Gärungsprozesse, die bei der Verrottung organischer

Bestandteile entstehen, negativ beeinflusst werden. Die Farbe gibt Hinweise auf die Art der Tonminerale. Der Geruch dient zur Feststellung organischer Bestandteile.

- | | |
|---|----------------------------|
| • dunkle Verfärbungen, fauliger Geruch | ∅ organische Bestandteile. |
| • fetter, leicht nussartiger Geruch, keine Verfärbungen | ∅ Lehm, Ton. |

Aufschlammprobe

Versuch zum Feststellen der Aufschlammbarkeit (Wasseraufnahme) und zum Abschätzen des Tonanteils.

Ein Messglas zu ca. 1/4 mit trockenem Probenmaterial füllen. 3/4 mit Wasser auffüllen. Stehen lassen und Zeit messen bis Material sich aufgelöst hat.

- | | |
|--|---|
| • Auflösung sofort bis 1/2 Std. | ∅ Lehmschlämme herstellbar ohne mechanische Einwirkung, eher magerer Lehm. |
| • Auflösung länger als 1/2 Std. oder überhaupt nicht | ∅ Lehmschlämme nur mit mechanischer Einwirkung herstellbar, eher fetter Lehm. |

Anschließend Gefäß mit der flüssigen Probe zuhalten, gut durchschütteln, stehen lassen, nach 1 Std. nochmals durchschütteln, nach 45 Min. die Schichthöhen des abgesetzten Materials messen.

Die oberste Schicht ist der Ton. Die Höhe dieser Schicht zeigt den prozentualen Anteil von Ton und damit die Bindekraft des Materials an.

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| • auf dem Wasser schwimmend | ∅ organische Bestandteile |
| • oberste Schicht | ∅ Ton |
| • zweite Schicht von oben | ∅ Silt |
| • dritte Schicht von oben | ∅ Sand |

Klebeprobe

Zur Unterscheidung von Sand, Silt, Ton.

Das Probematerial mit etwas Wasser anfeuchten und in der Hand durchkneten. Den auf der Hand klebenden Lehm trocknen lassen und anschliessend versuchen, ihn abzustreifen.

- | | |
|---|--|
| • Das Probematerial fühlt sich weich, pastös und seifig an, klebt fest und trocknet krustig an der Hand | ∅ fetter, siltiger Lehm oder Ton |
| • Das Probematerial fühlt sich an wie oben beschrieben, ist jedoch körnig, klebt feucht, haftet trocken | ∅ fetter, sandiger Lehm |
| • Das Probematerial fühlt sich ähnlich wie in den oben beschriebenen Fällen an, lässt sich aber trocken leichter abreiben | ∅ mittelfetter, siltiger / sandiger Lehm |
| • Das Probematerial fühlt sich weich, pastös, aber nicht seifig an, lässt sich nach dem Trocknen von der Hand abreiben | ∅ magerer, siltiger Lehm |
| • Das Probematerial fühlt sich ebenfalls nicht seifig an, es ist ein körniger Anteil deutlich zu spüren | ∅ magerer, sandiger Lehm |

Schüttelprobe

Zur Unterscheidung von Sand, Silt und Ton.

Die Versuchsprobe sollte erdfeucht sein. Das Probenmaterial auf der Handfläche hin und her schütteln und durch Zusammenballen der Hand pressen.

Je nach Material wird die Oberfläche mehr oder weniger glänzend. Eine matte Oberfläche lässt auf fetten Lehm schliessen.

- | | |
|---|---------------------|
| • Die Oberfläche wird sofort feucht und glänzend | ∅ Feinsand |
| • Das Porenwasser erscheint erst nach längerem Schütteln an der Oberfläche und es stellt sich ein schwacher Glanz ein | ∅ siltiger Feinsand |
| • Auch nach längerem Schütteln bleibt die Oberfläche matt | ∅ Ton, siltiger Ton |

Knetprobe

Zur Unterscheidung von fettem, mittelfettem und magerem Lehm.

Die Probe sollte beim Versuchsbeginn erdfeucht sein.

Die Probe wird geknetet und zwischen den Handballen oder auf einer porösen Unterlage (Papier) zu einer dünnen Wurst von 3 mm Durchmesser ausgerollt.

Durch wiederholtes Kneten und Ausrollen wird dem Probenmaterial mehr und mehr Wasser entzogen. Das ist solange zu wiederholen, bis die Wurst beim Ausrollen krümelt.

In diesem Zustand wird die Steifheit der Probe durch Zerdrücken zwischen den Fingern geprüft. Je grösser diese Steifheit, desto grösser ist der Gehalt an Teilchen der Tonfraktion.

- | | |
|---|--|
| • die Probe lässt sich schwer zerdrücken, es gibt keine Risse, bröckelt nicht | ∅ fetter bis mittelfetter Lehm |
| • die Probe lässt sich leicht zerdrücken, es gibt Risse, sie bricht auseinander | ∅ magerer Lehm |
| • die Probe lässt sich nicht mehr formen | ∅ sehr magerer Lehm, kleiner Tongehalt |
| • das Material bleibt weich und schwammig | ∅ starke organische Beimengungen |

Kugelprobe

Zur Unterscheidung von fettem, mittelfettem und magerem Lehm.

Die Probe sollte weich und plastisch sein.

Eine Kugel von 5 cm Durchmesser formen, trocknen lassen.

Die trockene Kugel aus 1 m Höhe auf eine harte Unterlage fallen lassen.

- | | |
|--|---------------------|
| • Die Kugel bleibt ganz | ∅ fetter Lehm |
| • Die Kugel zerbricht in 2-3 Teile, die Bruchränder sind glatt | ∅ mittelfetter Lehm |
| • Die Kugel zerbricht in mehr als 3 Teile, unebene Bruchränder | ∅ magerer Lehm. |

Klassifikation nach Granulometrie und Plastizität

Mit Hilfe der von der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) empfohlenen Laboratoriumsmethoden ist eine genauere Klassifikation möglich. Die hierbei angewendeten Verfahren werden zusammengefasst im Normblatt:

SN 670 008 Klassifikation der Lockergesteine, Laboratoriumsmethode nach USCS.

Die Klassifikation basiert auf folgenden Kriterien:

1. der Kornverteilung mittels der Siebanalyse
2. der Plastizitätseigenschaften und dem Einfluss der organischen Beimengungen anhand der Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach Atterberg (Fließ- und Ausrollgrenzen)

Die Adressen von geeigneten Prüfstellen mit entsprechenden Laboreinrichtungen sind im Anhang (A.4) zu finden.

Sieb- und Schlämmanalyse

Die Gesteinspartikel von Lockergesteinen werden nach ihrer Korngrösse in Fraktionen eingeteilt und nach ihrem prozentualen Anteil bestimmt. Die Korngrössen der Fraktionen fangen bei Steinen an mit über 60mm Ø, gehen über Kies von 2.8 bis 60 mm Ø, Sand von 0.06 bis 2.8 mm Ø, Silt (oder Schluff) von 0.002 bis 0.06 mm Ø, bis hin zu Ton mit 0.002 mm Ø und darunter.

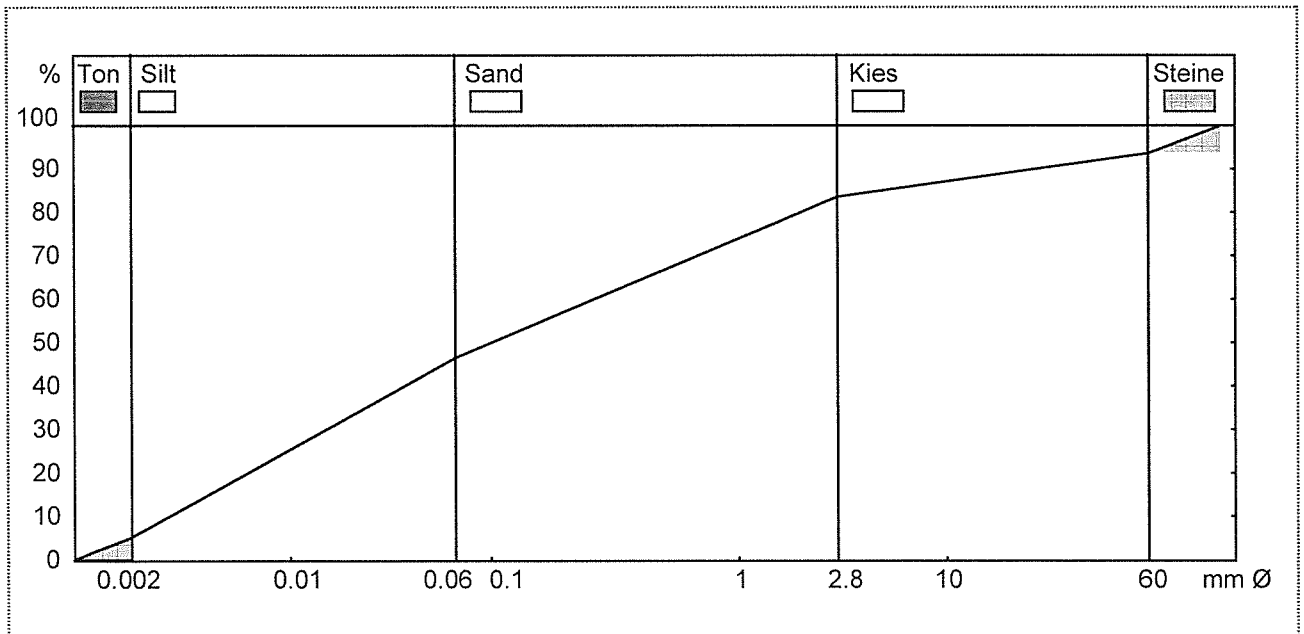
Die Siebanalyse liefert die Bestimmung der Korngrössenverteilung.

Das Verfahren hierzu geschieht nach SN-Norm, die entsprechenden Normblätter sind:

SN 670 810c Mineralische Baustoffe und Lockergesteine. Siebanalyse.

SN 670 816a Mineralische Baustoffe, Schlämmanalyse nach der Aräometermethode.

Das Ergebnis wird in einem Diagramm als Siebkurve dargestellt.



Schema: Siebkurve

Konsistenzgrenzen nach Atterberg

Die Bestimmung der Konsistenzgrenzen geschieht nach Normblatt der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute:

SN 670 345 a Konsistenzgrenzen.

Bestimmt werden:

- Fliessgrenze (W_L)
- Ausrollgrenze (W_P)
- Plastizitätsindex (I_P)

Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Fliessgrenze und dem Tongehalt eines Lehms: Hohe Fliessgrenz-Werte (bei fettem Lehm) bedeuten hohen Tongehalt, niedere (bei magerem Lehm) weisen auf niederen Tongehalt hin. Der Plastizitätsindex ist die Differenz des Wassergehalts eines Lehms an der Fliessgrenze, d.h. am Übergang vom plastischen zum breiigen Zustand und an der Ausrollgrenze, d.h. am Übergang vom erdfeuchten zum

plastischen Zustand:

$$(W_L - W_P = I_P).$$

Dieser Wassergehalt bestimmt das Ausmass der linearen Trockenschwindung und der Verformung beim Trocknungsvorgang. Die Ergebnisse werden in einem sog. Plastizitätsdiagramm aufgezeichnet gemäss Beschrieb unter:

SNV 670 008 Klassifikation der Lockergesteine, Laboratoriumsmethode nach USCS.

Das Plastizitätsdiagramm dient zur Unterscheidung, ob eine Bodenart sich mehr als Silt (unterhalb der A-Linie gelegen) oder mehr als Ton (über der A-Linie verhält). Daraus kann somit die Zuteilung des Lehm-materials aufgrund seiner Feinanteile abgelesen werden.

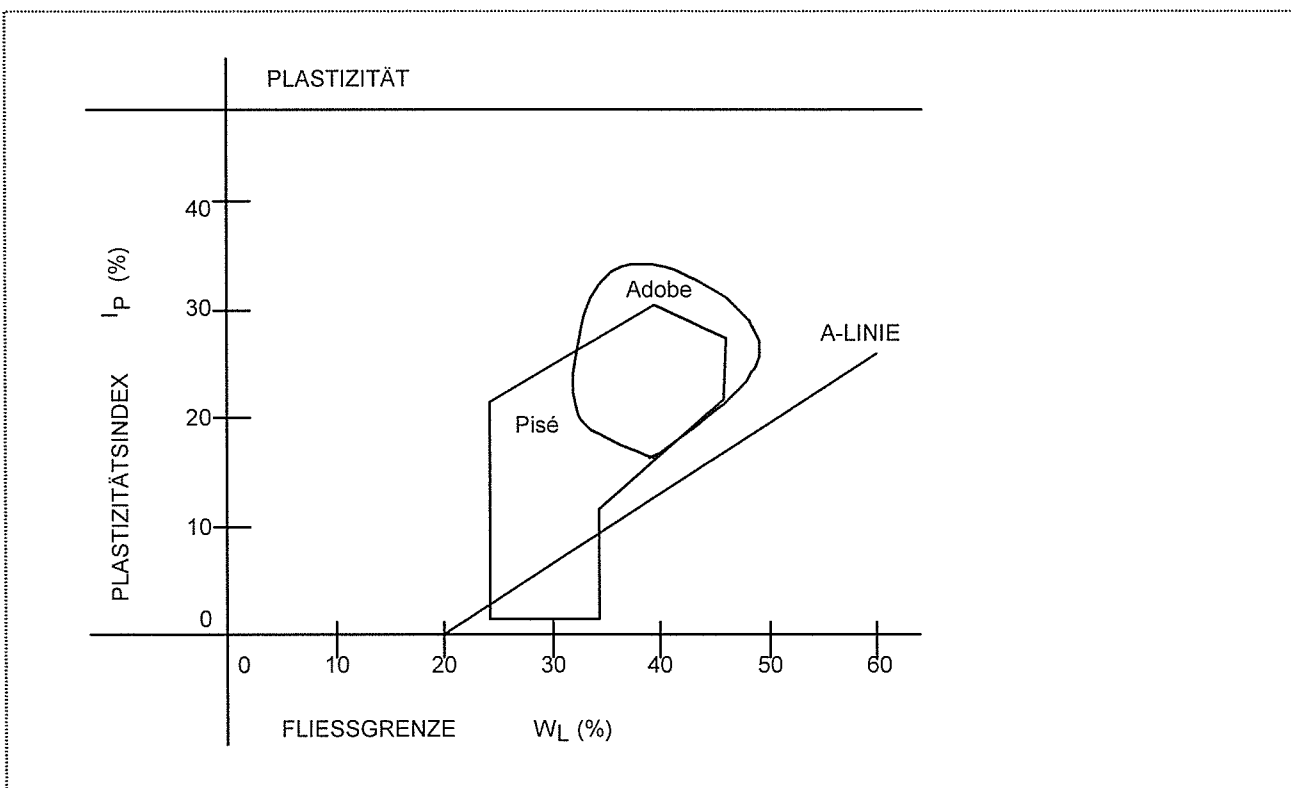


Abb. Plastizitätsdiagramm

2.3 Baulehm, bauphysikalische Anforderungen

Im Folgenden werden die für das Bauen relevanten qualitativen Eigenschaften des Lehms sowie die entsprechenden Verfahren zur Überprüfung derselben beschrieben.

Die Bindekraft kann anhand von Feldproben bereits grob beurteilt werden. Die gewonnenen Ergebnisse lassen erste Entscheidungen zu.

Wenn sich aufgrund dieser ersten Untersuchung die Eignung als Baustoff bestätigt, sollte der Lehm in Laborversuchen je nach Anforderung noch auf Gra-

nulometrie und Bindekraft analysiert werden.

Dies gilt vor allem für seine Verwendung in der Massivbauweise. Aufgrund der Prüfungen im Labor wird auch die allfällige Beimengung von Zuschlagstoffen und Zusätzen bestimmt.

Je nach Lehmbautechnik müssen vom aufbereiteten Lehmbaumaterial Probeteile angefertigt werden, welche weiteren Prüfungen unterzogen werden: Druckversuche, Schwindmass; beim Leichtlehm Verhalten bezüglich Zusammenhalt und Trocknungsdauer an Wandelementen.

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit eines trockenen Baulehms wird durch seine Kohäsion (abhängig vom Tongehalt) und die Kornreibung bestimmt. Für feinkörnige Lehmbaustoffe gilt: Je höher der Anteil an Ton, desto höher die Druckfestigkeit. Bei grobkörnigem Material darf der Tonanteil zur erforderlichen Druckfestigkeit geringer sein (Kornreibung).

Durch geeignete Verarbeitung kann die Druckfestigkeit erhöht werden (aufschlännen, stampfen, kneten, komprimieren). Eine Erhöhung der Druckfestigkeit kann auch durch Beigabe von Zusätzen erreicht

werden. Es sollte aber nicht ausser Acht gelassen werden, dass solche Zusätze andere –oft unerwünschte– Veränderungen im Baumaterial Lehm bewirken können.

Normalerweise genügt die Kenntnis der im einfachen Druckversuch ermittelten Druckfestigkeit. Da in dieser Versuchsanordnung die Querkzugfestigkeit des Materials entscheidend in Erscheinung tritt und gewissermassen "mitgemessen" wird, erübrigt sich eine gesonderte Bestimmung von Zug-, Biegezug- oder Scher-Festigkeiten.

■ Bei tragenden Lehmbauteilen sollte eine Überprüfung der Druckfestigkeit jedenfalls erfolgen. Sie hat im Minimum 2 N/mm² zu betragen.

Messen der Druckfestigkeit

Druckversuche werden nach anerkannten Methoden durchgeführt:

Form und Grösse der Probekörper hängen von der vorgesehenen Lehmbautechnik ab. Als Faustregel gilt: Die kleinste Abmessung der Prüfkörper soll mindestens die 5-fache Maximal-Korngrösse betragen, jedenfalls aber nicht weniger als 5 cm.

Bei den erforderlichen Druckfestigkeiten handelt es

sich um "Grössenordnungen". Es erübrigt sich eine Unterscheidung in Prismen-, Zylinder-, oder Würfel-druckfestigkeit.

Die erforderlichen Druckfestigkeiten verstehen sich als Mittelwerte, wobei der niedrigste Wert einer Messreihe nicht mehr als 20 % darunter liegen darf.

Werden die Prüfkörper gestampft, muss der Druckversuch in der Stampfrichtung erfolgen.

Wassergehalt

Vom Wassergehalt eines Lehms abhängig sind seine Konsistenz, seine Verdichtungsfähigkeit (s.a. Optimaler Wassergehalt), Dampfleitfähigkeit und Hygroskapazität.

Die Bestimmung des Wassergehalts ist für die Beurteilung eines Lehms zum Stampflehmbau von Be-

deutung, da dort mit einem optimalen Wassergehalt gearbeitet werden muss.

Das Vorgehen geschieht gemäss Normblatt der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute:

SN 670 340 b Wassergehalt

Konsistenzen

Die je nach Wassergehalt unterschiedlichen Konsistenzen eines Lehms erfordern eine entsprechende Verarbeitungstechnik.

Bei der Bauausführung wird je nach Lehmbautechnik von der erdfeuchten (bei Stampflehm), plastischen

(bei Adobe), bis breiigen oder flüssigen (bei Leichtlehm) Konsistenz ausgegangen.

Demgegenüber wird als Endzustand am Bauwerk stets die trockene Konsistenz angestrebt; der Lehm bietet dann seine höchste Festigkeit.

KONSISTENZ					KORN-GRÖSSEN
trocken	erdfeucht	plastisch	breiig	flüssig	
					organisch
					kiesig
					sandig
					siltig
					tonig

Tabelle: Eignung von Baulehmen zur Verarbeitung in Abhängigkeit von Lehmbautechnik, Konsistenz und Korngrössen (modifiziert übernommen aus CRAterre "Construire en Terre")

Optimaler Wassergehalt

Der Wassergehalt einer Lehmischung ist dann optimal, wenn mit minimalem Verdichtungsaufwand eine maximale Trockendichte (kg/m^3) erreicht werden kann. Bei zu niedrigem Wassergehalt muss der Verdichtungsaufwand erhöht werden. Bei zu hohem Wassergehalt hingegen kann die Verdichtungsenergie vom Lehm kaum mehr aufgenommen werden, so dass die Trockendichte niedriger wird.

Der optimale Wassergehalt ist vor allem beim

Stampflehmbau (Pisé) wichtig. Nach den Proctorkurven (s. dort) liegt er bei ca. 12.5 %. Wird der Lehm bei höherem Wassergehalt gestampft, muss –nebst einer niedrigeren Trockendichte – auch vermehrt mit Schwundrissen und Setzungen gerechnet werden. Liegt der effektive Wassergehalt mehr als 2% unter dem optimalen Wert, kann mit Stampfen die erforderliche Druckfestigkeit nicht mehr erreicht werden.

Die maximale Trockendichte liegt bei:

- tonigen Lehmen (mehr als 50% Tonanteil) um $2'000 \text{ kg/m}^3$
- sandigen Lehmen (mehr als 50% Sandanteil) um $2'200 \text{ kg/m}^3$
- kiesigen Lehmen (mehr als 50% Kiesanteil) um $2'500 \text{ kg/m}^3$

Proctor-Versuch

Der Verdichtungsversuch nach Proctor ermöglicht die Bestimmung:

1. des Einflusses einer Änderung des Wassergehalts auf die Verdichtbarkeit eines gegebenen Materials.
2. des Wassergehalts, bei welchem sich das Material am stärksten verdichten lässt (optimaler Wassergehalt entsprechend der maximalen Trockenraumdichte).

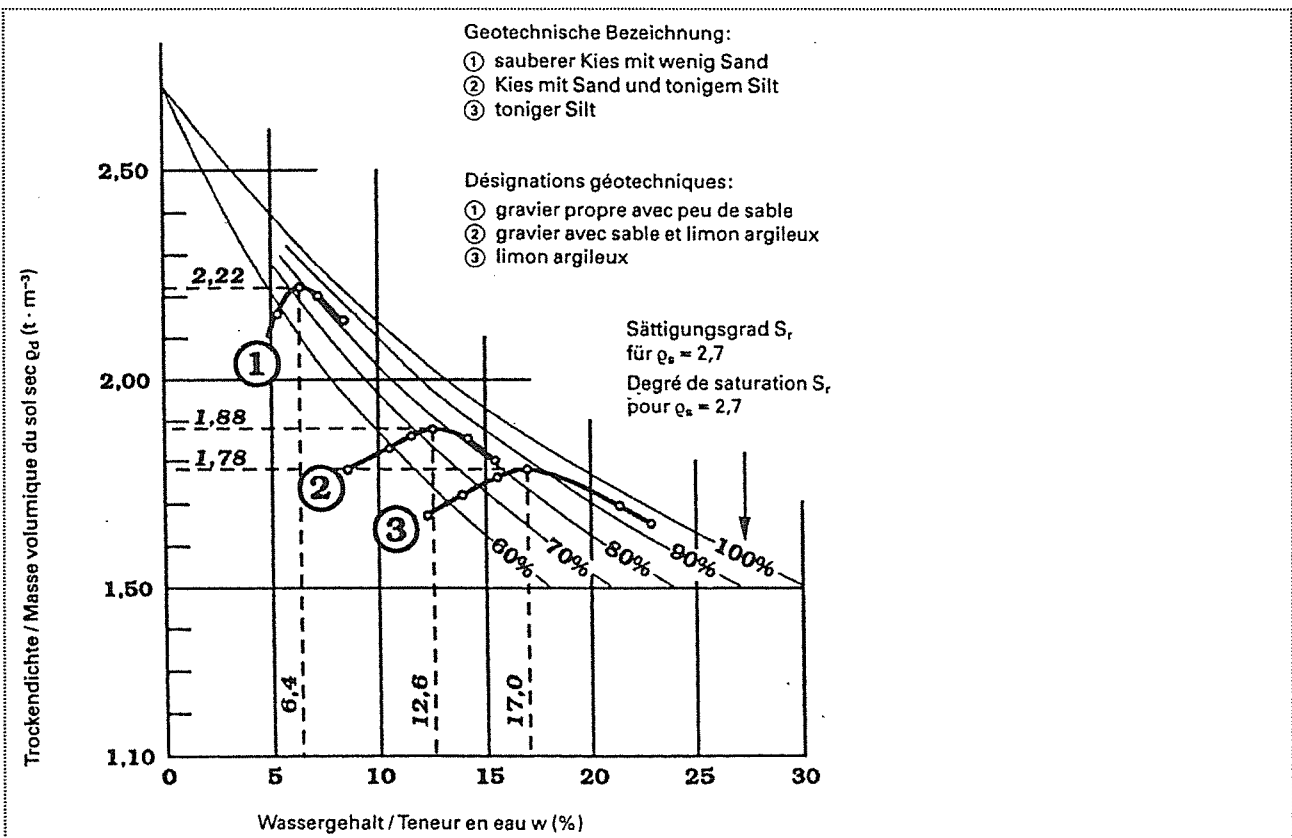
Die Versuchsanordnung geschieht nach Normblatt

der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute:

SN 670 330b Versuche: Verdichtung nach AASHTO

Die mit dem Verdichtungsversuch ermittelten optimalen Werte bilden die Grundlage für die Festsetzung der bei der Bauausführung zu erreichenden Verdichtung. Das Ergebnis wird in Form einer Kurve, der Proctor-Kurve wiedergegeben.

Dieser Versuch ist anwendbar für Lehme, die zum Stampflehbau oder für gepresste Lehmsteine vorgesehen sind.



SN 670 330 b Abbildung 1: Proctorkurven

Dampfleitfähigkeit

Die Diffusionswiderstandszahl μ kennzeichnet den Widerstand, den ein Baustoff der Diffusion der in der Luft enthaltenen Feuchte entgegensetzt. Porenstruktur und Dichte des Lehmbaustoffs beeinflussen die Diffusion.

Der μ -Wert von Leichtlehm ist verglichen mit anderen Baustoffen gleicher Rohdichte relativ klein, der λ_D -Wert relativ hoch. Diese Werte schwanken geringfügig je nach Zuschlagstoff (Stroh, Holzhäcksel, Perlit, Blähton).

Dampfleitfähigkeit λ_D und Diffusions- widerstandszahl μ	Rohdichte ρ	μ Mittelwert	λ_D
	[kg/m ³]	20°C / 60 % r.L.	[mg/m h Pa]
Massivlehm	2'000	10.0 - 11.0	0.07 - 0.06
Leichtlehm	1'200	8.0 - 10.0	0.09 - 0.07
	900	6.0 - 8.0	0.12 - 0.09
	600	5.0 - 6.0	0.14 - 0.12
	300	4.0 - 5.0	0.18 - 0.14

Tabelle: Dampfleitfähigkeit, Diffusionswiderstandszahl

SIA 381/1	ρ	μ Mittelwert	λ_D
	[kg/m ³]	20°C / 60 % r.L.	[mg/m h Pa]
Backsteine	1'100	4.0 - 6.0	0.17 - 0.10
Kalksandstein	1'600	10 - 25	0.07 - 0.03
Gasbetonstein	400	3.0 - 5.0	0.22 - 0.13
Holz (Fichte, Tanne)	450 - 500	20.0 - 40.0	0.04 - 0.02
Holzwoollplatten min.	350 - 500	2.0 - 5.0	0.35 - 0.13

Tabelle: Vergleichswerte anderer Baumaterialien (Quelle: SIA 381/1)

Hygroskopizität

Der Baustoff Lehm verfügt über günstige hygroskopische Eigenschaften. Er kann grosse Mengen an Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen und wieder abgeben und hat damit bessere feuchteregulierende Fähigkeiten als alle anderen Baustoffe.

Dank seiner hygroskopischen Fähigkeiten wirkt der Lehm als Baustoff konservierend. Die starke Bindung der Feuchtigkeit an die Tonplättchen hält im Lehm eingeschlossenes Holz und Stroh trocken und schützt es so über Jahrhunderte vor Pilzen und Schädlingsbefall.

■ Damit die Wechselwirkungen im Wasserhaushalt des Lehms gewährleistet bleiben, dürfen die Ausgleichsprozesse im Lehm nicht beeinträchtigt werden (z.B. durch Beimischung von Zuschlägen mit schlechten hygroskopischen Eigenschaften oder durch diffusionsbehindernde Oberflächenbeschichtungen).

Schwinden

Als Folge der hohen Wasseraufnahmefähigkeit von Ton tritt beim Austrocknen des Lehmmaterials entsprechend starkes Schwinden ein. Bei gleicher Konsistenz nimmt fetter Lehm mit seinem hohen Tonanteil mehr Wasser auf als magerer Lehm.

Bei allzu raschem Austrocknen bewirkt das Phänomen der Trockenschwindung zusätzliche Spannungen, die zu Rissbildung führen, dies muss besonders bei Lehmputzen beachtet werden.

Stark schwindende, d.h. fette oder sehr fette Lehme sind insbesondere für Stampflehmbau ungeeignet.

Um das Schwindmass in Grenzen zu halten, wird Lehm mit hohem Tonanteil durch Zuschlagstoffe gemagert.

Eine weitere Möglichkeit, nachteilige Auswirkungen des Schwind-Phänomens zu umgehen, ist die vorzeitige Herstellung von kleinen Bauelementen, Lehm- bausteinen, deren Trocknungsvorgang gleichmässig erfolgt und deren Schwinden vor dem Einbau stattfinden kann. Dabei wird das Trockenschwindmass von Bedeutung sein, damit die Formen zur Herstellung entsprechend dem gewünschten Fertigmass der Lehm- bausteine bemessen werden können.

Messen des Trockenschwindmasses

Das lineare Trockenschwindmass ist an Probekörpern von min. 20 cm Länge zu bestimmen, ausgehend von einem Wassergehalt, der an der Ausrollgrenze (gemäss Atterberg, 2.2) liegt.

Das Mass der Trockenschwindung ergibt sich aus einem Mittelwert von mindestens drei Proben desselben Lehms. Es kann auch zur Definition von Lehmen beizogen werden. Es gelten folgende Werte:

Längenschwindmass	< 2 %	2 - 4 %	4 - 6 %
Benennung	magerer Lehm	mittelfetter Lehm	fetter Lehm

Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherung

Die Wärmeleitfähigkeit λ und das Wärmespeichervermögen (spezifische Wärmekapazität c) sind abhängig von der Trockendichte ρ . Lehm ohne leichte Zuschlagstoffe weist ein gutes Wärmespeichervermögen auf. Hingegen ist dann die Wärmeleitfähigkeit relativ hoch.

Zur Verbesserung der Wärmedämmfähigkeit kann der λ -Wert für Lehm durch Beigabe von Leichtzuschlägen von ca. 0.9 bis auf ca. 0.1 verringert werden. Der c -Wert für massiven Lehm bewegt sich in der Grössenordnung desjenigen für Backstein oder Beton.

Stoffwerte Wärme	ρ	λ	c
	[kg/m ³]	[W/m K]	[kJ /kg K]
Massivlehm	2'000	0.95	1.0
Leichtlehm	1'200	0.47	1.0
	900	0.26	1.1
	600	0.15	1.2
	300	0.09	1.3

Tabelle: Stoffwerte Wärme in Abhängigkeit der Rohdichte

ρ : Rohdichte

λ : Wärmeleitfähigkeit

c : spezifische Wärmekapazität

"Leichtlehmabau"	ρ	λ	c
	[kg/m ³]	[W/m K]	[kJ /kg K]
Massivlehm	2'000	1.13	1.0
Leichtlehm mit Strohzuschlag	1'200	0.47	1.0
	1'000	0.35	1.1
	800	0.23	1.1
	600	0.17	1.1
	400	0.12	1.2
	300	0.10	1.3

Tabelle: Stoffwerte Wärme aus anderen Quellen (Volhard "Leichtlehmabau")

CRATerre	ρ	λ	c
	[kg/m ³]	[W/m K]	[kJ /kg K]
Adobe		0.46 - 0.81	0.85
komprimierte Blöcke		0.81 - 0.93	0.85
Pisé unstabilisiert		0.81 - 0.93	0.85
mit 8% Zement stabilisiert		0.91 - 1.04	0.65 - 0.85

Tabelle: Stoffwerte Wärme aus anderen Quellen (CRATerre)

SIA 381/1	ρ	λ	c
	[kg/m ³]	[W/m K]	[kJ /kg K]
Backsteine	1'100	0.37	0.9
Isolierbackstein	1'200	0.47	0.9
Kalksandstein	1'600	0.8	0.9
Gasbetonstein	600	0.18	1.1
Holz (Fichte, Tanne)	450 - 500	0.14	2.0 - 2.4
Holzwollplatten min.	350 - 500	0.09	1.6

Tabelle: Vergleichswerte anderer Baumaterialien (Quelle: SIA 381/1)

Schalldämmung

Die schalldämmende Wirkung von Lehmbaustoffen hängt ab von deren Trockendichte (beim Luftschall), bzw. deren Zusammensetzung mit "elastischen" Zuschlägen (beim Körperschall).

Gute Luftschall-Dämmwerte werden erreicht mit

Lehmen von $\rho = 1'000$ bis $2'000 \text{ kg/m}^3$.

Der Körperschall-Dämmwert von Lehm ohne Zuschläge ist wegen der Elastizität im Feingefüge etwas besser als bei härteren Baustoffen von gleicher Trockendichte.

Luftschall-Dämmung	Schichtdicke d in [m] für bewertetes Luft-Schalldämmass $R'w$ von				
	ρ [kg/m ³]	30 dB	40 dB	50 dB	55 dB
Massivlehm	2'000	0.03	0.07	0.20	0.40
Leichtlehm	1'200	0.04	0.12	0.33	0.73
	800	0.04	0.08		
	400	0.08	0.16		

Tabelle: Luftschall, erforderliche Schichtdicke "d" von Lehmbaustoff in Bezug auf erreichbares Schallschutzmass

Die Abschätzung der Luftschalldämmung erfolgt aufgrund der Kurven für einschalige Bauteile nach SIA-Norm 181 Schallschutz im Hochbau (Fig.A2 41: "Das bewertete Luftschalldämmass $R'w$ in Funktion

der flächenbezogenen Masse m'' "). Die Werte für grosse Rohdichten sind der Kurve für Beton, Mauerwerk oder Gips entnommen. Diejenigen für kleine Rohdichten der Kurve für Holz und Holzwerkstoffe.

Feuerbeständigkeit

Feuerbeständigkeit	ρ [kg/m ³]	Schichtdicke	Brandkennziffer	Bauteil
		d [cm]	Brennbarkeit / Qualm	Feuerwiderstandsklasse
Massivlehm (1)	2'000	25		F 180
		15		F 120
		12 ⁵		F 90
Leichtlehm m. mineralischem Zuschlag (2)	900	25		F 180
		12 ⁵		F 120
		10		F 90
Leichtlehm mit organischem Zuschlag (3)	600		6 q .3	F 30
(4)	300		5 .3	—
Lehmputz auf Leichtlehm (5)	1'700	2		F 30

Tabelle: Brandkennziffer und Feuerwiderstand

Brennbarkeitsgrad:	5	schwer entzündbar, schwer brennbar bei Raumtemperatur
	6 q	nicht entzündbar, quasi nicht brennbar
	6	nicht entzündbar, nicht brennbar
Qualmgrad:	.3	keine bis geringe Qualmbildung
Feuerwiderstand:	F...	Die Zahl gibt die Feuerwiderstandsdauer in Minuten an.

Die hier aufgeführten Werte sind Annahmen aufgrund der Beurteilungskriterien der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen VKF (Brandschutzregister 1993). Die folgenden Werte wurden den Annahmen zugrundegelegt:

- (1) Backsteine
- (2) Leichtbeton
- (3) Holzwollplatten mineral. gebunden
- (4) Zellulosedämmung
- (5) Kalkputz

Die Klassierung von Lehmbaustoffen muss durch Prüfzeugnisse und Anerkennung durch die VKF festgelegt werden.

Angaben zu Brandschutz aus anderen Quellen

DIN 4102 und DIN 18951

- Fachwerkwände gelten als F 30–B, wenn die Gefache vollständig mit Lehmschlag (gemeint ist schwerer Leichtlehm mit wenig Strohanteil) ausgefüllt und mindestens einseitig geschlossen verkleidet sind, z.B. mit 15 mm Putz.
- Verdichteter, trockener Lehm mit einem Raumgewicht $\geq 1'700 \text{ kg/m}^3$ in einer Dicke von mindestens 25 cm ist feuerbeständig.

Lehm ohne brennbare Zuschlagstoffe ist als "nicht brennbar" (Brennbarkeitsgrad VI) zu betrachten.

Weitere Materialeigenschaften

Oberflächenbeständigkeit

Oberflächen von Lehmwänden, die regelkonform erstellt wurden, sind zwar widerstandsfähig gegen klimatische Einflüsse, die Gefahr der Oberflächen-

erosion bleibt aber in jedem Fall bestehen. Dies gilt insbesondere bei dauernder Durchnässung oder Auswaschen durch fließendes Wasser.

Lehmoberflächen müssen vor Schlagregen etc. durch konstruktive Massnahmen geschützt werden.

Frostbeständigkeit

Trockene Lehmteile sind frostbeständig.

Das Verbauen von feuchtem Baustoff ist so frühzeitig zu beenden, dass er vor Beginn des Frostes austrocknen kann.

Einfluss auf den Organismus

Die hygroskopischen Fähigkeiten des Lehms wirken günstig auf eine ausgeglichenes Raumklima.

Lehm gibt keine schädlichen Stoffe ab und wirkt geruchsbindend. Er darf somit als gesundheitlich wertvoller Baustoff gelten.

2.4 Zuschlagstoffe und Zusätze

Die nachteiligen Eigenschaften des Lehms als Baumaterial, wie Trockenschwindung, relativ geringe Druckfestigkeit, Wasserempfindlichkeit und ungenügende Wärmedämmung, können mittels Zuschlagstoffen und / oder Zusätzen verbessert werden. Eine solche Veränderung des Lehmabstoffs wird auch Stabilisation genannt, der Lehm wird stabilisiert. Im Hinblick auf mögliche Veränderungen der Materialeigenschaften als Ganzes und aus ökonomischen Überlegungen müssen die Vor- und Nachteile einer solchen Massnahme jedoch gut überlegt werden.

Zuschlagstoffe werden nach ihrem mineralischen (z.B. Sand, Kies, Trass, Ziegelmehl) oder organischen Charakter (z.B. Stroh, Holz, Kork) unterschieden. Zuschlagstoffe können die statische Fe-

stigkeit des Lehms verbessern und sein Schwindmass verringern. Mit organischen Zuschlägen wird die Wärmedämmung erhöht, die Druckfestigkeit und die Feuerbeständigkeit jedoch verringert. Faserige Zuschläge wirken als "Armierung".

Die Wahl der Zuschlagstoffe richtet sich überdies nach der beabsichtigten Bautechnik. Je nach Art und Menge der Zuschlagstoffe entsteht Leichtlehm oder Massivlehm.

Zusätze (z.B. Kalk, Zement, Bitumen, Kunststoffe) sollen den Lehm vor allem vor Erosion schützen. Solche Beigaben verändern aber auch andere Eigenschaften des Lehms, z.B. die Wiederverwendbarkeit oder die Hygroskopizität. Es ist deshalb genau abzuwägen, ob ihr Einsatz angemessen ist.

2.5 Lehmbaustoffe, spezifische Anforderungen

Durch Aufbereitung des Baulehms und seine Stabilisierung mit Zuschlagstoffen und Zusätzen entsteht ein Lehmbaustoff.

Je nach Wahl der Lehmbautechnik gelten für die zur Anwendung gelangenden Lehmbaustoffe die folgenden Anforderungen:

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <ul style="list-style-type: none"> ■ Auf eine homogene Durchmischung aller Bestandteile des Lehmbaustoffs ist zu achten. ■ Die nachfolgend genannten Prüfverfahren sind nach einer allfälligen Stabilisierung des Baustoffs mit Zuschlägen und / oder Zusätzen durchzuführen. | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
|--|---|--|

Lehmbausteine

Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf von Hand hergestellte Lehmsteine.

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <ul style="list-style-type: none"> ■ Die für die Herstellung von Lehmbausteinen verwendeten Lehme sollen mittelfett bis fett sein. ■ Der verwendete Lehm darf keine Bestandteile mit einer Korngrösse über 5 mm enthalten. ■ Von der aufbereiteten Mischung sind Probesteine in der zur Verwendung gelangenden Grösse herzustellen, welche die nachfolgenden Bedingungen erfüllen müssen: ■ Ein Lehmbaustein sollte sich nach der Trocknung nicht werfen und keine Schwindrisse über 50 mm Länge und / oder 3 mm Breite aufweisen. ■ Die minimale Druckfestigkeit der Lehmbausteine beträgt 2 N/mm². Prüfung der Druckfestigkeit an Probesteinen im einfachen Druckversuch. ■ Die Lehmbausteine müssen während der Herstellung einer regelmässigen Kontrolle unterzogen werden. | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
|--|--|--|

Stampflehm

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <ul style="list-style-type: none"> ▮ Die für den Stampflehmbau verwendeten Lehme sollen mager bis mittelfett sein. ▮ Die Siebkurve soll eine gute Mischung verschiedener Korngrößen bis max. 1/8 der Wandstärke oder 50 mm aufweisen. ▮ Zur Weiterverwendung soll der aufbereitete Lehm erdfeucht sein. ▮ Von der aufbereiteten Mischung sind Probewürfel 20/20/20 cm herzustellen. ▮ Die minimal zulässige Druckfestigkeit beträgt 2 N/mm². Prüfung der Druckfestigkeit an den Probekörpern im einfachen Druckversuch. Der Prüf-Druck hat in Stampfrichtung zu erfolgen. ▮ Das Trockenschwindmass soll 2% nicht überschreiten. ▮ Der Lehmstoff muss während des Einbaus einer regelmässigen Kontrolle unterzogen werden. | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
|--|---|--|

Leichtlehm

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <ul style="list-style-type: none"> ▮ Für Leichtlehm muss der Lehmanteil ausreichend bindefähig, d.h. mittelfett bis fett sein, damit er die Zuschlagstoffe gut binden kann. ▮ Die genügende Bindefähigkeit wird anhand von Feldproben festgestellt. ▮ Stabilität, Trocknungsverhalten, Druckfestigkeit und Rohdichte der Leichtlehm-mischung sind an Probekörpern zu überprüfen. Die Probekörper sollen der zur Anwendung gelangenden Konstruktion entsprechen: Leichtlehmsteine oder Leichtlehmplatten in Originalgrösse, Probewandelemente bei direkt eingestampfter Ausfachung. ▮ Der Lehmanteil einer Leichtlehm-mischung hängt ab von der Bindekraft des verwendeten Lehms einerseits und der erforderlichen Rohdichte andererseits. ▮ Die erforderliche Rohdichte eines Leichtlehms richtet sich nach der zu erzielenden Wärmeleitfähigkeit. Rohdichten unter 400 kg/m³ sind aus bautechnischen Gründen nicht zu empfehlen. ▮ Die Druckfestigkeit von Leichtlehm-mischungen ist anhand von Probekörpern nach Austrocknung durch Druckversuch nachzuweisen. Sie soll 0.5 N/mm² nicht unterschreiten. ▮ Enthält der Baulehm Kies und / oder Steine mit Korngrößen über 2 mm, sollen diese ausgesiebt werden, um die Rohdichte möglichst gering zu halten. | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
|--|--|--|

Lehmmörtel für Mauerwerk und Verputz

- | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | ■ Für Mörtel eignet sich jeder mittelfette bis fette Lehm. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ■ Die Mörtelmischung muss eine ausgeglichene Siebkurve aufweisen, d.h. alle Korngrößen beinhalten. Hingegen sollen keine Korngrößen über 5 mm vorkommen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ■ Die Mischung darf nicht zu fett sein mit Rücksicht auf die Verarbeitbarkeit und zur Vermeidung von Schwundrissen. Eine allzu magere Mischung hingegen ergibt keine genügende Bindekraft. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ■ Für Mörtel oder Putz wird der Lehm mit Sand und allenfalls mit weiteren Zuschlagstoffen abgemagert. Lehmputz kann mit geeigneten Zuschlagstoffen armiert werden. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ■ Vom Lehmmörtel sind Probemischungen an Wandelementen auf ihre Eignung als Mauermörtel oder als Verputzmörtel zu überprüfen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ■ Mauermörtel soll eine feste Verbindung mit dem Lehmstein eingehen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ■ Putzmörtel zum Deckputz muss abriebfest sein. Er darf keine Risse aufweisen. | <input type="checkbox"/> |

3 Allgemeines zur Ausführung von Lehmbauten

3.1 Baustoff: Gewinnung, Transport, Aufbereitung und Herstellung

Der zur Anwendung vorgesehene Lehmbaustoff kann auf verschiedene Art beschafft werden. Ist im Zusammenhang mit dem Bauvorhaben ein Aushub vorgesehen, bietet sich das anfallende Erdmaterial zur Verwendung an. Genauso ist die Verwendung von Erdmaterial aus einem Aushub in der näheren Umgebung oder aus der Lehmgrube einer Ziegelei möglich. Andere Quellen für Lehm können bestimmte Kiesabbaugebiete sein, da sich das feinkörnige Auswaschmaterial zur Herstellung von Leichtlehm-mischungen meist gut eignet.

Anhand von Feld- und Laborversuchen wird festgestellt, ob das Material sich zum Bauen eignet. Aushublehm ist oft stark mit Kies und Steinen durchsetzt. Lehm aus Lehmgruben ist zum Bauen meist zu fett.

Wenn die Lehme, die zum Bauen verwendet werden, nicht in der dafür geeigneten Zusammensetzung und

Konsistenz anfallen, müssen sie aufbereitet werden. Die Aufbereitung des Lehms zum Baustoff hat den Zweck, die gewünschte Zusammensetzung in homogener Durchmischung aller Bestandteile wie auch die gewünschte Konsistenz des Baustoffs durch Zerkleinern, Sieben und Mischen zu erreichen. Der Arbeitsaufwand hierfür kann beträchtlich sein. In der Regel müssen dafür Maschinen eingesetzt werden. Insbesondere für die fetten, dichtgepressten Lehme, wie sie in der Schweiz vorkommen, reichen normale Baustellen-Einrichtungen nicht für die Zerkleinerung und zum Aussortieren von Steinen. Solche Lehme müssen mindestens eine Saison lang auswittern oder müssen sonst industriell verarbeitet werden.

Steht kein geeignetes Rohmaterial zur Verfügung, kann Lehmbaumaterial heute in vorgefertigter Form bezogen werden. Das können Lehmbausteine sein, Platten, Fertigmischungen für Verputz oder Mörtel.

3.2 Baustelle

Auf einer Lehmbaustelle erfordern Lagerung und Aufbereitung, Herstellung vor Ort oder Trocknung von Elementen genügend grosse geschützte Flächen.

Während der Bauarbeiten muss ein geeigneter Wetterschutz für Baumaterial und erstellte Bauteile vorgesehen werden.

3.3 Bausaison und Trocknungsdauer

Soweit Lehmbauarbeiten im Freien stattfinden, müssen sie in der trockenen und warmen Jahreszeit bis spätestens Mitte Sommer vorgenommen werden. Um Frostschäden und damit eine Beeinträchtigung der Festigkeit zu vermeiden, müssen die Massiv-Bauten im Herbst ausreichend durchgetrocknet sein. Die jeweilige Trockenzeit ist abhängig von Besonnungsgrad und Klima des Standorts, von der Konsistenz des verwendeten Lehms, von der Art und Menge der Zuschlagstoffe und Zusätze sowie von der Dicke der Lehmbauteile.

Unten aufgeführte Trocknungszeiten sind Schätzungen unter der Annahme folgender Bedingungen:

- Bausaison im Sommer mit normaler Witterung
- Aussenwand, Ost-, Süd-, oder Westlage

Durch zusätzliche Erschwernisse können sich die Zeiten zum Teil wesentlich verlängern:

- Baubeginn im Herbst oder Winter
- besonders feuchte Witterung während der Trocknungszeit
- Aussenwand Nordseite oder Innenwand
- Behinderung der Austrocknung durch Verschaltungen o.ä.

Werden zur beschleunigten Trocknung Bautrockner eingesetzt, ist zu berücksichtigen, dass eine allzu rasche einseitige Austrocknung zu Bauschäden führen kann (Rissebildung).

Lehmbautechnik	Wanddicke d [m]	Trocknungszeit in Wochen
gemauerte Wand mit Lehm- bausteinen	0.25	2 – 4
Stampflehmwand	0.50	4 – 8
Leichtlehmwand mit Stroh	0.30	8 – 16
Leichtlehmwand mit Holz- häcksel	0.30	4 – 10
Leichtlehmsteine mit Stroh Format 15 / 15 / 30 cm		2 – 4
Lehmputz innen	0.01	1 – 2

Trocknungszeiten von Lehmwänden

Saison-unabhängig können Vorbereitungen auf der Baustelle, wie z.B. Aushub der Baugrube, Errichtung der Grundmauern, des Kellers und des Sockels ausgeführt werden. Auch Lehmbauarbeiten im Inneren des Gebäudes sind ganzjährig möglich, wie z.B. nichttragende Wände und Verputzarbeiten. Bei ausreichendem Schutz vor Feuchtigkeit und Frost kön-

nen Lehmbausteine auch im Winter auf Vorrat hergestellt und zum Trocknen gestapelt werden.

Aussenputzarbeiten sollten erst im Folgesommer ausgeführt werden, wenn die Wände ausreichend getrocknet sind. Siehe auch 5.4, Verputzen von Lehmwänden.

3.4 Schutz vor Witterungseinflüssen

Lehm reagiert empfindlich auf Wasser. Fließendes Wasser bewirkt Auswaschungen, eine allmähliche Durchfeuchtung macht Lehmteile instabil. Lehmwände benötigen also einen entsprechenden Schutz von Unten, von der Seite und von Oben und zwar während des Rohbaus sowie nach der Bauzeit.

Der Witterungsschutz während des Rohbaus ist am einfachsten zu erreichen, wenn die Bauarbeiten un-

ter Dach ausgeführt werden. Es kann deshalb sinnvoll sein, eine Skelettbauweise zu wählen. Ein zuerst aufgebautes Holzskelett trägt das Dach, die Lehmteile sind von Anfang an geschützt.

Auch das Baumaterial muss bis zu seiner Verwendung so gelagert werden, dass es gegen Bodennässe und Regen geschützt ist.

Sockel und Dach

- | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | ▮ Grund-, Keller- und Sockelmauern müssen aus Naturstein, Backsteinen, Kalksandsteinen oder Beton hergestellt werden. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ▮ Zum Schutz der Lehmwände gegen aufsteigende Feuchtigkeit muss der Übergang vom Sockel zur Lehmwand mit einer horizontalen Sperrschicht versehen sein. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ▮ Sockelmauern sind über Terrain hochzuführen zum Schutze gegen Durchfeuchtung der daraufgestellten Lehmwände durch Spritzwasser. Höhe des Sockels mindestens 30 cm, in Hanglagen je nach Situation. Sockelvorsprünge unter den Lehmwänden sind zu vermeiden. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ▮ Lehm-Außenwände – auch wenn sie mit entsprechendem Oberflächenschutz versehen sind – erfordern einen ausreichenden Dachüberstand unter Berücksichtigung der Wandhöhe, der Himmelsrichtung, Wind-, resp. Wetterrichtung. Der Dachüberstand hat jedoch mindestens 30 cm an den Traufen und 20 cm an den Giebeln zu betragen. | <input type="checkbox"/> |

Schutz der Wände während des Rohbaus

- | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | ▮ Während des Bauens und bis zur Erstellung des endgültigen Wetterschutzes sind alle Bauteile vor Wasser zu schützen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | ▮ Einer zu raschen Austrocknung ist durch geeignetes Abdecken der frisch erstellten Teile vorzubeugen (Schwundrisse). | <input type="checkbox"/> |

Schutz der Wände nach dem Rohbau

Das Bauwerk und seine Bauteile müssen bis zur völligen Austrocknung vor Regen geschützt, aber dennoch gut durchlüftet sein. Es empfiehlt sich, das Gebäude nicht sofort zu verputzen. Die Oberflächen können durch Aufspannen von Tüchern oder durch Anbringen eines diffusionsoffenen Anstrichs ge-

schützt werden.

Für genaue Angaben zum dauerhaften Schutz der Aussenseite von Wänden mit Anstrichen oder Beschichtungen siehe Kapitel 5, Schutz von Oberflächen.

□ | Die Aussenflächen von Lehmwänden sind nach der Austrocknung zumindest an den Wetterseiten mit einem dauerhaften Wetterschutz zu versehen. □

3.5 Innenausbau

Installationen

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <ul style="list-style-type: none"> ■ Bei Planung und Einbau von Installationen, insbesondere die der wasserführenden Systeme, ist auf die Anforderungen an Lehmteile Rücksicht zu nehmen. Dies gilt besonders für die Art der Befestigung. Es wird empfohlen, die Leitungen auf Lehmteilen offen zu führen oder in speziell zu diesem Zweck eingeplanten Schlitzen. Auch mit dem Entstehen von Kondenswasser an Leitungen, welche mit Lehmteilen in Berührung sind, muss gerechnet werden. ■ Nachträgliches Schlitzen und Bohren grösserer Löcher in tragenden Lehmwänden ist zu vermeiden. | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
|--|---|--|

Wände in Nassräumen

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <ul style="list-style-type: none"> ■ Es dürfen keine tragenden Lehmwände direkt dem Wasser ausgesetzt sein. ■ In Räumen, deren Fussböden der Feuchtigkeit ausgesetzt sind (z.B. Bäder, Küchen), dürfen die Lehmwände erst 10 cm über OK fertiger Fussboden auf einem wasserfesten Sockel (z.B. aus Backstein oder Beton) aufgesetzt werden. | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
|--|---|--|

Befestigungen an Wänden

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> | <ul style="list-style-type: none"> ■ Schwere Lasten sollen nicht direkt an den Lehmwänden befestigt werden, sondern an konstruktiven Holzteilen oder speziell eingelegten Holzankern. ■ Leichtere Lasten, wie Gestelle, Bilder, Lampen, u. ä. können in Massivlehmwänden mit Schrauben und normalen Kunststoffdübeln oder mit langen Eisennägeln befestigt werden. ■ Das Bohren von Löchern in Massivlehmwänden hat schonend zu erfolgen. Es dürfen keine Schlagbohrmaschinen und keine Bohrhämmer verwendet werden. | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
|--|---|--|

4 Lehmbautechniken

4.1 Lehmsteinbau, Mauerwerkstechnik, Adobe

Mit Lehmsteinbau oder Adobetechnik wird das Vermauern von Bausteinen oder Blöcken aus Lehm zu tragfähigen Bauteilen bezeichnet. Bei Anwendung der Mauerwerkstechnik entsteht ein Bauteil in zwei Schritten. Zuerst wird das aufbereitete Material zu Steinen oder Blöcken – in der Regel ohne Lochung – geformt und getrocknet. In einem zweiten Schritt werden diese mit Mörtel aufgemauert.

Das verwendete Material ist mittelfetter bis fetter Lehm allenfalls mit einem geringen Anteil an leichten Zuschlagstoffen. Dadurch entsteht eine hohe Druckfestigkeit und eine gute Wärmespeicherfähigkeit. Aussenwände brauchen jedoch eine zusätzliche Wärmedämmung.

Bei der Verwendung von fetten Lehmen empfiehlt sich für die Aufbereitung der Einsatz von Maschinen.

Der Lehmsteinbau ist eine bekannte Bautechnik, die einen schnellen Baufortschritt ermöglicht. Die Herstellung der Bausteine kann unabhängig von Projekt, Jahreszeit und Witterung erfolgen. Der Schwindprozess wird im einzelnen Baustein vorweggenommen.

Die Wahl des Formats ist grundsätzlich frei. Die Formen, mit denen Lehmsteine hergestellt werden, müssen wegen der starken Trockenschwindung um 3 bis 5 % grösser sein, als das gewünschte Endmass.

Lehmbausteine extrudiert

Diese Bausteine stammen aus Ziegeleien als Vorstufe zum gebrannten Stein, dem Backstein. Lehm von plastischer Konsistenz, wird in einer Strang-Pressen komprimiert und beim Austritt in Steine oder Blöcke geschnitten.

Die Zusammensetzung des Materials und das Herstellungsverfahren sind auf den Backstein und

nicht auf den Lehmbaustein als Endprodukt ausgerichtet. Bei Verwendung eines solchen Steins für Aussenmauern ist Vorsicht geboten. Es sollte einem Lehmstein der Vorzug geben werden, dessen Herstellungsverfahren speziell auf ein ungebranntes Endprodukt ausgerichtet ist (Keine Vakuumverdichtung, minimaler Lochanteil).

Lehmbausteine gepresst

Diese Bausteine entstehen in kleinen Hand- oder Motorpressen. Die Konsistenz des zum Pressen geeigneten Lehms ist vergleichbar mit jener für den Stampflehm, d.h. erdfleucht. Steine über 10 mm sind auszusieben.

Die durch Pressung hergestellten Bausteine sind plastisch kaum noch verformbar und können für die Austrocknung sofort aufeinander geschichtet werden.

Lehmbausteine in Formrahmen gefüllt

Der plastische Lehmstoff wird von Hand in die Formrahmen kräftig hineingeworfen und glatt abgestrichen. Entformt wird unmittelbar danach. Die Oberfläche der Formrahmen muss völlig glatt sein.

Die Lehmbausteine bleiben zum Antrocknen liegen, bis sie fest sind und zum vollständigen Austrocknen aufeinander geschichtet werden können.

Zuschlagstoffe und Zusätze

Der zur Herstellung der Lehmbausteine zur Verfügung stehende fette bis mittelfette Baulehm wird meist abgemagert mit Sand. Es werden oft auch organische Zuschlagstoffe in kleinen Mengen beigemischt (gehäckseltes Stroh, Spreu, Sägemehl).

Ein Zuschlag von grösseren Mengen mineralischer oder organischer Leichtbaustoffe ergibt einen Leichtlehmstein, welcher nicht mehr tragend eingesetzt werden kann (s. 4.4, Ausfachung mit Elementen).

Zusätze, z.B. Zement oder Bitumen werden allenfalls beigemischt zur Erhöhung der Festigkeit oder der Reduktion der Wasserempfindlichkeit. Diese Massnahmen verändern aber auch andere bauphysikalische Eigenschaften des Lehms, wie wärme- und Feuchtigkeitsdurchgang und sind deshalb nicht immer sinnvoll.

Ausführung

- | | | |
|--|---|--|
| | ■ Lehmsteine sind werkgerecht im Verband zu mauern. | |
| | ■ Zum Vermauern von Lehmbausteinen empfiehlt sich die Verwendung von Lehm-
mörtel. Siehe unter 2.5 und 5.3, Lehmmörtel für Mauerwerk und Verputz. | |
| | ■ In Lehmsteinwänden dürfen andere Mauersteine oder Beton nur in einzelnen und
durchgehenden Schichten als Auflager eingebracht werden. | |
| | ■ Die Stoss- und Lagerfugen sind vollfugig, so dünn wie möglich zu mauern. Die
Mörtellage soll bei Stossfugen 1.5 cm und bei Lagerfugen 1 cm nicht überschrei-
ten. | |
| | ■ Gestampfte und gepresste Lehmbausteine sind so zu vermauern, dass die Wand-
last in der Stampf- bzw. Pressrichtung wirkt. | |
| | ■ Lehmbausteine müssen beim Vermauern völlig trocken sein, kein Annässen
vorher. | |

4.2 Stampflehbau, Pisé

Mit Stampflehbau, Pisé, wird das Einstampfen von Lehm zwischen Schalungen bezeichnet. Das verwendete Material ist eher mager und in erdfeuchtem Zustand. Als Schalung dienen Platten aus Holz oder Metall, üblicherweise etwa 2 m breit und 0.8 m hoch. Im Laufe des Baufortgangs wandert die Schalung in horizontalen Schichtenfolgen rund um das Gebäude. So liegt zwischen dem Einstampfen der Schichten übereinander jeweils eine gewisse Zeit-

spanne, die den ausgeschalteten Teilen Zeit zum Trocknen lässt.

Es entstehen grosse Lehmbauteile, die nach dem Austrocknen ein monolithisches Gefüge bilden mit guter Wärmespeicherfähigkeit und ausreichender Druckfestigkeit für tragende Wände. Aussenwände brauchen jedoch eine zusätzliche Wärmedämmung.

Zuschlagstoffe

Der natürlich vorkommende, magere Lehm für gestampfte Lehmwände bedarf keiner Zuschlagstoffe.

Mineralische Zuschlagstoffe werden bei zu fettem Lehm oder bei fehlendem größerem Kornanteil beigemischt. Damit wird die Trockenschwindung des

Baulehms auf ein zulässiges Mass verringert und die Stabilität des Bauteils erhöht.

Nichtmineralische Zuschlagstoffe im Stampflehbau sind in der Praxis noch nicht erprobt und nicht zu empfehlen.

Materialaufbereitung

Die Aufbereitung beginnt bei der Gewinnung des Baulehms. Er wird so gewonnen, dass er möglichst krümelig anfällt, z.B. senkrecht in dünnen Schollen abgestochen. Allenfalls ist der Baulehm auszuwittern. Die Zwischenlagerung am Bauplatz muss so geschehen, dass der Lehm weder austrocknen noch zu nass werden kann. Wenn der Baustoff zu nass ist, muss er durch Lagern und Trocknen gebrauchts-

fertig gemacht werden; wenn er zu trocken ist, geschieht dies durch Berieseln. Ein harter, schwer verarbeitbarer Baulehm kann durch Auswittern krümelig gemacht werden.

Der Baustoff ist dann richtig aufbereitet, wenn er frei von Knollen ist und die Bestandteile gleichmässig verteilt sind.

☐ | Nach längerer Lagerung muss der Lehmstoff vor seiner Verwendung ☐ (nochmals) homogen vermischt werden.

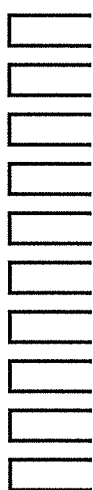

Ausführung

Der Baustoff wird in Schichten von 5 bis höchstens 12 cm in die Schalung geschüttet und dort mit Stampfern verdichtet (von Hand oder motorisiert, z.B. pneumatisch).

Mehrere Schichten eines Arbeitsgangs bilden ein Mauerteil mit einer Höhe von maximal 0.8 m und einer Länge von 1-2 m, je nach Länge der Schaltafeln. Danach werden die Schaltafeln horizontal versetzt und das nächste Mauerteil direkt daran anschliessend hochgeführt. Die Eckverzahnung von Mauerteilen kann mit einer Kalkmörtellage zusätzlich verstärkt werden.

Wird die Stampflehmwand später verputzt, kann am Rand der Schalung zur besseren Haftung des Putzes Kalkmörtel oder eine Reihe von Steinen, zwischen den einzelnen Stampfschichten, eingebracht werden. Diese Zwischenschichten bewirken jedoch keine höhere Festigkeit.

Wandöffnungen werden durch gut verstreute Einsatzlehren ausgespart. Gleichzeitig mit der Schalung müssen auch die Einsatzlehren entfernt werden, um den Schwindprozess beim Trocknen nicht zu behindern. Kleinere Öffnungen können nachträglich mit Beil oder Säge herausgearbeitet werden.

- | | | |
|--|---|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> ■ Die Stampf-Schläge sind systematisch und gleichmässig so zu verteilen, dass jede Stelle voll erschüttert und verdichtet ist, und dass sich keine Stelle durch zuviele Schläge wieder lockert und entmischt. ■ Die gestampfte Fläche muss eben und waagrecht sein. ■ Der Lehmstoff darf nicht am Stampfer kleben; wenn er klebt, ist er zu fett oder zu feucht und es entstehen Vertiefungen in der gestampften Fläche. ■ Vertikale Arbeitsfugen (Anschlüsse von einem Stampfabschnitt zum nächsten) sind unzulässig über Wandöffnungen und in Wänden, die kürzer als 2.50 m sind. ■ Tragende Stampflehmwände müssen wegen der Trockenschwindung gleichzeitig hochgeführt werden. Ist dies, z.B. bei längeren Gebäuden, nicht möglich, müssen durchgehende, senkrechte Trennfugen angeordnet werden. Die Wandenden an diesen Trennfugen sind mit Querwänden zu verankern. ■ Die einzelnen Mauerteile müssen sich über Eck miteinander verzahnen. ■ Die Mauerteile müssen zur Verfestigung mindestens einen Tag lang ruhen, bis der nächste Mauerteil darauf gesetzt werden kann. |  |
|--|---|--|

4.3 Lehmausfachung gemauert

Die Ausfachung von Skelettbauwerken kann auch in Mauerwerkstechnik mit Lehmbausteinen erfolgen. Es gelten sinngemäss dieselben Bestimmungen wie sie für den Lehmsteinbau unter 4.1 aufgeführt sind.

Wie bei den Massivbauweisen ist hier eine zusätzliche Wärmedämmung der Aussenwände vorzusehen.

Eine Verankerung des Mauerwerks mit der Konstruktion empfiehlt sich. Sie sollte gleitend ausgeführt sein.

4.4 Leichtlehm-Ausfachung

Bei dieser Technik wird der Leichtlehm als nichttragendes, raumabschliessendes Ausfachungsmaterial verwendet. Die Lasten müssen über ein unabhängiges Tragwerk abgeleitet werden.

Leichtlehm ist eine Mischung von Lehm und leichten Zuschlagstoffen, die das spezifische Gewicht des

Lehms herabsetzen, seine Wärmedämmeigenschaften verbessern und das Schwindmass reduzieren. Aussenwände in Leichtlehm können deshalb ohne zusätzliche Wärmedämmung hergestellt werden.

Die rauhe Oberfläche der getrockneten Leichtlehmischung bildet einen griffigen Putzgrund.

Zuschlagstoffe

Als organische Zuschlagstoffe eignen sich Stroh, Schilf, Holzhäcksel, Holzwolle, Korkschrot. Weitere pflanzliche Bestandteile sind möglich.

Als mineralische Zuschlagstoffe kommen Blähton, Perlite und ähnliche Materialien in Frage.

Bei Verwendung von Stroh als Zuschlagstoff ist zu

beachten, dass die Länge der Halme ungefähr der Dicke des Bauteils entspricht. Das Stroh sollte stabil und reissfest sein. Am besten eignen sich Weizen- und Roggenstroh.

Die nachfolgend aufgeführten Mischungsverhältnisse gelten nur als ganz grobe Anhaltswerte.

Wärmeleitfähigkeit Leichtlehm trocken	Zuschlagstoff trocken:	Lehm krümelig	Lehm zu Wasser
λ	Stroh in Ballen	m^3	Verhältnis
0.17	1	0.1	1:1
0.35	1/2	0.1	2:1
λ	Holzhäcksel, Korkschrot, Blähton, Perlit in m^3	m^3	Verhältnis
0.17	0.2	0.1	3:1
0.35	0.1	0.1	4:1

Die Art und Menge des Zuschlagstoffs richtet sich nach den geforderten Wärmedämmwerten bzw. nach der vorgesehenen Wandstärke. (Werte für Wärmedämmung und -speicherung: Tabelle unter A.2, Stoffwerte Wärme).

Zur Herstellung der Leichtlehmischung soll möglichst wenig Wasser verwendet werden, um die Trocknungszeiten zu verkürzen.

Die Mischung muss an Probestücken einem Prüfverfahren unterzogen werden.

Materialaufbereitung

Die Materialaufbereitung erfolgt in zwei Arbeitsgängen. Der verwendete Lehm muss mit Wasser zu Brei oder zu einer Schlämme verflüssigt und anschließend mit den Zuschlagstoffen vermischt werden.

Hat die Aufschlammprobe (s. 2.2, Feldproben) ergeben, dass der Lehm sich nicht ohne weiteres zu einer klumpenfreien Schlämme aufarbeiten lässt, so muss er vorher ausgewittert oder eingesumpft werden, oder er wird im trockenen Zustand zerkleinert. Diese Massnahmen erleichtern die Arbeit des Aufschlammens. Je fetter ein Lehm, desto wahrscheinlicher ist es, dass er einer solchen Aufbereitung bedarf.

Das Einrühren zur Schlämme kann von Hand, mit einem Rührwerk oder mit Zwangsmischern erfolgen. Je nach Mischverfahren und gewünschter Rohdichte, kann die Konsistenz der Schlämme variiert werden. Eine dünne Schlämme lässt sich gut giessen, spritzen und mit den Zuschlagstoffen vermischen. Sie ergibt ein leichteres, besser wärmedämmendes

Material. Eine dickflüssige Schlämme umhüllt die pflanzlichen Halme in dickeren Schichten und ergibt ein schwereres, besser wärmespeicherndes und schalldämmendes Material. In jedem Fall ist darauf zu achten, dass der Wassergehalt der Schlämme möglichst gering gehalten wird, denn er beeinflusst in hohem Masse die Trocknungsdauer. Stroh als Zuschlagsstoff benötigt eher eine flüssige Schlämme, Holzschnitzel, Korkschat oder mineralische Leichtstoffe eine eher dicke Schlämme breiiger Konsistenz.

Die Leichtzuschläge lassen sich mit der Lehmschlämme am besten maschinell vermischen. Eine Ausnahme bildet das Stroh, das sich schlecht in Maschinen verarbeiten lässt. Das Mischen des Strohs mit der Schlämme kann auf zwei Arten geschehen: durch Übergiessen des Strohs mit der Schlämme (Giesskanne, Pumpe) oder durch Einsumpfen des Strohs in der Schlämme (Trog). Vorgängig müssen die Strohhalme gut gelockert werden, um sog. "Nester" beim Einbau zu vermeiden.

Es ist auf gute Durchmischung von Lehmschlämme und Leichtbaustoff zu achten.

Vor der Weiterverwendung muss die Mischung 6 bis 24 Stunden lang mauken.

Ausführung

Zur Ausfuchung eignen sich alle üblichen Holzkonstruktionen. Allenfalls muss die Fachbreite durch eine Hilfskonstruktion verkleinert werden.

Bei einem Neubau ist es sinnvoll, die Holzkonstruktion auf den Arbeitsvorgang und die besonderen Bedürfnisse der Leichtlehm-Ausfuchung zu optimieren.

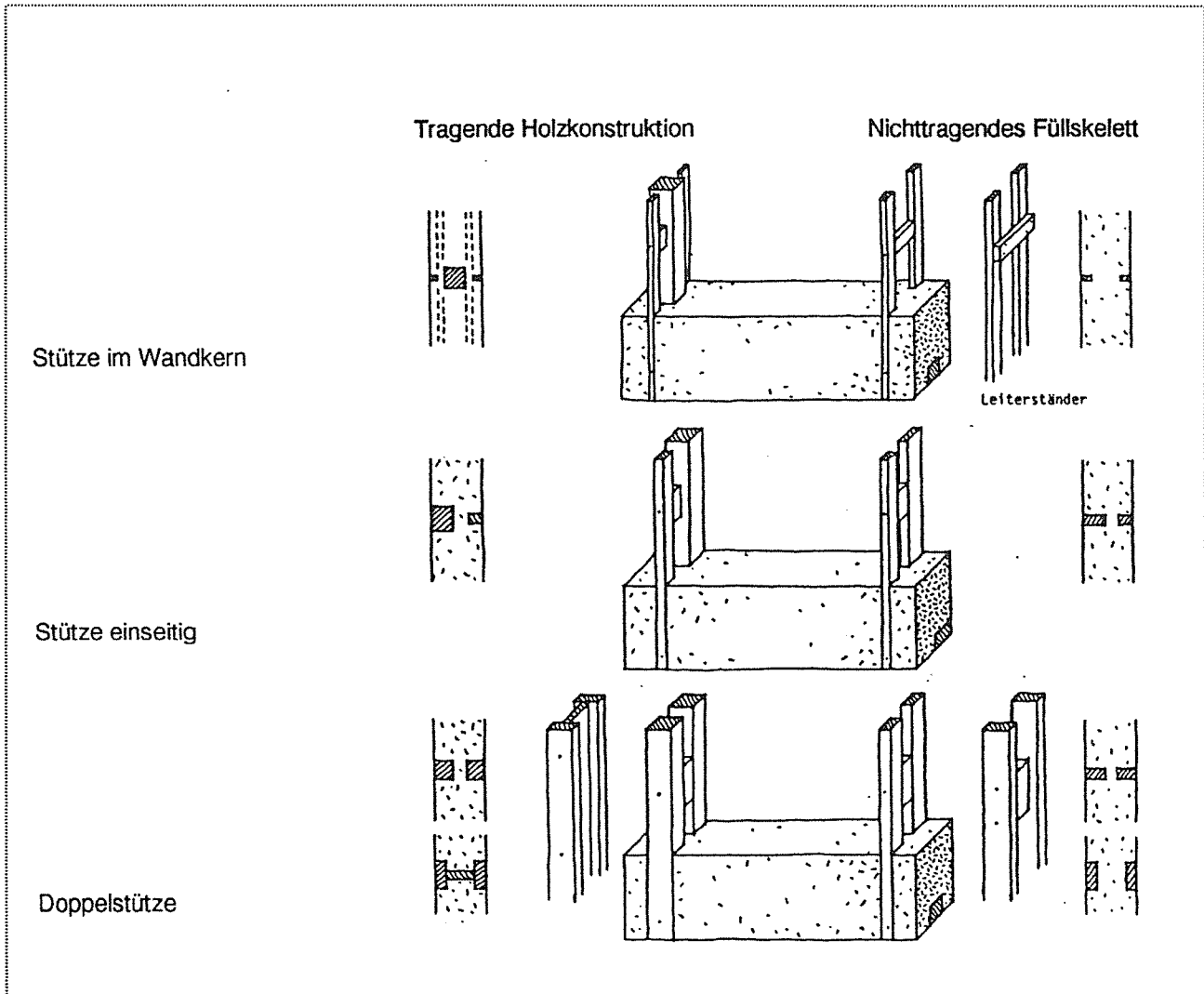
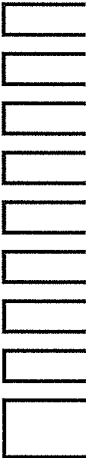



Abb. Zum Leichtlehm-bau konzipierte Holzkonstruktion (Quelle: F. Volhard, Leichtlehm-bau)

In die Ausfachung direkt eingestampft

Zum Stampfen der Wände wird eine bewegliche Wander- oder Kletterschalung benutzt, welche an der Holzkonstruktion des zu bauenden Teils entlang geführt wird.

Beim Trocknen der Wand können Setzspalten entstehen, die später mit Leichtlehm nachgestopft werden müssen.

- | | | |
|---|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> ■ Sind die Abstände der tragenden Holzkonstruktion grösser als die maximal zulässige Fachbreite von 1.20 m, muss ein nichttragendes, leichter dimensioniertes Füllskelett eingebaut werden. Einlagen von horizontalen Holzlatten in die Ausfachungsmasse erhöhen ebenfalls die Stabilität. ■ Horizontal oder schräg verlaufende Teile der Konstruktion müssen sorgfältig und dicht unterfüllt werden. Ebenso sind alle Ecken gut zu füllen. ■ Bei organischen Zuschlägen kann sofort ausgeschalt werden. Bei mineralischen Zuschlägen muss das Bauteil bis zum Antrocknen einige Zeit in der Schalung bleiben. Aufschluss geben die Untersuchungen im Rahmen des Prüfverfahrens. ■ Die Schaltafeln sollen die bereits gestampfte Wand vertikal um ca. 25 cm überlappen, damit die nachfolgenden Stampfarbeiten die Wand nicht deformieren. ■ Insbesondere bei Leichtlehm mit organischen Zuschlägen ist die vollständige und möglichst ungehinderte Austrocknung der Bauteile wichtig. Die Wand sollte vorher weder verputzt noch durch irgendwelche Oberflächenabschlüsse oder Verkleidungen am Austrocknen gehindert werden. |  |
|---|--|---|

Ausfachung mit Elementen

Die Leichtlehm-masse wird in vorgefertigte Formen aus Holz, ev. auch Metall eingefüllt und verdichtet. Das Element kann sofort entformt und zum Trocknen ausgelegt werden. Da Leichtlehm praktisch keine Schwindung aufweist, entsprechen die Innenmasse der Formen den Massen der getrockneten Elemente.

Leichtlehmblöcke und -Platten haben eine relativ

kurze Trocknungszeit. Es gelten jedoch auch hier die Grundsätze der guten Umlüftung beim Austrocknen.

Solche Wände sind rascher trocken, weil fertig getrocknete Elemente eingebaut werden. Sie können eher verputzt werden.

Leichtlehm-Elemente lassen sich mit Sägen schneiden.

Ausfachung mit vermauerten Blöcken

Das geringe Gewicht des Leichtlehms erlaubt für die Leichtlehm-Blöcke grössere Formate als für die Lehm-bausteine mit Schwerlehm. Übliche Masse im 12.5 cm Modul erleichtern Vermauerung, Berechnung und Planung.

Die Blöcke werden wie die Lehm-bausteine mit Mörtel in die Gefache gemauert. Eine Verankerung mit der

Konstruktion empfiehlt sich. Sie sollte aber gleitend ausgeführt werden, z.B. durch Anbringen einer Führungs-latte an der Konstruktion und Einbau von Leichtlehm-Blöcken, die mit einer Führungsnut versehen sind.

Mörtel siehe 2.5 und 5.3, Lehmmörtel für Mauerwerk und Verputz.

Einbau von Wandelementen und Platten

Unter Platten sind Elemente zu verstehen, deren kleinstes Mass (Dicke) 1/4 der Breite nicht überschreitet. Der Handlichkeit wegen empfiehlt es sich, die Platten nicht zu gross herzustellen. Eine Leichtlehmplatte von 400 kg/m^3 mit Abmessungen von $1 / 0.5 / 0.2 \text{ m}$ wiegt beispielsweise 40 kg .

Platten benötigen zur Stabilität eine Aussteifung,

z.B. mit Holzlatten, die bei der Herstellung der Platten eingelegt werden.

Die Platten können mit diesen Aussteifungslatten an die Holzkonstruktion angeschraubt werden oder sie können, an Holzleisten angeschlagen, zwischen die Konstruktion eingelassen werden.

Die Stabilität von Leichtlehmplatten ist mit Probestücken zu überprüfen.

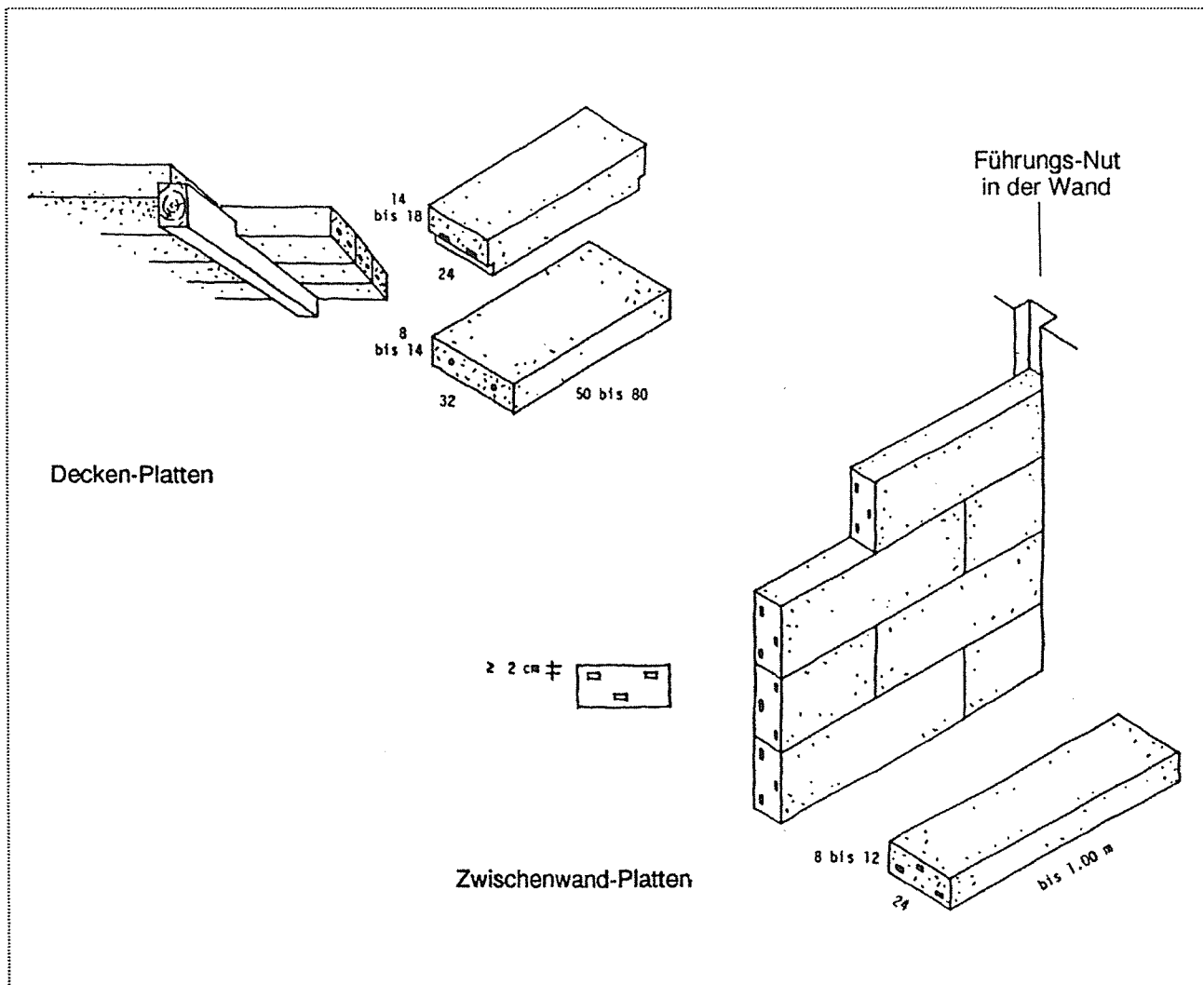


Abb. Leichtlehmplatten (Quelle: F. Volhard, Leichtlehmbau)

4.5 Bemessung von Lehmwänden

Massivbauteile

- ¶ Bei Massivbauweisen müssen die tragenden Lehmteile eine ausreichende Druckfestigkeit und Steifigkeit aufweisen.
- ¶ Sämtliche Lehmteile müssen den energetischen, lärmtechnischen und feuer-technischen Anforderungen entsprechen.

Massivbau, tragend

- ¶ Diese Lehmbaueregeln lassen höchstens 2 Geschosse zu, sowohl für Mauerwerk, als auch für Stampflehm.
- ¶ Eine freie Traghöhe von 3.50 m soll nicht überschritten werden.
- ¶ Die Spannweiten zwischen tragenden Lehmwänden sollen 5 m nicht überschreiten.
- ¶ In besonderen Fällen, welche über die hier festgelegten Regeln hinausgehen, gelten bei Adobe bzw. Pisé die Normen für Mauerwerk bzw. Beton sinngemäss. Die entsprechenden Nachweise sind zu führen.

<input type="checkbox"/>	¶ Minimale Wandstärken für Aussenwände und tragende Innenwände:		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Mauerwerk:	1 Geschoss	20 cm
<input type="checkbox"/>		unteres Geschoss von zweien	30 cm
<input type="checkbox"/>	Stampflehm:	1 Geschoss	30 cm
<input type="checkbox"/>		unteres Geschoss von zweien	50 cm
<input type="checkbox"/>	¶ Zulässige Nutzlast		3 kN/m ²
<input type="checkbox"/>	¶ Zulässige Druckspannungen für $\rho = 1600 - 2200 \text{ kg/m}^3$		
<input type="checkbox"/>		Druckfestigkeit	Zul.Druckspannung
<input type="checkbox"/>		2 N/mm ²	0.3 N/mm ²
<input type="checkbox"/>		3 N/mm ²	0.4 N/mm ²
<input type="checkbox"/>		4 N/mm ²	0.5 N/mm ²

Anschluss von Innenwänden und Decken beim Massivbau

- ¶ Aussteifende Wände müssen mit den auszusteifenden belasteten Wänden gleichzeitig nach oben geführt werden. Wenn andere Innenwände nicht gleichzeitig oder nicht in der gleichen Bauart wie die Aussenwände gebaut werden, muss ein geeigneter Verbund mit der Aussenwand gewährleistet sein.
- ¶ Deckenaufleger sind so auszubilden, dass die Deckenlast symmetrisch und gleichmässig auf den ganzen Wandquerschnitt übertragen wird. Eine exzentrische Belastung der Wände ist zu vermeiden.

Öffnungen in Massivlehmwänden

- | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Die Abstände zwischen Öffnungen sollen mindestens 0.75 m betragen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Einsatzlehren für Öffnungen müssen gleich nach Erstellung der Wände entfernt werden, um das Setzen der Wände infolge Trockenschwindung nicht zu behindern. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Gestampfte Fenster- und Türstürze müssen armiert werden. Zur Armierung werden Holzlatten (Kantenlänge 4-5 cm) im Abstand von 10 cm nebeneinander und um die halbe Öffnungsweite auf der gestampften Mauer aufliegend eingebaut. Die untere Überdeckung soll mindestens 12.5 cm betragen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Leibungen aus Lehm bei Aussenwänden, die der Witterung ausgesetzt sind, sollen vermieden werden. | <input type="checkbox"/> |

Ausfachungen

- | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Bei Skelettbauweisen müssen die Lehmbauteile lediglich auf Eigentragfähigkeit dimensioniert werden. Die Tragkonstruktionen werden entsprechend dem verwendeten Baumaterial auf herkömmliche Art bemessen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Sämtliche Lehmbauteile müssen den energetischen, lärmtechnischen und feuer-technischen Anforderungen genügen. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Bei der Dimensionierung der Tragkonstruktion ist zu beachten, dass die Last des feuchtem Ausfachungsmaterials grösser ist als das Gewicht des Lehms nach der Austrocknung. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Die Last der Ausfachung muss geschossweise auf das Tragskelett übertragen werden. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Die Stabilität der Wände während des Einstampfens der Leichtlehmischung in die Schalung muss gewährleistet sein. Dies kann durch den Einbau von Verstrebungen und die Anpassung der Gefachbreiten geschehen. | <input type="checkbox"/> |

5 Schutz von Oberflächen

5.1 Oberflächenschutz, allgemeine Anforderungen

Für den Oberflächenschutz beschränken sich diese Regeln auf allgemeine Angaben. Für die Behandlung von Oberflächen sind im Bauwesen in neuster Zeit sehr viele Technologien und Materialien entwickelt worden. Ihre Eignung für Lehmbauten muss erst überprüft werden. Ausführliche Regeln zu diesem Aspekt müssen noch erarbeitet werden.

Die Oberflächen der Lehmwände müssen vor mechanischem Abrieb und der Beeinträchtigung durch Wasser geschützt werden. Einerseits soll dieser Oberflächenschutz abschirmen und stabil bleiben, andererseits muss er sich der Ausdehnung von Lehm anpassen und dampfdurchlässig sein. Eine luftdichte Ummantelung verhindert die Feuchtere regulierung der Lehmwände.

- | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | █ Ein geeigneter Schutz der Wandflächen ist zwingender Bestandteil jedes Lehm-
baues. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | █ Erste Massnahme ist der konstruktive Schutz durch Vordächer u.ä., der grund-
sätzlich und unabhängig von einer weiteren Behandlung der Lehmoberflächen zu
erfolgen hat. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | █ Zum weiteren Schutz der Oberflächen sind in erster Linie Imprägnierungen, Anstri-
che, Putze und Verschalungen die geeigneten Mittel. Ein derartiger Schutz darf nie
diffusionsdicht sein. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | █ Innenwände sollen eine abriebfeste, je nachdem überstreichbare oder tapezierba-
re, in Nassräumen unter Umständen auch eine wasserfeste Oberfläche erhalten. | <input type="checkbox"/> |

5.2 Anstriche und Imprägnierungen

Anstriche sind deckende Flüssigkeiten, welche beim Trocknen abbinden und eine Wand, zumindest oberflächlich, schützen. In Innenräumen genügt ein Anstrich als geeignete Oberflächenbehandlung für Lehmwände. Aussenseitig erhalten Lehmwände durch einen Anstrich zumindest vorübergehend einen Schutz, z.B. bis der definitive Wetterschutz angebracht wird. Neben dem Schutzeffekt bieten Anstriche natürlich auch die Möglichkeit einer farblichen Gestaltung von Lehmoberflächen.

Als sinnvoller, einfachster Anstrich bietet sich eine Lehmschlämme an, aus Lehm, Sand und Wasser gemischt. Diese wird mit Bürste oder Pinsel auf die trockene Lehmwand aufgetragen, die Wand wird "geschlänmt". Ausserdem kommen Kalk- oder Krei-

de-Anstriche, andere mineralische Anstriche und diffusionsoffene Dispersionen in Frage.

Unter Imprägnierungen sind Flüssigkeiten zu verstehen, die meist klarflüssig sind, die oberste Schicht von Lehmflächen durchdringen und diese beim Abbinden verfestigen und wasserabweisend machen. Imprägnierungen von Aussenwänden kommen vor allem für die Wetterseiten in Frage. Bei Innenwänden eignen sie sich für Nassräume.

Als Imprägnierungen für Lehmwände kommen Wasserglas, Leinölmischungen, Kaseinimprägnierungen in Frage. Auch Imprägnierung mit Kunststoffen, wie z.B. Silikon, Acrylharz wurden schon versuchsweise angewendet, ihre Eigenschaften sind jedoch auf andere Baumaterialien als Lehm ausgerichtet.

5.3 Putze

Wegen ihrer Materialähnlichkeit sind Lehmputze auf Lehmwänden am besten geeignet. Allerdings sind sie kaum wetterbeständig. Lehmputze sollten deshalb auf Aussenflächen allenfalls als Grundputz an-

gebracht und mit einem deckenden Kalkputz versehen werden.

Im Innenbereich genügen Lehmputze den Anforderungen.

- | | | |
|--|--|--|
| | Auf Lehmwänden eignen sich Lehmputze am Besten. | |
| | Im Aussenbereich braucht ein Lehmputz einen Kalk-Deckputz. | |
| | Soll ein reiner Lehmputz auch im Aussenbereich angebracht werden, bedarf er zumindest eines zusätzlichen Schutzes durch Vordächer und / oder Imprägnierung. | |
| | Vor Beginn der Verputzarbeiten ist es jedenfalls notwendig, die verwendete Putzmischung und allfällige Imprägnierungen oder Anstriche anhand von Proben auf einem Wandstück zu überprüfen. | |
| | | |
| | | |

Lehmmörtel für Mauerwerk und Verputz

Zuschlagstoffe

Jede Mörtelmischung bedarf eines Zuschlags von grobem, natürlichem oder gebrochenem Sand.

Für Putzmörtel sind Zuschlagstoffe zur Armierung wichtig: gehäckseltes Stroh, Haare, Zellulosefasern.

Andere Zuschlagstoffe dienen zur Strukturierung oder farblichen Veränderung der Oberfläche, z.B. Ziegelschrot, Papierflocken, Spreu.

Zuschläge von Korkschrot, Perlit u.a. ergeben einen Wärmedämmputz.

Aufbereitung

Für Lehmmörtel ist eine gute homogene Mischung besonders wichtig. Er sollte deshalb maschinell gemischt werden.

Mischverhältnisse von Lehm zu Sand bewegen sich zwischen 1:6 bei sehr fetten Lehmen und bis zu 1:2 bei mittelfetten Lehmen.

Mineralische Putze

Mineralische Putze haben den Zweck, der Witterung ausgesetzte Wandoberflächen aus Lehm zu schützen.

Dazu eignen sich Mörtelmischungen mit Kalk (Sumpfkalk, Weiskalk, hydraulischem Kalk), oder mit Kalk und Zement. Bei Fertigmischungen ist zu beachten, dass keine Kunststoffputze zur Verwendung gelangen.

Mineralische Putze können direkt auf die trockene Lehmwand aufgezogen werden oder als letzte Schicht über Lehm-(Grund-)Putz.

Lehmwände mit Kalkmörtelfugen bieten einen besseren Putzgrund für Kalkputze, da die Fugen zusätzlich für eine chemische Haftung sorgen.

■ Da mineralische Putze mit dem Lehmuntergrund keine chemische Verbindung eingehen, muss für eine mechanische Putzhaftung gesorgt werden, sei dies durch Aufrauen der Oberflächen oder mittels Anbringen von Netzen (Rabbitz, Schilfmatte o.ä.). Jutegewebe sind für mineralische Putze ungeeignet.

5.4 Verputzen von Lehmwänden

Zeitpunkt des Verputzens

Putzschäden haben ihre Ursache fast immer in zu frühem Verputzen oder in der mangelhaften Vorbereitung des Untergrundes. Oft liegen beide Ursachen gleichzeitig vor.

- | | | | |
|--|---|--|--|
| | ■ | Mit dem Verputzen darf erst begonnen werden, wenn keine Setzungserscheinungen und Schwindrisse mehr zu befürchten sind. Nur kerntrockene Lehmwände dürfen verputzt werden. Im Zweifelsfall sollte die Trockenheit durch Sondierungen bis in den Kern der Wand überprüft werden. Ein zu früh angebrachter Verputz verlangsamt auch das vollständige Austrocknen der Lehmwand. | |
| | | | |
| | | | |
| | ■ | Lehmaussenwände, welche längere Zeit unverputzt bleiben, müssen provisorisch geschützt werden. | |

Ausführung der Verputzarbeit

Putz auf Lehmbaustein-Wänden

Mauerwerk mit Lehmbausteinen von normaler Grösse bis 12 cm Höhe bedarf an sich keiner weiteren Massnahmen zur Sicherung der Putz-Haftung. Die Mörtelfugen des Mauerwerks sollen uneben und eher tiefliedend sein. Bei grossen Formaten können zur besseren Haftung zusätzliche Rillen oder Löcher im Mauerwerk angebracht werden oder während

des Mauerns auch kleine vorstehende Steinstückchen in die einzelnen Mörtelschichten eingebaut werden.

Bei einlagigem Putz kann u.U. das Mauerwerk durchzeichnen. Um dies zu vermeiden, ist eine Putzarmierung oder ein zweilagiger Putz ratsam.

Putz auf Stampflehmwänden

Zur Vorbereitung der Wand genügt es, bei hohem Kiesanteil des Lehmmaterials die Oberfläche unmittelbar nach dem Ausschalen mit einer Stahlbürste abzubürsten und damit das Kies freizulegen.

Bei feinkörnigem Stampflehm müssen mit einem scharfen Werkzeug horizontale Rillen im Abstand von ca. 5 cm ausgekratzt werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht im Einbau von Mörtel- oder Steinleisten während des Stampfvorgangs. Entlang der Schalung wird eine Kalkmörtelschicht eingebracht oder eine Reihe von Steinen eingelegt und mit der nächsten Lehmschicht gut verstampft.

Unmittelbar vor dem Verputzen muss die Wand nochmals gut abgebürstet werden.

Putz auf Leichtlehmwänden

Die unebene Oberfläche von Leichtlehm ist ein guter Putzgrund. Trotzdem sollten Leichtlehmwände zur Stabilisierung des weichen Putzuntergrunds im Sinne einer Grundierung zuerst einen deckenden Spritzwurf erhalten. Zum Verputzen der Leichtlehmwände eignen sich Kalkputze und Lehmputze mit oder ohne Zuschlag von pflanzlichen Fasern.

Bei Erwärmung durch direkte Sonnenbestrahlung neigen Putze auf Leichtlehmwänden zur Rissbildung. Insbesondere auf Süd- und Westfassaden sollten grosse zusammenhängenden Putzflächen vermieden werden. Die Erwärmung von besonnten Oberflä-

chen kann auch durch helle Farbgebung vermindert werden.

Soll z.B. ein Fachwerk aussen sichtbar bleiben, so ist besonders darauf zu achten, dass an den Anschlusspunkten des Lehmbauteils zum Holz eine Putzschicht in ausreichender Dicke und dicht anschliessend aufgebracht wird. Der an die sichtbar bleibenden Holzteile angrenzende Leichtlehmteil wird angefast, damit die Putzschicht in diesem Bereich nicht zu dünn wird. Zu überputzende Holzteile werden mit üblichen Putzträgern, schmalere Lattungen mit Gewebe (Jute oder Kunststoff) überspannt.

- | | | |
|--|---|--|
| | ■ Die Vorbereitung des Putzgrundes hat den Zweck, eine gute Haftung des Putzes auf der Wand zu erreichen. Sie richtet sich nach dem verwendeten Putzmaterial und der Art der angewendeten Lehmbautechnik. | |
| | ■ Zum Auftragen von Lehmputz muss der Untergrund trocken sein, für mineralische Putze muss er vorher angefeuchtet werden. | |
| | ■ Die Dicke des Aussenputzes soll mindestens 2 cm betragen. Die Hauptwetterseiten sind immer dreilagig, die Nichtwetterseiten zweilagig zu verputzen. Innen kann ein einlagiger Putz genügen. | |
| | ■ Bei mehreren Putzlagen (Grundputz, Deckputz) soll die Härte der Putzlagen sowie die Korngrösse des Sandes von der Wand nach aussen abnehmen. | |
| | ■ Fugen, Schlitzte, andere Schwachstellen im Wandgefüge, insbesondere Holzbauteile müssen vor dem Verputzen mit einer Armierung versehen werden. | |
| | ■ Einschichtige Putzlagen auf gemauerten Lehmwänden benötigen eine ganzflächige Armierung mit Jutegewebe. | |
| | ■ Vorspringende Mauerecken sind vor Beschädigung mittels eingebauten Putzkanten oder durch Rundung zu schützen. Putzkanten sind nach den Anweisungen der Hersteller zu befestigen. | |

5.5 Lehmputze auf Nicht-Lehmwänden

Auch Wände aus Backstein- und Kalksandstein-Mauerwerk, aus Beton sowie aus mineralisch gebundenen Holzwoollplatten können mit Lehm verputzt werden.

Bei Gipsplatten ist je nachdem Vorsicht geboten, es kann zu Ausblühungen kommen ("Gipstreiben").

- | | | |
|--|---|--|
| | ■ Zwischen Untergrund und Lehmputz ist eine mechanische Haftung durch das Anbringen eines Putzträgers zu gewährleisten (Netz, Rabbitz, Schilfrohrmatte u.ä., mineralische Baukleber, mit Zahntraufel aufgezogen). | |
| | ■ Die Verputztechnik richtet sich nach dem Untergrund. | |
| | ■ Anhand von Mustern an Probewandstücken müssen der geplante Aufbau und die Putztechnik überprüft werden. | |

5.6 Verschalungen

- | | | |
|--|--|--|
| | ■ Beim Anbringen von Verschalungen dürfen keine Dampfbremsen eingebaut werden. | |
| | ■ Bei Ausfachung von durchgehenden Holzkonstruktionen ist eine Dichtung mit Windpapier hinter der Verschalung notwendig. | |

Verschalungen sind aussen auf der Lehmwand angebrachte Verkleidungen aus anderen Materialien als Lehm. Die Verschalungen (Holztäfer, Eternitschindeln, usw.) werden nach dem Trocknen der Wand auf einem Lattenrost befestigt. Verschalungen kön-

nen aber auch schon vor dem Bau der eigentlichen Lehmwand als "verlorene Schalung" von aussen am Tragsystem befestigt werden, z.B. in Form von Schilfrohr- oder Holzwoollplatten. Später dienen sie dann als Putzträger an der Aussenseite.

6 Weitere Lehmregeln

Die Regeln zu den folgenden Kapiteln sollen zu einem späteren Zeitpunkt erarbeitet werden. Bis auf Weiteres gilt eine sinngemässe Ableitung bestehender Richtlinien zu anderen Materialien mit ähnlichem Verhalten oder es sind Versuche vorzunehmen.

6.1 Besondere Lehmbauteile

Neben den Lehmbautechniken für Wände gibt es auch Anwendungsbereiche von Lehm für andere Bauteile:

- Dachkonstruktionen (Kuppeln, Gewölbe)
- Zwischendecken (tragend und nichttragend)
- Bauteile rund um das Feuer (Öfen, Kamine)
- Fussböden

6.2 Unterhalt und Instandsetzung von Lehmbauten

Gut konzipierte und ausgeführte Lehmbauten brauchen nicht mehr Unterhalt als andere Bauten. Hin- gegen muss bei sich abzeichnenden Schäden rasch

und wirkungsvoll eingeschritten werden. Das materi- algerechte Ausbessern von Lehmbauteilen ist dann meist auf einfache Art und Weise möglich.

▬ **Beim Unterhalt und bei Renovation von Lehmbauten gelten sinngemäss alle in die- sen Lehmbauregeln festgelegten Anforderungen.** ▬

6.3 Weitere Themen

Zusätzliche Kapitel für ein erweitertes Regelwerk werden sein:

- Andere traditionelle Lehmbautechniken: Flecht- werk, Lehmwickel, Nasslehmverfahren.
- Ausbessern und Erneuern konstruktiver Teile in verschiedenen Lehmbautechniken.
- Erneuern von Putzen, Anstrichen, etc.
- Bauliche Veränderungen (Öffnungen, Anschlüsse).

A

A Anhang

A.1 Begriffe zu Baustoffkennwerten

Im Folgenden werden die in den vorliegenden Regeln vorkommenden Begriffe zu Baustoffkennwerten aufgeführt und definiert.

d	Schichtdicke	[m]
m	Masse	[kg]
ρ	Rohdichte	[kg/m ³]
w	Wassergehalt	[%]
μ	Diffusionswiderstandszahl	[1]
λ_D	(Wasser-) Dampfleitfähigkeit	[mg/m h Pa]
c	spezifische Wärmekapazität	[kJ/kg K]
k	Wärmedurchgangs-Koeffizient	[W/m ² K]
λ	Wärmeleitfähigkeit	[W/m K]
LSM	Luftschallschutzmass (BRD)	
R'w	bewertetes Luftschalldämmmass	[dB]

Wassergehalt

Der Wassergehalt w einer Bodenprobe wird als Verhältnis der Masse des in den Poren vorhandenen freien und von den Gemeingeteilen adsorbierten Wassers M_w (M_D (das bei einer Temperatur von 105°C bis 110°C verdampft) zur Trockenmasse M_D ausgedrückt.

Diffusionswiderstandszahl

Sie gibt an, wieviel mal dichter eine Baustoffschicht ist als eine gleich dicke Luftschicht bei gleicher Temperatur.

(Wasser-) Dampfleitfähigkeit

Wasserdampfmenge in mg, welche bei einem Dampfdruckgefälle von 1 Pa/m durch 1 m² Fläche eines Baustoffes hindurch diffundiert.

spezifische Wärmekapazität

Wärmemenge in kJ resp. Wh, welche benötigt wird, um 1 kg des Stoffes um 1K=1°C zu erwärmen.

Wärmedurchgangs-Koeffizient

Gibt den Wärmestrom (in W) an, der durch 1 m² einer Konstruktion fliesst, wenn die Temperaturdifferenz zwischen den angrenzenden Luftschichten 1K=1°C beträgt. [W/m² K]

Wärmeleitfähigkeit

Wärmestrom in W, der durch 1 m² eines Stoffes hindurch fliesst, wenn das Wärmegefälle 1 K/m beträgt.

Quellen:

- ° SIA 381/1 Baustoffkennwerte
- ° SN 670 000 ff Normen der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute zu Böden und mineralischen Baustoffen
- ° SIA 181 Schallschutz im Hochbau

A.2 Tabellen Materialkennwerte

Druckfestigkeiten und zulässige Spannungen	Wüfel- Druckfestigkeit	zulässige Druckspannung
	[N/mm ²]	[N/mm ²]
tragende Bauteile	2	0.3
	3	0.4
	4	0.5
Leichtlehm, nichttragend	0.5	

Tabelle: Druckfestigkeiten und zulässige Spannungen

Dampfleitfähigkeit λ_D und Diffusions- widerstandszahl μ	Rohdichte ρ	μ Mittelwert	λ_D
	[kg/m ³]	20°C / 60 % r.L.	[mg/m h Pa]
Massivlehm	2'000	10.0 - 11.0	0.07 - 0.06
Leichtlehm	1'200	8.0 - 10.0	0.09 - 0.07
	900	6.0 - 8.0	0.12 - 0.09
	600	5.0 - 6.0	0.14 - 0.12
	300	4.0 - 5.0	0.18 - 0.14

Tabelle: Dampfleitfähigkeit, Diffusionswiderstandszahl

Stoffwerte Wärme	ρ	λ	c
	[kg/m ³]	[W/m K]	[kJ /kg K]
Massivlehm	2'000	0.95	1.0
Leichtlehm	1'200	0.47	1.0
	900	0.26	1.1
	600	0.15	1.2
	300	0.09	1.3

Tabelle: Stoffwerte Wärme in Abhängigkeit der Rohdichte

Luftschall- Dämmung	Schichtdicke d in [m] für bewertetes Luft-Schalldämmmass R'w von				
	ρ [kg/m ³]	30 dB	40 dB	50 dB	55 dB
Massivlehm	2'000	0.03	0.07	0.20	0.40
Leichtlehm	1'200	0.04	0.12	0.33	0.73
	800	0.04	0.08		
	400	0.08	0.16		

Tabelle: Luftschall, erforderliche Schichtdicke "d" von Lehmbaustoff in Bezug auf erreichbares Schallschutzmass

Die Abschätzung der Luftschalldämmung erfolgt aufgrund der Kurven für einschalige Bauteile nach SIA-Norm 181 Schallschutz im Hochbau (Fig.A2 41: "Das bewertete Luftschalldämmmass R'w in Funktion

der flächenbezogenen Masse m''"). Die Werte für grosse Rohdichten sind der Kurve für Beton, Mauerwerk oder Gips entnommen. Diejenigen für kleine Rohdichten der Kurve für Holz und Holzwerkstoffe.

Feuer- beständigkeit	ρ [kg/m ³]	Schichtdicke	Brandkennziffer	Bauteil
		d [cm]	Brennbarkeit / Qualm	Feuerwiderstands- klasse
Massivlehm (1)	2'000	25		F 180
		15		F 120
		12 ⁵		F 90
Leichtlehm m. mineralischem Zuschlag (2)	900	25		F 180
		12 ⁵		F 120
		10		F 90
Leichtlehm mit organischem Zuschlag (3)	600		6 q .3	F 30
				(4)
Lehmputz auf Leichtlehm (5)	1'700	2		F 30

Tabelle: Brandkennziffer und Feuerwiderstand

Brennbarkeitsgrad:	5	schwer entzündbar, schwer brennbar bei Raumtemperatur
	6 q	nicht entzündbar, quasi nicht brennbar
	6	nicht entzündbar, nicht brennbar
Qualmgrad:	.3	keine bis geringe Qualmbildung
Feuerwiderstand:	F...	Die Zahl gibt die Feuerwiderstandsdauer in Minuten an.

Die hier aufgeführten Werte sind Annahmen aufgrund der Beurteilungskriterien der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen VKF (Brandschutzregister 1993). Die folgenden Werte wurden den Annahmen zugrundegelegt:

- (1) Backsteine
- (2) Leichtbeton
- (3) Holzwollplatten mineral. gebunden
- (4) Zellulosedämmung
- (5) Kalkputz

Die Klassierung von Lehmbaustoffen muss durch Prüfzeugnisse und Anerkennung durch die VKF festgelegt werden.

A.3 Glossar

Adobe	bezeichnet sowohl Lehmbausteine und als auch eine Bauweise mit Lehmbausteinen. Der Begriff selbst kommt aus dem Arabischen ad-tub (der Ziegel), er wurde durch die Spanier aufgenommen und in Amerika eingeführt. Dort steht dieser Begriff mittlerweile für Lehmbau schlechthin.
Armierung, Putzarmierung	Netze, Gewebe, auf einer zu verputzenden Fläche befestigt, mit dem Zweck, einer Rissbildung entgegenzuwirken.
Armierungsstoffe	>Zuschlagstoffe zum >Putz, welche durch ihre Fasern einen "innern Zusammenhalt" erzeugen und der Rissbildung beim Trocknen des >Putzes vorbeugen.
aufbereiten	vorbereitende Arbeiten (sieben, >magern, mischen, etc.) zur Herstellung eines >Lehm-Baustoffs.
auswittern, auswintern	den Lehm im Freien ausbreiten und den Witterungseinflüssen aussetzen, am besten sogar über Winter. Schwerer, knolliger >Lehm wird dadurch gelockert und lässt sich danach besser >aufbereiten, die mechanische Arbeit beim Aufschlänmen verringert sich.
Baulehm	Natürlich vorkommender >Erdstoff, der sich zum Bauen eignet
Bindekraft	Klebekraft von trockenem >Lehm.
Blähton	In der Schweiz unter der Produktebezeichnung "Leca" bekannt. Tonminerale bei Temperaturen von 1'200° C "aufgebläht". Das Endprodukt sind feinporige, in sich abgeschlossene, feste Tonkügelchen verschiedener >Korngrößen.
einsumpfen	>Lehm zur >Schlämme >aufbereiten, d.h. unter Zugabe von Wasser einige Tage lang einweichen und mehrmals durcharbeiten. Damit wird eine homogene Mischung von >Lehm und Wasser erzielt.
Erde, Erdstoff, Erdbaustoff	Andere Bezeichnung für >Lehm, >Lehmbaustoff.
extrudieren	maschinelles Verfahren zur Auspressung eines Stoffes in Strangformen. >Lehm wird extrudiert zur Herstellung von Rohlingen für Backsteine ("Grünlinge").
fett	>Lehm wird als fett bezeichnet, wenn er einen hohen Gehalt an >Ton aufweist.
Fraktion	Anteil von Gesteinspartikeln einer bestimmten >Korngrößen-Ordnung. z.B. Kies: 2.8 - 60 mm Ø.
Korngrösse	Mass für den Durchmesser eines Gesteinspartikels, dem Korn. z.B. Tonpartikel: ≤ 0.002 mm.
Lehm	mineralisches Lockergestein unterschiedlicher >Korngrösse mit Anteil an >Ton, in seinem natürlichen Zustand.
Lehm-Baustein	Zu Steinen oder Blöcken geformter >Lehmbaustoff. Nach der Trocknung werden Lehmbausteine wie Backsteine mit >Mörtel aufgemauert.
Lehm-Baustoff	aus >Lehm (mit allfälligen >Zuschlagstoffen und >Zusätzen) >aufbereitetes Material, mit dem in einer >Lehm-Bautechnik ein Bauteil ausgeführt wird.
Lehm-Bautechnik	ein bestimmtes Verfahren, eine Technik, in der >Lehm-Baustoff verbaut wird.
Lehm-Bauweise	Massivbauweise einerseits, Skelettbauweise andererseits. Das Prinzip, >Lehm als tragendes oder nichttragendes Baumaterial einzusetzen.
Leichtlehm	Mischung von >Lehm und >Zuschlagstoffen, die die >Trockendichte der Mischung unter 1'200 kg/m ³ herabsetzen.
mager	>Lehm wird als mager bezeichnet, wenn er einen niedrigen Gehalt an >Ton aufweist.
magern	einen zu >fetten >Lehm durch >Zuschlagstoffe >magerer machen.

mauken	das aufbereitete Material zum Feuchteausgleich ruhen lassen. Die Oberfläche muss dabei vor der Austrocknung geschützt werden.
Mörtel	das Material zum Vermauern von Bausteinen. Eine Mischung aus Sand, mineralischen Bindemitteln und Wasser mit allfälligen >Zusätzen. Wird Mörtel für >Putze verwendet, nennt man ihn Putzmörtel; als solcher wird er meist etwas dickflüssiger verarbeitet.
Pisé	Französische Bezeichnung für Stampflehm. Der Begriff kommt aus dem Spanischen: "pisar" (treten, stampfen) und "piso" (Boden, Stockwerk).
Putz, Verputz	Schichtweise aufgetragener Oberflächenschutz von Wänden. Das Material dazu (Putzmörtel) ist eine Mischung aus Sand, mineralischen Bindemitteln und Wasser mit allfälligen >Zusätzen und meist weniger flüssig als >Mörtel.
Rohdichte	Masse pro Volumeneinheit von Material in seinem natürlich vorkommenden Zustand
Schlämme	Eine flüssige Mischung von >Lehm und Wasser, welche mit Leicht->Zuschlägen gemischt >Leichtlehm ergibt.
Schluff	Alte Bezeichnung für >Silt.
Schwerlehm	>Lehmabbaustoff mit einer >Trockendichte von min. 1'700 kg/m ³ .
Schwindmass, Trockenschwindung	Längenänderung infolge Austrocknung bezogen auf den gequollenen Ausgangszustand (Angabe in Prozenten).
Schwindung	wenn >Lehm austrocknet, verdunsten die freien Wassermoleküle. Dies hat eine Verminderung des Volumens, aber keine chemische Veränderung zur Folge. Demgegenüber beruht z.B. der Schwindprozess im Beton auf einer chemischen Umwandlung.
Silt	Bezeichnung für Boden->Fraktionen in der >Korngrösse von 0,002 mm bis 0,063 mm. Ersetzt älteren (deutschen) Begriff "Schluff".
Sockel(mauer)	der unterste Bereich einer Wand direkt über dem Erdboden, welcher Einflüssen von Wetter und von aus dem Boden aufsteigendem Wasser besonders ausgesetzt ist. Im unterirdischen Bereich wird von Fundament(mauern) gesprochen.
sortiertes / unsortiertes Material	Verteilung der >Korngrössen in Ablagerungen von Lockergesteinen. Sortiertes Material kommt nach >Korngrössen getrennt vor, unsortiertes durchmischt.
Stabilisierung	eine Vermengung des >Lehmmaterials mit >Zuschlagstoffen oder >Zusätzen mit dem Zweck, den Baustoff widerstandsfähiger zu machen, seine >Stabilität zu erhöhen.
Stabilität	Beim >Lehm ist einerseits die (äussere) Stabilität der Oberflächen, andererseits die innere Stabilität von Bedeutung. Z.B. bedeutet Stabilität der Oberflächen Widerstandsfähigkeit gegen Erosion und innere Stabilität eine genügende Druckfestigkeit.
Ton	kleinster Bestandteil des mineralischen Lockergesteins, mit >Korngrösse $\geq 0,002$ mm). Zwingender Bestandteil von >Lehm, welcher dessen >Bindigkeit bewirkt.
Trass	jungvulkanisches Gestein (vulkanischer Tuff), in gemahlener Form als Bindemittel zu verwenden, ein Zement-Ersatz oder Zement-Zusatz. Neben dem natürlichen Trass gibt es auch künstlich hergestellten.
Trockendichte, Rohdichte trocken	Masse eines wasseraufnahmefähigen Stoffes, gewogen nach seiner Trocknung bei 105°C, bezogen auf das Volumen.
Trockengewicht	dient der Bestimmung des (natürlichen) >Wassergehalts von >Lehm. Gewicht nach der Trocknung bei 105°C.
Wassergehalt	das Verhältnis des in einem >Lehm vorhandenen Wassers zu seinem Trockengewicht in Gewichts-Prozent.
Zusätze	Beimischungen in kleineren Mengen zur Verbesserung des Rohmaterials >Lehm, vor allem in Bezug auf seine Widerstandsfähigkeit gegen Wasser.

Zuschlagstoffe

Beimischungen in grösseren Mengen zur Verbesserung bzw. Veränderung des Rohmaterials >Lehm in verschiedener Hinsicht: zur Erhöhung der Festigkeit, Verminderung des >Schwindmasses, Erhöhung der Wärmedämmfähigkeit etc.

A.4 Adressen von Prüfstellen und Fachstellen

Prüfstellen

Feldversuche	Forschungsgruppe Lehmbau Tel. 052 / 213 43 24 Rosenstr. 14 8400 Winterthur
Laboruntersuchungen	Siebanalyse Atterberg Proctor Adressen von Prüflaboratorien vermittelt die Forschungsgruppe Lehmbau, Adresse s.o. Tel. 052 / 213 43 24
	Drucktests Brandverhalten und Wärme-Werte, Schall EMPA Tel. 01 / 823 55 11 Postfach 8600 Dübendorf Abt. Betontechnologie od. Abt. Massivbau Abt. Bauphysik Abt. Schallschutz
	Drucktests Prüf- und Forschungsinstitut Schweiz. Ziegelindustrie Tel. 045 / 21 37 85 Postfach 6210 Sursee
	Spezielle tonmineralogische Untersuchungen ETH Zürich IGT Institut f. Geotechnik Tel. 01 / 633 25 58 HIF ETH-Hönggerberg 8093 Zürich
	ETH Lausanne Laboratoire des Matériaux EPFL MX-G Ecublens 1015 Lausanne

Fachstellen

	Forschungsgruppe Lehmbau Tel. 052 / 213 43 24	Rosenstr. 14 8400 Winterthur
	IG-Lehm Schweiz Sekretariat Tel. 061 / 721 721 1	Postfach 4020 Basel

A.5 Quellen-Verzeichnis

Normen, Richtlinien, Empfehlungen

DIN-Normen	<p>DIN 1169 Juni 1947: Lehmörtel für Mauerwerk und Putz.</p> <p>DIN 18951 Jan. 1951: Lehmbauten, Vorschriften für die Ausführung.</p> <p>DIN 18952 Mai 1956: Baulehm, Begriffe, Arten und Prüfung.</p> <p>DIN 18953 Mai 1956: Baulehm, Lehmbauteile.</p> <p>DIN 18954 Mai 1956: Ausführung von Lehmbauten.</p> <p>DIN 18955 Aug. 1956: Lehmbauteile, Feuchtigkeitsschutz.</p> <p>DIN 18956 Aug. 1956: Putz auf Lehmbauteilen.</p> <p>Alle DIN-Normen zum Lehmbau wurden 1971 ersatzlos zurückgezogen, gelten jedoch nach wie vor als Stand der Bautechnik. Weitere DIN-Normen:</p> <p>DIN 4102 und DIN 18951: Normen über Brandschutzmassnahmen.</p>
New Mexico State Adobe Code	<p>Revised, reviewed and adopted July 22, 1977. Construction industries division, Santa Fé, New Mexico, USA.</p>
SIA-Normen	<p>SIA 181 Schallschutz im Hochbau.</p> <p>SIA 381 / 1 Baustoffkennwerte (Tabellen).</p>
VKF Vereinigung kant. Feuerversicherungen	<p>Brandschutzregister, Ausgabe 1993.</p>
VSS-Normen	<p>für Böden und mineralische Baustoffe (Normblätter Schweiz. Normenvereinigung SNV):</p> <p>SN 670 816 a Mineralische Baustoffe, Schlämmanalyse nach der Aräometermethode.</p> <p>SN 670 330 b Versuche: Verdichtung nach AASHTO.</p> <p>SN 670 340 b Wassergehalt.</p> <p>SN 670 345 a Konsistenzgrenzen.</p> <p>SN 670 008 Klassifikation der Lockergesteine, Laboratoriumsmethode nach USCS.</p> <p>SN 670 810 c Mineralische Baustoffe und Lockergesteine. Siebanalyse.</p>

Fachliteratur

- Büchi, Dr. U.P. / Müller, E.R. **TM-Info Nr. 1, Tonmineralogisches Informationsblatt.** Büchi und Müller AG, beratende Geologen SIA/ASIC.
- CRATerre-EAG: Houben, Hugo / Guillaud, Hubert **Traité de construction en terre.** Grenoble 1989. Editions Paranthèses, Marseille.
- E. Pollack und E. Richter **Technik des Lehmbaus.** 1952. Verlag Technik, Berlin (DDR).
- Fauth, Wilhelm **Der praktische Lehmbau.** Baustoffe, Bauvorschriften und Bauverfahren. 1946. Limes-Verlag, Wiesbaden.
- Keppler, Marlise / Lemcke, Thomas **Mit Lehm gebaut.** 1986. Verlag C.F.Müller GmbH Karlsruhe.
- Leszner, Tamara / Stein, Ingolf **Lehmfachwerk.** 1987. Verlag Rudolf Müller GmbH Köln.
- Minke, Gernot, Hrsg. **Bauen mit Lehm.** Aktuelle Berichte aus Praxis und Forschung. 1984-87. Ökobuch-Verlag GmbH Freiburg i.B.
- Niemeyer, Richard **Lehmbau und seine praktische Anwendung.** Originalausgabe 1946, Neudruck 1982. Öko-Buchverlag Grebenstein.
- Reimann, A. / Sieber, Heinz, Hrsg. **Baustoff Lehm.** Sammlung Lehmbauverfahren der Lehrwerkstätten in Weilburg. 1947 / 1988 Neudruck. Verlag C.F.Müller GmbH Karlsruhe.
- Sieber, Heinz G. **Lehm total.** Artikel in Deutsche Bauzeitung DBZ 4/92.
- Sunderland-Saremkalali, Homeira **Interaction de l'eau avec les colloïdes minéraux.** Thèse 1898. EPFL Lausanne.
- Volhard, Franz **Leichtlehm. Alter Baustoff, neue Technik.** 1983. Verlag C.F.Müller GmbH Karlsruhe.