

Lehmbau für Architekten und Ingenieure

**Konstruktion, Baustoffe und Bauverfahren,
Prüfungen und Normen, Rechenwerte**

Prof. Dr. Ulrich Schneider
Dipl.-Ing. Mathias Schwimann
Dr. techn. Heinrich Bruckner

Werner-Verlag

I EINFÜHRUNG	1
1.1 Allgemeines	1
× 1.2 Vor- und Nachteile von Lehm als Baustoff	3
1.2.1 Vorteile von Lehm	3
1.2.2 Nachteile von Lehm	4
2 LEHMBAUVERFAHREN	5
2.1 Einführung	5
2.1.1 Einteilung nach dem statischen System	5
2.1.2 Einteilung nach der Dichte	5
2.1.3 Einteilung nach der Verarbeitung	6
2.2 Tragende Bauweisen	7
2.2.1 Mauerwerk mit Lehmörtel	7
^ 2.2.2 Lehmsteinbau	7
2.2.3 Stampfbau	8
2.2.3.1 Pisé-Bau	10
2.2.3.2 Stampflehm in verlorener Schalung	11
2.2.3.3 Lehmdrahtwände	11
2.2.3.4 Elementierte Stampfbauweise	12
2.2.4 Wellerbau	13
2.2.5 Lehmbatzenbau	14
2.2.5.1 Stampfbroteverfahren	14
2.2.5.2 Zabur-Bauweise	14
2.2.5.3 Lehmstrangverfahren	15
2.2.5.4 Naßlehm-mauerwerk (Mauern mit frischen Lehmsteinen)	16
2.2.5.5 Mauern mit angeätzten Lehmsteinen	16
2.2.6 Dünner-Verfahren	17
2.2.7 Stabpisé-Bau	17
2.2.8 Tihama-Bau	18
2.2.9 Strohlehm-Ständerbau	18
2.3 Skelettbauweisen	18
2.3.1 Fachwerkbau	19
2.3.1.1 Zinselbau (Bewurftechnik)	20
2.3.1.2 Geflecht mit Strohlehmzungen	20
2.3.1.3 Stakbau	20
2.3.1.4 Wickelstaken	21
2.3.1.5 Plattenbau	21
2.3.2 Leichtlehm-bau	21
2.3.3 Mehrschalige Wandkonstruktionen	22
2.3.4 Bahareque	22
2.3.5 Lehmstangenbau	23
2.3.6 Lehmflaschenbau	23
2.3.7 Ballenbau	24
2.4 Bauweisen mit getrennten Konstruktionen	24
2.5 Fertigteilbau	24
2.6 Lehmbauteile und weitere Anwendungen	25
2.6.1 Zwischenwände	25
2.6.2 Faserlehmstürze	25
2.6.3 Innendämmung von Außenwänden	26

2.6.3.1 Leichtlehm bei Sanierungen	26
2.6.3.2 Holzblockbau mit Lehmauskleidung	26
2.6.4 Holzbauten mit Außenverkleidung	26
2.6.5 Decken	26
2.6.5.1 Lehmfüllungen (Lehmschlagdecken)	27
2.6.5.2 Tragende Lehmdecken	27
2.6.6 Gewölbe	28
2.6.6.1 Lehmsteinge wölbe	28
2.6.6.2 Naßlehmgewölbe	28
2.6.6.3 Schalungsfreie Gewölbetechniken	29
2.6.7 Dächer	32
2.6.7.1 Flachdächer	32
2.6.7.2 Lehmschindeldach	32
2.6.7.3 Hüttendach	33
2.6.7.4 Gernentzdach	33
2.6.8 Fußböden	34
2.6.9 Sperrschichten	34
2.6.10 Einrichtung	34
2.6.11 Öfen und Herde	34
2.6.12 Schornsteine und Kamine	35
2.6.13 Keller	35
2.6.14 Lehmörtel	35
2.7 Wetterschutz	36
2.7.1 Grundlagen	36
2.7.2 Konstruktionsdetails	36
2.7.3 Lehmzusätze	37
2.7.4 Putze	37
2.7.5 Anstriche	38
2.7.6 Verkleidungen	38
2.7.7 Pflegemaßnahmen	38
2.8 Geschichtlicher Überblick und aktuelle Entwicklungen	39
2.8.1 Einleitung	39
2.8.2 Geschichte der Stampfbauweise	43
2.8.3 Geschichte der Lehmsteinbauweise	45
2.8.4 Geschichte der Batzenbauweisen	48
2.8.5 Geschichte der Wellerbauweise	49
2.8.6 Geschichte des Skelettbau	49
3 LEHMVORKOMMEN	51
3.1 Allgemeines	51
3.2 Bezeichnungen	51
3.2.1 Einteilung nach der Bindigkeit	51
3.2.2 Einteilung nach dem Tongehalt	52
3.2.3 Einteilung nach der geologischen Entstehung	53
3.3 Geologie wichtiger Lehmvorkommen	53
3.3.1 Berglehm	53
3.3.2 Gehänge- oder Hanglehm	54
3.3.3 Lehm- oder Geschiebemergel	54
3.3.4 Geschiebelehm	54
3.3.5 Blocklehm	55
3.3.6 Mergel	55
3.3.7 Schwemtlehm	55
3.3.8 Schlicklehm	55

3.3.9 Lößlehm	56
3.3.10 Bänderlehm	56
3.3.11 Letten	56
3.3.12 Tertiär-Lehme	56
3.3.13 Salzlehme	57
4 MINERALGERÜST	58
4.1 Korngrößen und spezifische Oberflächen der Lehmbestandteile	58
4.2 Kornverteilung und die Auswirkungen	59
4.2.1 Kornverteilung und Festigkeit	59
4.2.2 Kornverteilung und Verhalten gegenüber Feuchtigkeit	62
4.3 Kornformen	65
5 TON	66
5.1 Bindewirksame Oberfläche	66
5.2 Chemische Bestandteile der Tone	66
5.3 Bildung der Tonerden	66
5.4 Tonarten	67
5.4.1 Bezeichnungen nach geologischer Herkunft	67
5.5 Beschaffenheit der Tonminerale	68
5.6 Kristallstruktur von Tonmineralen	69
5.6.1 Schichtstruktur verschiedener Tone	70
5.6.2 Zweischichtige Kristallstrukturen	71
5.6.3 Dreischichtige Kristallstrukturen	73
5.6.4 Mehrschichtige Strukturen	74
5.7 Der Mechanismus von Quellung und Bindung der Tonminerale	75
5.7.1 Arten von eingelagertem Wasser	75
5.7.2 Strukturwasser	75
5.7.3 Adsorbiertes Wasser	76
5.7.4 Solvatwasser	77
5.7.5 Porenwasser	78
5.8 Einfluß von Ionen auf die Wasseraufnahme und Festigkeit	78
5.8.1 Ionenbelag und Hydratation	79
5.8.2 Auswirkung der Ladungskompensation durch Ionen	80
5.8.3 Ionenaustauschvermögen – Hofmeisterreihe	81
5.8.4 Ionenbelag und Festigkeit	83
5.8.5 Auswirkung der Ionen auf die Quellung des Tones	85
5.8.6 Ionenaustausch in der Praxis	85
6 VORGÄNGE IM BAUSTOFF LEHM	88
6.1 Lehmgewinnung	88
6.2 Lehmlagerung	88
6.3 Wasserzugabe	89
6.3.1 Erdfeuchter Lehm	89

6.3.2 Geringe Wasserzugabe	90
6.3.3 Aufschlammung	91
6.4 Aufbereitung und Mischen	92
6.4.1 Plastizitätssteigerung durch Aufbereitung	92
6.4.2 Aufbereitungsarten	93
6.4.3 Auswirkung der Plastizität auf die Feinstruktur	93
6.4.4 Festigkeitssteigerung durch Aufbereitung	94
6.4.5 Lehmaufbereitung in der Praxis	94
6.5 Magerung mit Zuschlägen	95
6.6 Mauken	96
6.7 Formgebung	96
6.7.1 Auswirkung von Druck	96
6.7.2 Auswirkung der Formgebung auf die Lehmstruktur	97
6.7.3 Auswirkung der Strukturbildung	98
6.8 Verdichtung	99
6.9 Trocknung	99
6.9.1 Auswirkung der Trocknung auf die Lehmstruktur	99
6.9.2 Auswirkung der Porengrößen auf die Trocknung	100
6.9.3 Trocknungsverlauf	100
6.9.4 Trocknungsgeschwindigkeit	102
6.9.5 Schwinden und Rißbildung	103
6.10 Vorgänge im trockenen Lehm	105
7 MATERIALEIGENSCHAFTEN	106
7.1 Einleitung	106
7.2 Dichte	106
7.2.1 Reindichte	106
7.2.2 Rohdichte	107
7.2.3 Schüttdichte	107
7.3 Festigkeit	107
7.3.1 Bindigkeit	107
7.3.2 Druckfestigkeit	108
7.3.2.1 Druckfestigkeit von Massivlehm	108
7.3.2.2 Druckfestigkeit von Lehmsteinen	109
7.3.2.3 Druckfestigkeit von Stampflehm	109
7.3.2.4 Druckfestigkeit von leichten Lehmteilen	110
7.3.2.5 Zusammenfassung	111
7.3.3 Zugfestigkeit	111
7.3.4 Biegezugfestigkeit von Strohlehm	112
7.4 Wärmetechnische Eigenschaften	113
7.4.1 Wärmeleitfähigkeit	113
7.4.2 Wärmespeicherfähigkeit	116
7.4.2.1 Spezifische Wärmekapazität bei mineralischen Zuschlägen	116
7.4.2.2 Spezifische Wärmekapazität bei organischen Zuschlägen	116
7.4.3 Wärmedämpfung	117
7.4.4 Verhalten gegenüber Wärmestrahlung	119
7.4.5 Wärmeeindringung	120

7.5 Verhalten gegenüber Feuchte	121
7.5.1 Wassergehalt bei Erdfeuchte	121
7.5.2 Wassergehalt bei Gleichgewichtsfeuchte	122
7.5.3 Wassergehalt bei schwankender Umgebungsfeuchte	122
7.5.4 Dampfdiffusionswiderstand	123
7.5.5 Kapillarität	124
7.6 Formänderungsverhalten	124
7.6.1 Schwinden und Kriechen	124
7.6.2 Wärmedehnung	125
7.6.3 Elastizitätsmodul	126
7.7 Schalltechnische Eigenschaften	126
7.8 Brandverhalten	127
7.9 Luftdurchlässigkeit von Strohlehm	131
7.10 Elektrische Leitfähigkeit	131
7.11 Weitere technische Eigenschaften	131
7.11.1 Konservierung organischer Stoffe	131
7.11.2 Nagelbarkeit	132
7.11.3 Erdbebensicherheit	132
7.11.4 Frostbeständigkeit	132
7.11.5 Farbe	132
7.11.6 Geruch	133
7.11.7 Geruchsbindung	133
7.11.8 Verträglichkeit	133
7.11.9 Umweltverträglichkeit (Primärenergieinhalt)	133
7.11.10 Regeneration	134
7.11.11 Radiästhetische Eigenschaften	134
7.11.12 Langzeitverhalten	135
7.11.13 Heilwirkungen	135
7.11.14 Psychologische Wirkungen	136
7.12 Randgebiete der Lehmforschung	136
8 ZUSATZMITTEL UND DEREN AUSWIRKUNGEN	138
8.1 Allgemeines	138
8.2 Ton	139
8.3 Kalk	140
8.4 Zement	141
8.5 Gips	142
8.6 Fäkalstoffe	143
8.7 Urin	144
8.8 Kasein	145
8.9 Molke und andere eiweißhaltige Stoffe	146

8.10 Seife	147
8.11 Stärkehaltige Stoffe	147
8.12 Kautschuk	147
8.13 Öle und ölhaltige Substanzen	148
8.14 Harze	150
8.15 Wachse	151
8.16 Erdölprodukte	151
8.17 Kunststoffe	153
8.18 Traß	153
8.19 Asche	153
8.20 Wasserglas	154
8.21 Soda	155
8.22 Salz	155
8.22.1 Huminsäure	156
8.23 Gerbsäure	156
8.24 Sulfitablauge	156
8.25 Verflüssigungsmittel der Keramik	157
8.25.1 Wäßrige Massen	158
8.25.2 Feuchte Massen	159
8.25.3 Trockene Massen	159
8.26 Verfestigungsmittel der Bodenmechanik	159
8.27 Porenbildner	160
8.28 Farbpigmente	160
8.29 Andere Naturstoffe	161
8.30 Wasser	161
9 ZUSCHLAGSTOFFE UND DEREN AUSWIRKUNGEN	162
9.1 Grundlagen	162
9.2 Mineralische Zuschläge	162
9.2.1 Sand	163
9.2.2 Kies	164
9.2.3 Splitt	164
9.2.4 Schamottmehl	165
9.2.5 Gesteinsmehl	165
9.2.6 Eisenspäne	166

9.3 Faserstoffe	166
9.3.1 Stroh	166
9.3.2 Dosierung des Strohzuschlages	166
9.3.2.1 Rohdichte bei Strohzuschlag	167
9.3.2.2 Unterschiedliche Lehmeigenschaften bei gleicher Dichte	167
9.3.2.3 Auswirkung der Verarbeitung von Strohlehm	168
9.3.2.4 Verwendung der Strohart	169
9.3.2.5 Mauken des Strohlehmes	170
9.3.2.6 Minimale Dichte von Strohlehm	170
9.3.2.7 Probleme des Strohzuschlages	172
9.3.3 Heu	173
9.3.4 Krautartige Faserstoffe	173
9.3.5 Seegrass	174
9.3.6 Hanf	174
9.3.7 Jute	174
9.3.8 Kunstfasern	174
9.3.9 Glasfasern	174
9.4 Kurzfasrige Stoffe	175
9.4.1 Haare	175
9.4.2 Baumnadeln	175
9.4.3 Flachsscheben	175
9.4.4 Hanfwolle	175
9.4.5 Strohhäcksel	176
9.4.6 Strohmehl	176
9.4.7 Spreu	176
9.4.8 Kokosfasern	177
9.5 Holzige Stoffe	177
9.5.1 Sägescharten	177
9.5.2 Hobelscharten	177
9.5.3 Hackschnitzel	177
9.5.4 Schwachholz	178
9.5.5 Staken	179
9.5.6 Papier	179
9.5.7 Zellulosefasern	179
9.5.8 Schilf	179
9.6 Mineralische dämmende Zuschläge	179
9.6.1 Blähton	180
9.6.2 Blähschiefer	182
9.6.3 Blähglimmer	182
9.6.4 Perlite	182
9.6.5 Sinterbims	182
9.6.6 Hüttenbims	182
9.6.7 Blähglas	182
9.6.8 Bims	182
9.6.9 Lava	183
9.7 Andere Stoffe	183
10 LEHMPRÜFVERFAHREN	184
10.1 Handprüfverfahren	184
10.1.1 Fingerdruckprobe	184
10.1.2 Formbarkeitsprobe	184
10.1.3 Fallprobe	184
10.1.4 Trockenbruchprobe	185

10.1.5 Schüttelprobe	185
10.1.6 Messerspitzenprobe	185
10.1.7 Schmier- oder Seifen-Probe	186
10.1.8 Händewaschprobe	186
10.1.9 Rollprobe	186
10.2 Abschätzverfahren zur Bestimmung der Lehmeigenschaften	187
10.2.1 Kauprobe	187
10.2.2 Farbprobe	187
10.2.3 Geruchsprobe	187
10.2.4 Salzsäureprobe	187
10.2.5 Sedimentationsprobe	188
10.2.6 Einfache chemische Analyse	188
10.2.7 Abschlammprobe nach Pollack	189
10.2.8 Abschlammprobe nach Minke	189
10.2.9 Aufschlammprobe nach Volhard	189
10.2.10 Aufschlammprobe nach Schwimann	189
10.3 Prüfung nach DIN 18 952	191
10.3.1 Bindigkeitsprüfung	191
10.3.1.1 Probenahme	191
10.3.1.2 Sieben	191
10.3.1.3 Aufbereitung	191
10.3.1.4 Normsteife	192
10.3.1.5 Prüfkörper	193
10.3.1.6 Zerreiprüfung	193
10.3.2 Trockendruckfestigkeitsprüfung nach DIN 18 954	194
10.3.3 Trockenschwindprüfung nach DIN 18 952	195
10.3.4 Dichteprüfung nach DIN 18 953	196
10.3.5 Wasserzerfallsprüfung nach DIN 18 952	196
10.3.6 Sieb- und Schlämmanalyse nach DIN 18 123	196
10.4 Weitere Prüfverfahren	196
10.4.1 Wassergehaltsprüfung	196
10.4.2 Proctorversuch – optimale Verdichtungsfeuchte	196
10.4.3 Abriebfestigkeitsprüfung	197
11 LEHMBAUORDNUNG	198
11.1 Geschichte des Normungswesens	198
11.2 Die DIN-Lehmnormen	200
11.3 Zeitgemäe Lehmnormen	203
11.4 Derzeitige Genehmigungspraxis	203
11.5 DIN-Prüfverfahren, Analysen und Vorschläge	204
11.5.1 Zerreiprüfung	204
11.5.2 Schwindmaßprüfung	207
11.5.3 Druckfestigkeitsprüfung	207
11.5.4 Feststellung der Rohdichte	209
11.5.5 Aufschlammbarkeit und Abschwemmbarkeit	210
11.6 DIN-Konstruktionsbestimmungen, Analysen und Vorschläge	210
11.6.1 Bauweisen	210
11.6.2 Festlegung der statischen Belastbarkeit	211
11.6.2.1 Unklarheiten in den Lehmnormen	211

11.6.2.2 Rohdichte und Festigkeit	211
11.6.2.3 Kriterien für die Belastbarkeit von Lehmischungen	211
11.6.3 Skelettbauten	213
11.6.4 Wärmeschutz	214
11.6.5 Brandverhalten	214
11.6.6 Decken	215
11.6.7 Kamine	215
11.7 Vorschlag für ein Genehmigungsverfahren	216
11.7.1 Prüfinstitut	216
11.7.2 Lehmprüfverfahren	216
11.7.3 Statik	218
11.7.3.1 Tragende Bauweisen	218
11.7.3.2 Skelettbauweisen	219
11.7.4 Wärmeschutz	220
11.7.5 Brandschutz	220
11.7.6 Durchführung	221
12 LEHM UND FORM	222
12.1 Vorschläge zur Bauweise und zur Konstruktion	222
12.1.1 Leichtlehmsteinbau	222
12.1.2 Kombination leichter und massiver Lehme	223
12.1.3 Elementierte Stampfbauweisen	224
12.1.4 Verbundbauweisen	224
12.2 Vorschläge zu Konstruktion und Gestalt	225
12.2.1 Traditionelle Gebäudeformen	225
12.2.2 Flachdach für Lehmbauten	226
12.2.2.1 Verbesserungen	226
12.2.2.2 Gewölbte Bauweisen	226
12.2.2.3 Verbesserungen	228
12.2.2.4 Parabolische Gewölbe	229
12.2.2.5 Domes	230
12.2.3 Lehmgerichte Grundrisse	231
12.2.4 Äußere Gestalt	232
13 ZUSAMMENFASSUNG	233
LITERATUR	236
INDEX	244