

Vortragsreihe Nachhaltiges Bauen, Brandenburgische Architektenkammer und FH Potsdam

07.06.2023

LEHM, HOLZ & CO

Beitrag des Lehmbaus zur Bauwende – Einsatzmöglichkeiten und Grenzen

Prof. Dr.-Ing. Christof Ziegert, ZRS Ingenieure, Honorarprofessur Lehm- und Holzbau an der FHP



30 Jahre Dachverband Lehm e. V.

- Lehmbau Regeln
- Technische Merkblätter
- DIN Normen
- Umweltproduktdeklaration von genormten Lehmbaustoffen
- Weiterbildung Fachkraft Lehmbau (DVL), allein 2022: 120 AbsolventInnen
- Onlinesuche für regionale Fachkräfte und –planerInnen im Lehmbau
- <https://www.dachverband-lehm.de>
- u.v.m.



ZRS INGENIEURE GmbH, Berlin



ZRS ARCHITEKTEN INGENIEURE

(2023: 75 ArchitektInnen und IngenieurInnen)

ZRS Verwaltungs GbR

- Office Management, PR, IT

ZRS Architekten GvA mbH

- 6 GF u.a. Eike Roswag-Klinge

ZRS Ingenieure GmbH

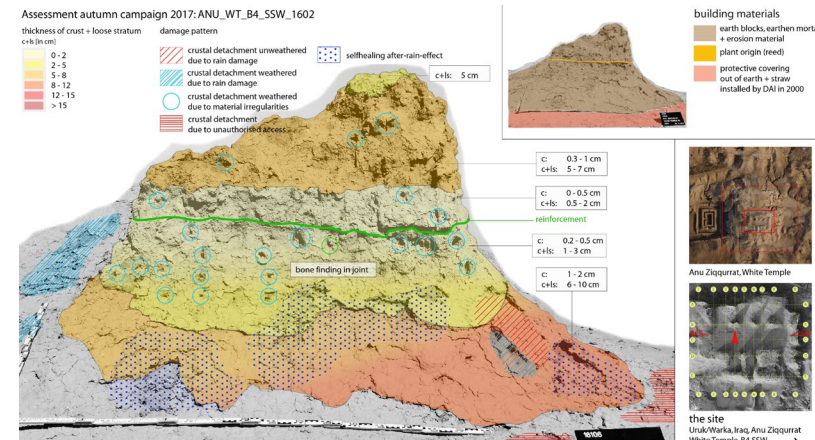
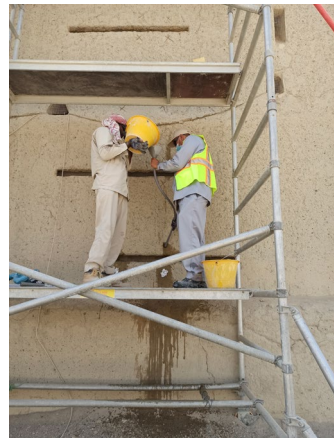
- **GF Uwe Seiler**, Tragwerksplanung, Spezialisierung Holzbau
- **GF Christof Ziegert**, Fachplanung Lehm- und Ziegelbau, Sachverständiger für Schäden im Lehm- und Ziegelbau (IHK), Vorstand Dachverband Lehm e. V., Obmann des Normenausschuss Lehm- und Ziegelbau NA 005-06-08 AA beim DIN Deutschem Institut für Normung e.V.
- **hausteigendes Labor** in Berlin



ZRS INGENIEURE GmbH, Berlin



- Tragwerksplanung und Fachplanung Lehmnbau (Neubau, Sanierung, Konservierung)
- Zustimmung im Einzelfall (ZiE), Fremdüberwachung
- Gutachten, Analyse der Schadensmechanismen



ZRS INGENIEURE GmbH, Berlin



- Materialprüfung und –analyse
- Materialentwicklung und Rezepturoptimierung
- Baulehmprüfung
- Forschung
- Wissenstransfer

ZRS ARCHITEKTEN INGENIEURE

BAUEN IN DER ENTWICKLUNG SZUSAMMENARBEIT

Ableitungen aus der lokalen Bautradition / lokalen Ressourcen: Meti School, Rudrapur, Bangladesch, 2003

Architektur :: Anna Heringer & ZRSA, Tragwerksplanung, Fachplanung Lehm- und Bambusbau :: ZRSI



Fotos © ZRS

ZRS ARCHITEKTEN INGENIEURE

SANIERUNG

Al Jahili Fort, Al Ain, U.A.E., 2010



ZRS ARCHITEKTEN INGENIEURE

SANIERUNG, ERWEITERUNG

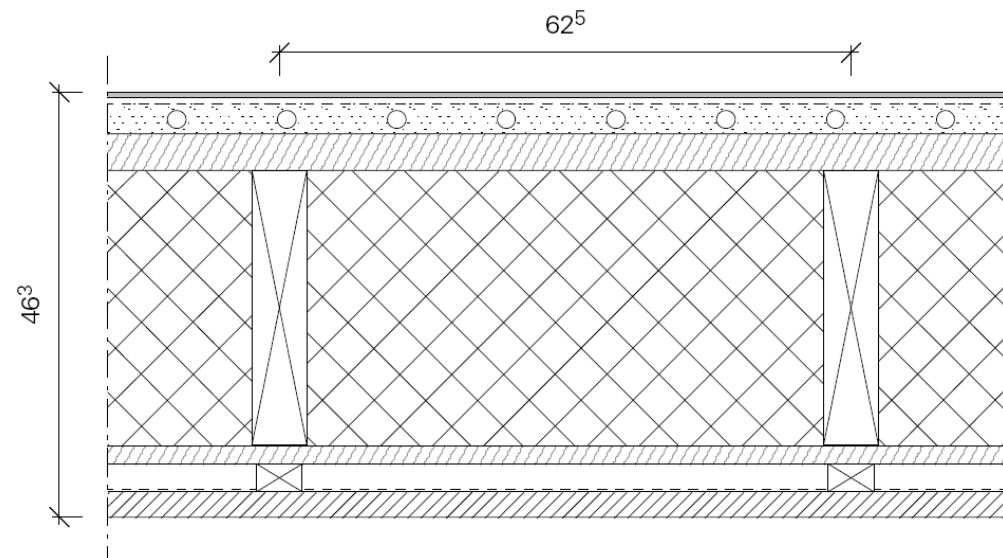
Aufstockung ehemaliges Waschhaus Berlin, 2012



ZRS ARCHITEKTEN INGENIEURE

SANIERUNG, ERWEITERUNG – LEHMBAUSTOFFE IM HOLZBAU

Aufstockung ehemaliges Waschhaus Berlin, 2012



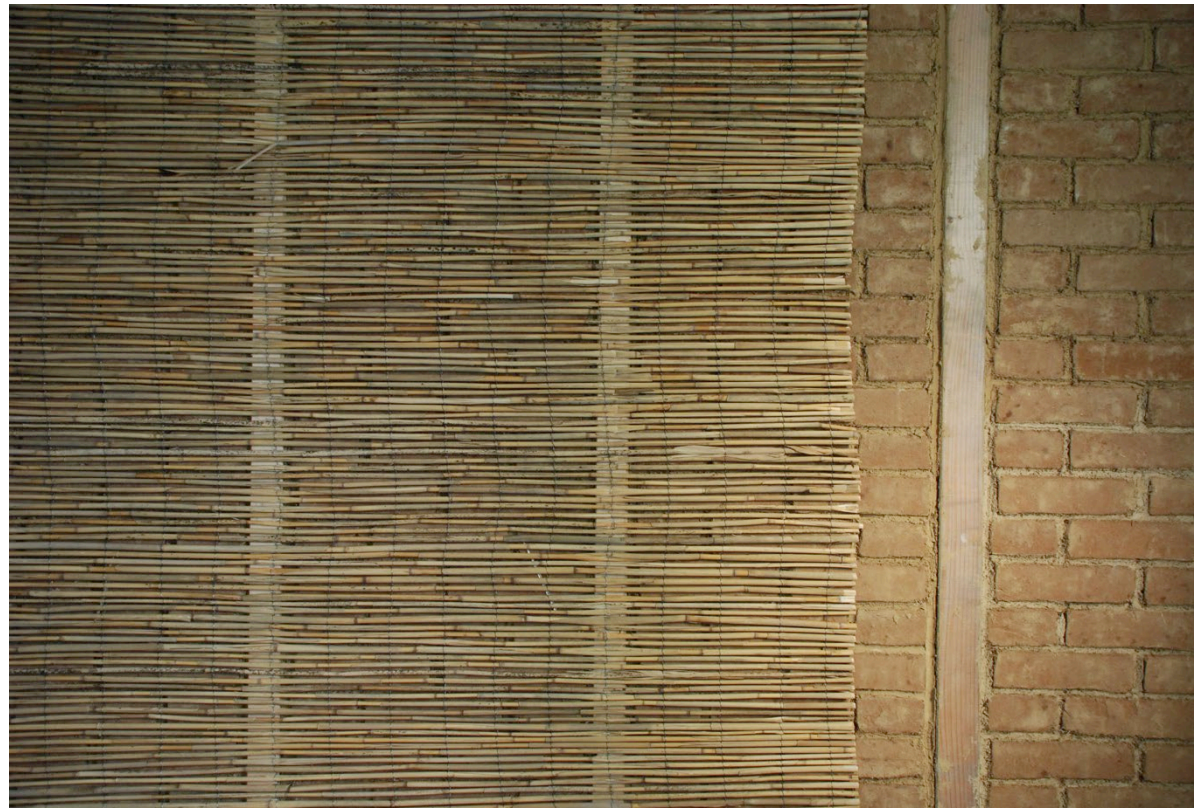
Außenwand, diffusionsoffen, hinterlüftet
(von Innen nach Außen)

Lehmfeinputz	5 mm
Lehmputz / ggf. mit Wandheizung	40 mm
Holzfaserplatte	40 mm
Holzständer 6/30cm bzw. Cellulose	300 mm
Holzfaserplatte	20 mm
Traglattung vertikal 3/5cm	30 mm
Insektenschutzgaze	
z.B. Lärchenholzfassade, horizontal	28 mm

ZRS ARCHITEKTEN INGENIEURE

SANIERUNG, ERWEITERUNG – LEHMBAUSTOFFE IM HOLZBAU

Aufstockung ehemaliges Waschhaus Berlin, 2012



Fotos © ZRS

ZRS ARCHITEKTEN INGENIEURE

SANIERUNG, ERWEITERUNG – LEHMBBAUSTOFFE IM HOLZBAU

Aufstockung ehemaliges Waschhaus Berlin, 2012



Fotos © ZRS

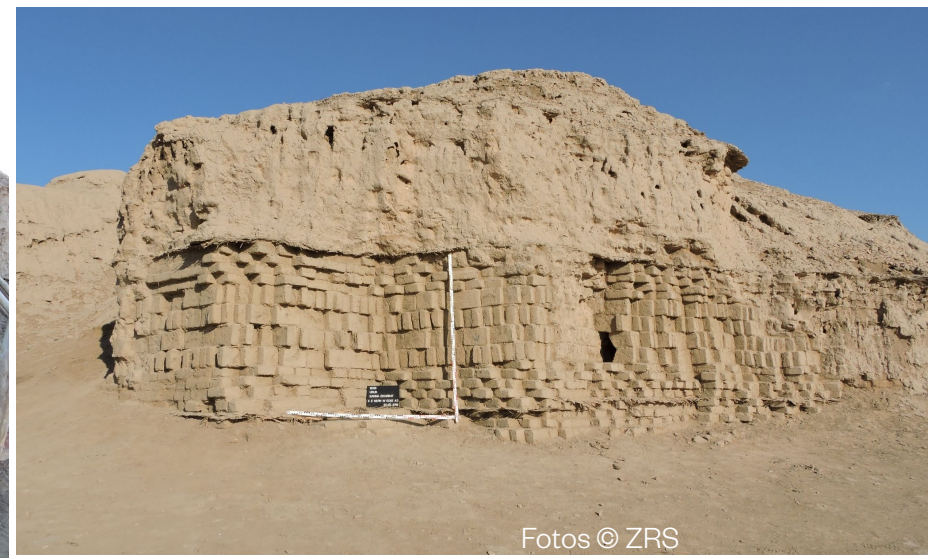
ZRS INGENIEURE

KONSERVIERUNG

Uruk, Südirak, Eanna-Zikkurra, ca. 2500 BC, 2018



© artefacts-berlin.de; material: DAI



Fotos © ZRS

ZRS INGENIEURE

KONSERVIERUNG

Uruk, Südirak, Weißer Tempel, ca. 3500 BC, 2022



ZRS Ingenieure

KAPELLE DER VERSÖHNUNG IN BERLIN, 2000

Architektur :: Rudolf Reitermann & Peter Sassenroth

Stampflehm :: Martin Rauch, Lehm Ton Erde GmbH

Fachplanung Lehmbau :: Dierks Babylon Vogt Beratende Ingenieure, Christof Ziegert

Tragwerksplanung :: Pichler Ingenieure GmbH



ZRS Ingenieure

ALNATURA CAMPUS IN DARMSTADT, 2016

Architektur :: haas cook zemmerich

ZiE, Fremdüberwachung :: ZRS Ingenieure GmbH

Stampflehm :: Martin Rauch, Lehm Ton Erde GmbH

Tragwerksplanung :: Knippers Helbig



Meditationshaus Falkensee, Fertigstellung 2019

Architektur: Gerion Legge Architekten

Tragwerksplanung: ZRS Ingenieure



Foto: Guir Rebelo

Meditationshaus Falkensee, Fertigstellung 2019

Architektur: Gerion Legge Architekten

Tragwerksplanung: ZRS Ingenieure



Foto: Guir Rebelo

Besucherzentrum Pömmelte, Fertigstellung 2023

Architektur: Sussmann & Sussmann Architekten

Tragwerksplanung: ZRS Ingenieure

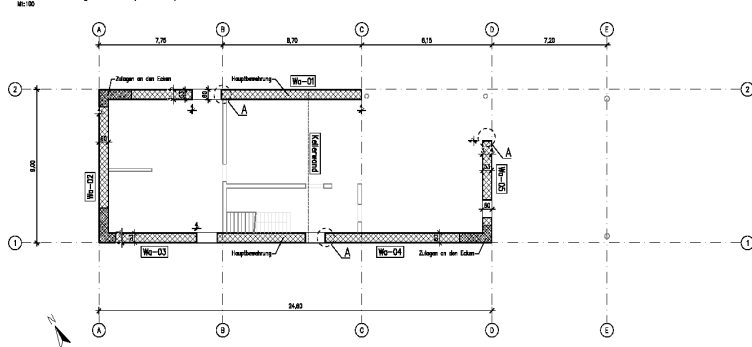


Eröffnung Touristeninformationszentrum Pömmelte

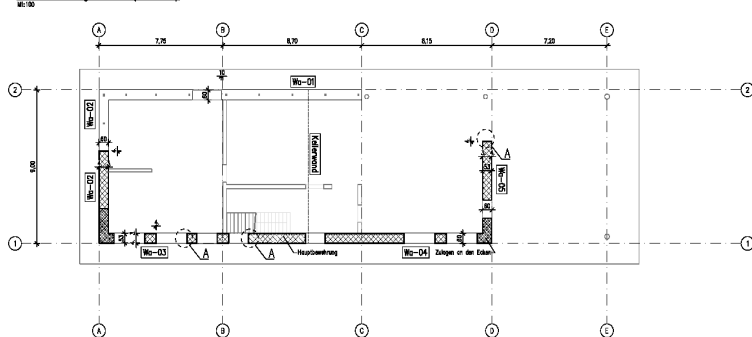
In freudiger Erwartung schauen wir auf den 5. Mai. Mit der Eröffnung des Touristeninformationszentrum (TIZ) am Ringheiligtum in Pömmelte erhält Sachsen-Anhalt seinen **ersten modernen Stampflehm-Neubau**. Natürlich werden wir an diesem Tag mit vor Ort sein und auf allen Kanälen davon berichten.



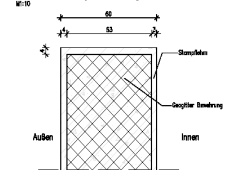
Grundriss Erdgeschoss (+1.00m)



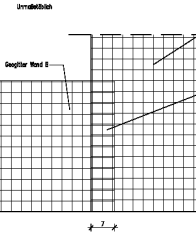
Grundriss Erdgeschoss (+2.90m)



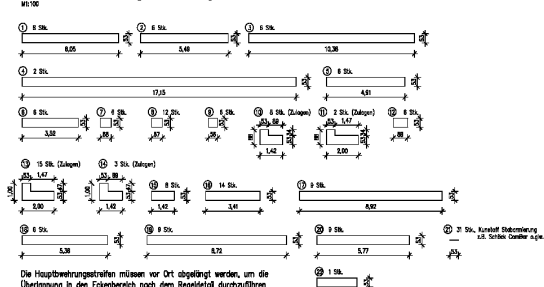
Detail A – Regeldetail Grundriss Wandende mit Bewehrung aus Geogitter



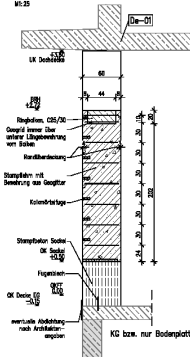
Regeldetail für die Übergreifung der Hauptbewehrung Geogitter



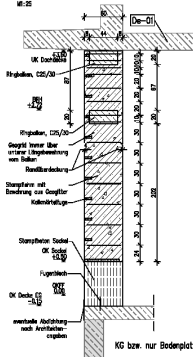
Schneideskizze zur Geogitterbewehrung



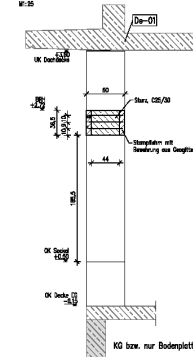
Schnitt 1-1



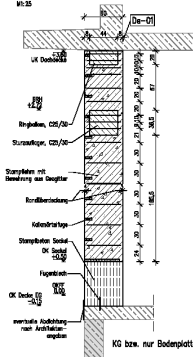
Schnitt 2-2



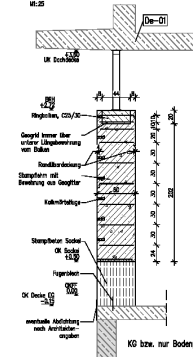
Schnitt 3-3



Schnitt 4-4

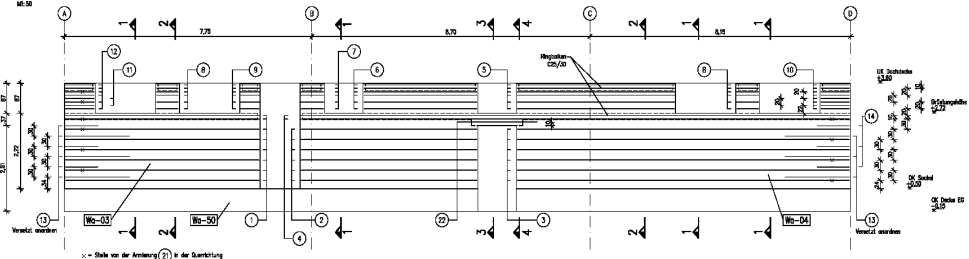


Schnitt 5-5

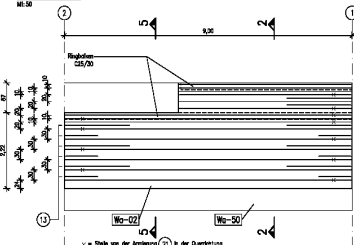


In den Schnitten wird lediglich die Hauptbewehrung dargestellt.
In den Ecken werden immer auch Zügel eingestampft, wie in den Ansichten gezeigt.

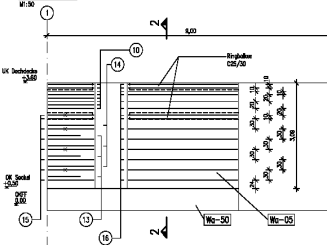
Ansicht Süd



Ansicht West



Ansicht Ost



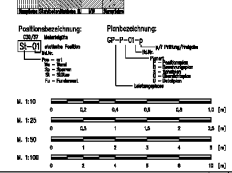
Materialien
Alle im Entwurf angegebenen Materialien sind in der Ausführung zu verwenden. Die Ausführung ist nach den Angaben in den Zeichnungen zu erfolgen.
Die Ausführung ist nach den Angaben in den Zeichnungen zu erfolgen.
Die Ausführung ist nach den Angaben in den Zeichnungen zu erfolgen.

Baustoffeangabe nach DIN 104					
Bezeichnung	Einheit	Preis	Einheit	Preis	
Stahl	kg	1,20	Stahl	kg	1,20
Stahl	kg	1,20	Stahl	kg	1,20
Stahl	kg	1,20	Stahl	kg	1,20
Stahl	kg	1,20	Stahl	kg	1,20

Die Ausführung ist nach den Angaben in den Zeichnungen zu erfolgen.
Die Ausführung ist nach den Angaben in den Zeichnungen zu erfolgen.
Die Ausführung ist nach den Angaben in den Zeichnungen zu erfolgen.

HÖHENZUG: 0,00 m = OFF ist Anstaltsebene, Stand 05.06.2020

Legende:



dazugehörige Pläne

(In der aktuell gültigen Fassung, siehe Planliste)
AP-5-10 Schalung Stumpfbettmaterial EG
AP-5-20 Schalung Stumpfbettmaterial EG
AP-5-30 Schalung Stumpfbettmaterial EG
AP-5-40 Schalung Stumpfbettmaterial EG
AP-5-50 Schalung Stumpfbettmaterial EG

Informationen zum Projekt

Projekt: Informationszentrum
Rathausgasse 1
Bewehrungsplan Stumpfbettmaterial EG
Grundriss, Schnitt und Details

Zeichner: [Name]
Gezeichnet: [Name]
Geprüft: [Name]
Datum: 05.06.2020

Forschungshäuser 2.0 Bad Aiblingen
Florian Nagler Architekten
ZRSI ZfE für Lehmstein-Holz-Hybridbau

Fotos: ZRSI



Überlieferte Wahrnehmung des Lehmbaus im 18. und frühen 19. Jh.:

Selbstverständlicher, naheliegender Massivbaustoff (ca. 200.000 Gebäude)



Fotos © ZRSI

Überlieferte Wahrnehmung des Lehmbaus im 18. und frühen 19. Jh.:

Selbstverständlicher, naheliegender Ausfachungsbaustoff (ca. 2 Mill. Gebäude)



- hohe Kapillaraktivität: $A_w = 0,13 \dots 0,35$

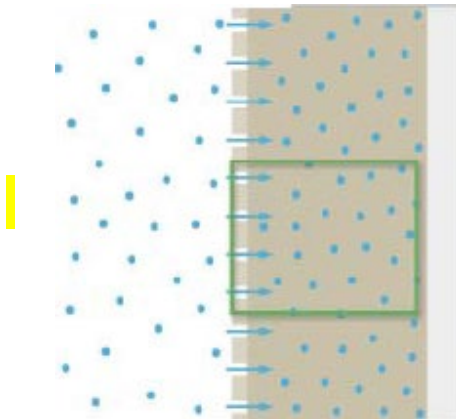
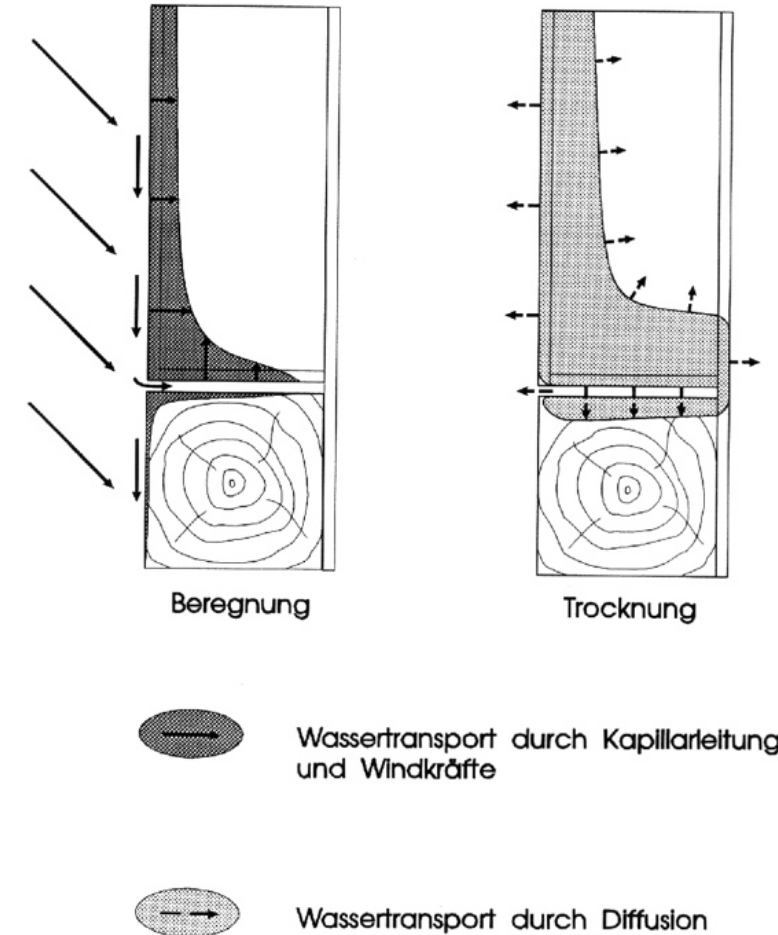
(Kalkmörtel $A_w = 0,04 \dots 0,12$; Kalkzementmörtel: $A_w = 0,02 \dots 0,15$; Porenbetonkleber $A_w = 0,01$)

- hohe Verdunstungsleistung da niedriger Diffusionswiderstand: $\mu = 5 \dots 13$

(Kalkmörtel $\mu = 10 \dots 30$; Kalkzementmörtel: $\mu = 12 \dots 35$; Porenbetonkleber $\mu = 25 \dots 55$)

- elastisch (niedriger Elastizitätsmodul): $E = 200 \dots 600 \text{ N/mm}^2$

(andere Ausfachungsbaustoffe $E = 500 \dots 3500 \text{ N/mm}^2$)



Fachwerkhaus in den 1980er Jahren „saniert“, Homberg (Ohm)

So bitte nicht!

Ersatz der Lehmausfachungen durch Ziegel in Kalk-Zement-Mörtel



Fotos: ZRS

Sanierung eines Fachwerkhaus in den 1980er Jahren , Homberg

So bitte nicht!

- seitlich im Stiel vorhandene Stakennut und –Kerben als Hinweis auf die ursprüngliche Ausfachung mit Staken, Flechtwerk und Strohlehmbewurf
- Hochlochziegel der Gefachausmauerung mit Kalkzementmörtel und seitlichem Mörtelschloss
- oberflächlich schwarz verfärbte Mineraldämmwolle



Fotos: ZRS

Sanierung eines Fachwerkhaus in den 1980er Jahren , Homberg

So bitte nicht!

- Riss im Übergang zwischen Ziegelstein oben und Porenbetonstein unten
- Hervortreten von Gefachen
- Grüne Algen zwischen Gefachputz und Anstrichsystem sowie im Lichtbereich der Schwindfuge
- nach Entfernung des Gefachputzes, Fruchtkörper vom großporigen Feuerschwamm



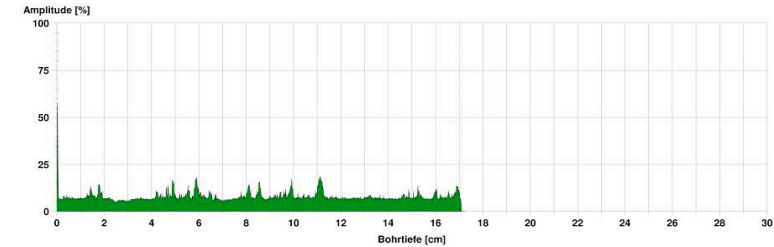
Fotos: ZRS

Sanierung eines Fachwerkhaus in den 1980er Jahren , Homberg

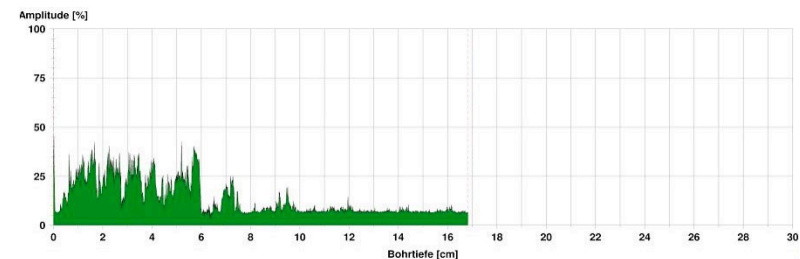
So bitte nicht!

mit Bauschaum ausgefüllte Querschnittsschwächung der Schwelle

Stütze: vorderer Bereich braunfaule Moderfäule, hinterer Bereich weißfaul durch
Feuerschwamm, Querschnitt zu 70 Masse-% geschädigt
Schwelle: vorderer Bereich braunfaule Moderfäule, hinterer Bereich
weißfaul durch Feuerschwamm Querschnitt zu 80 Masse-%
geschädigt



Bohrwiderstandsmessung



Fotos und Abbildungen: ZRS

Neuausfachung aus Lehmsteinmauerwerk

Für verputzte, der Witterung ausgesetzte Fachwerkausmauerungen werden gemäß DIN 18948:2018-12

Lehmsteine der Klasse Ia gefordert: homogene feste Struktur sowie ausreichende Wasser- und Frostfestigkeit

Verformungen durch Quellen und Schwinden dürfen nur in geringem Maß auftreten.

Rohdichte (800) 1000 bis 1200 kg/m³



Überlieferte Wahrnehmung des Lehmbaus in den 1950ern:

Lehmbau = Notbaustoff in Nachkriegs-Mangelwirtschaft



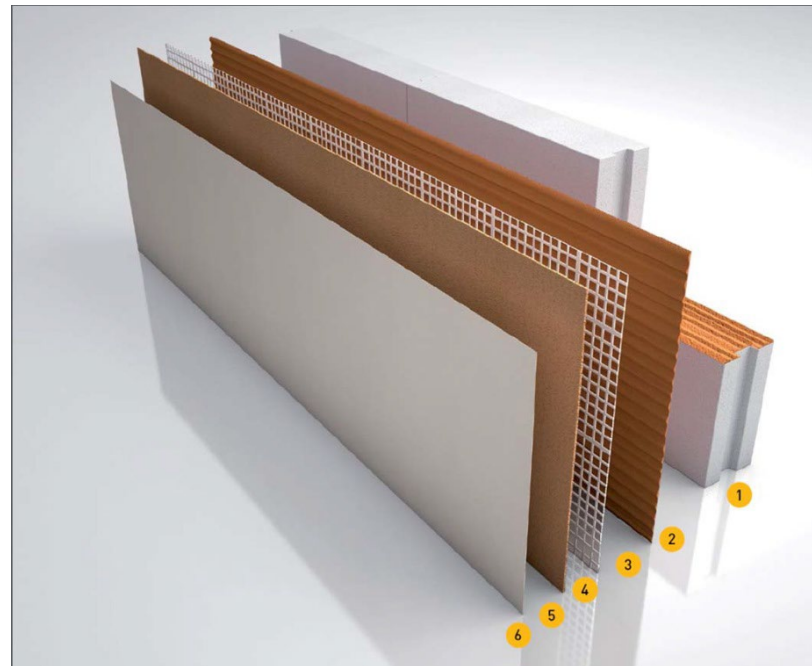
Allgemeine Wahrnehmung des Lehmbaus in den 1990ern:

Lehmbau = Ideologie, Selbsthilfe und runde Ecken



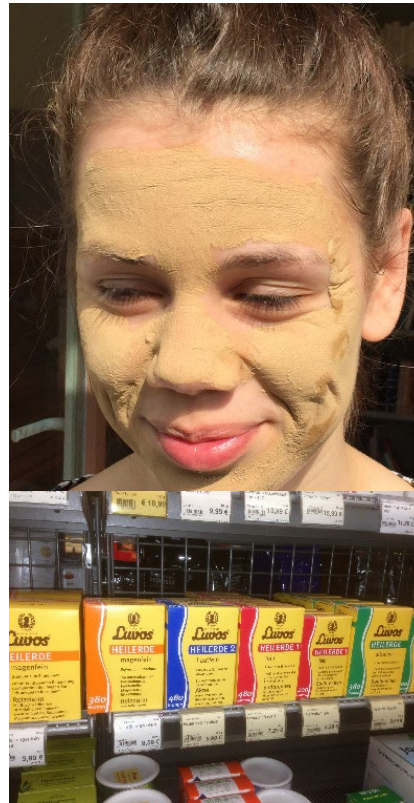
Allgemeine Wahrnehmung des Lehmbaus 2021:

Lehmbaumstoffe sind „normal“ und durchdringen konventionelle Marktsegmente



Allgemeine Wahrnehmung des Lehmbaus 2021:

Lehmbau = gutes Raumklima, Gesundheits- und Lifestilebaustoff, Stampflehmbau



© haas cook zemmrich

2023

?



© ZRSI

Kreislaufgerechtigkeit von Lehmbaustoffen

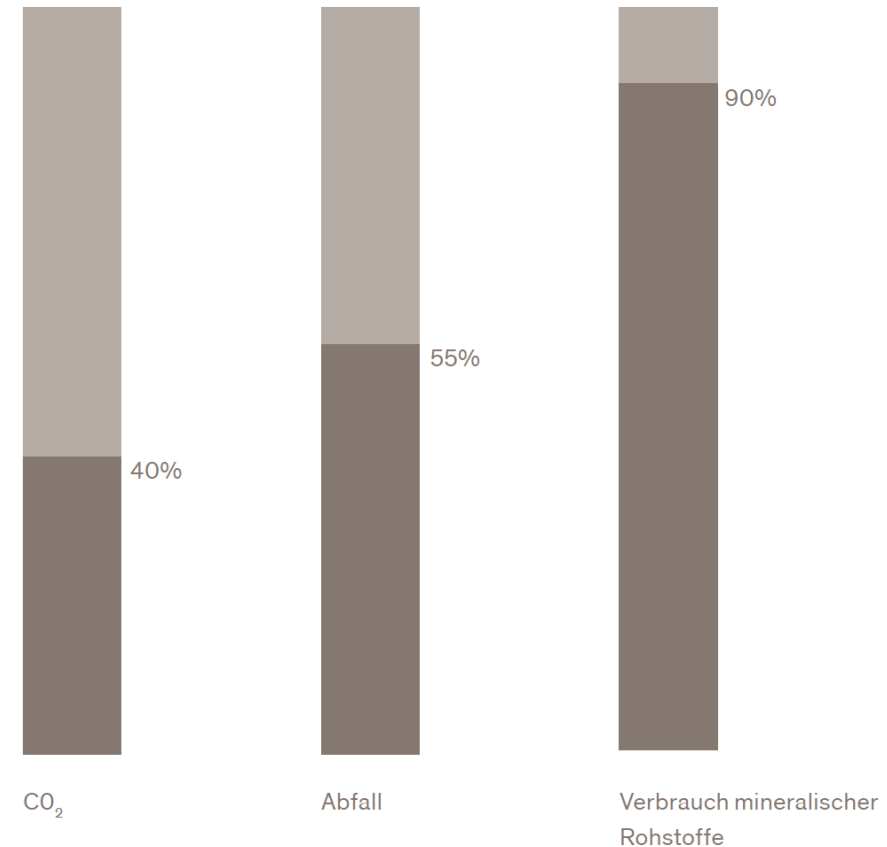
Umwelteinflüsse

der Bauwirtschaft in Deutschland

CO₂: Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland,
BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020

Mineralischer Rohstoffverbrauch: F. Pichlmeier,
Ressourceneffizienz im Bauwesen - von der Planung bis zum
Bauwerk, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Mai
2019

Abfallaufkommen: Statistisches Bundesamt, Abfallbilanz,
Wiesbaden, 2019



CO₂: Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland, BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020
Mineralischer Rohstoffverbrauch: F. Pichlmeier, Ressourceneffizienz im Bauwesen - von der Planung bis zum Bauwerk, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Mai 2019
Abfallaufkommen: Statistisches Bundesamt, Abfallbilanz, Wiesbaden, 2019

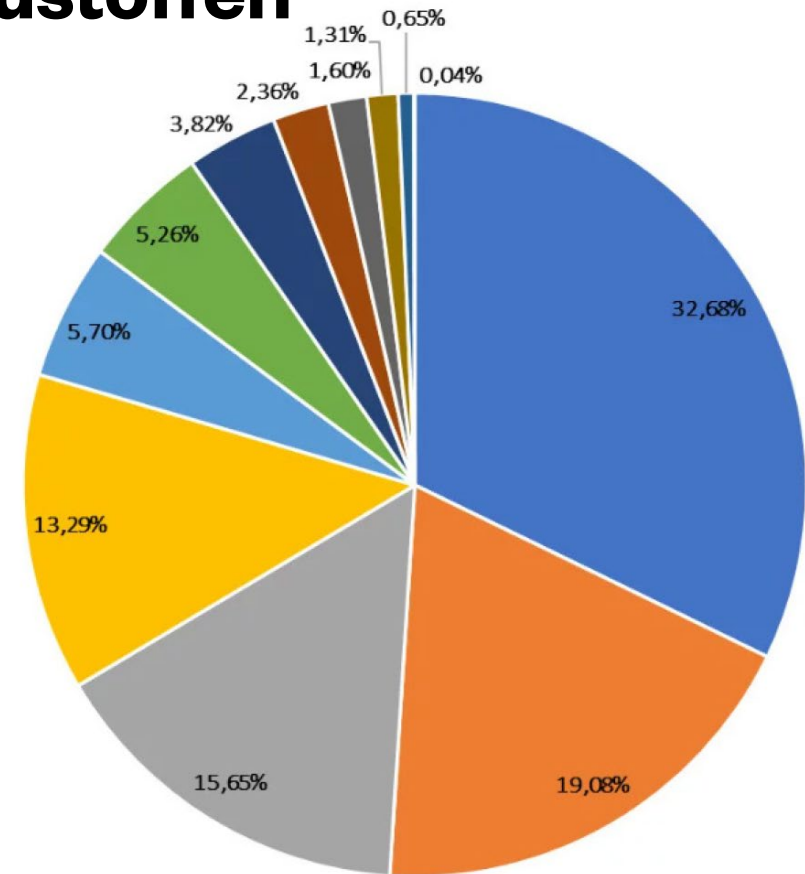
© Blocher GmbH

Kreislaufgerechtigkeit von Lehmbaustoffen

Anteil der Grauen Energie eines MFH

nach Kostengruppen

- 330 Außenwände
- 350 Decken
- 320 Gründung
- 340 Innenwände
- 420 Wärmeversorgung
- 460 Förderanlagen
- 360 Dach
- 410 Abwasser, Wasser, Gas
- Sonstige
- 440 Starkstrom
- 450 Fernmelde-, Informationstechnik
- 430 Lufttechnische Anlagen



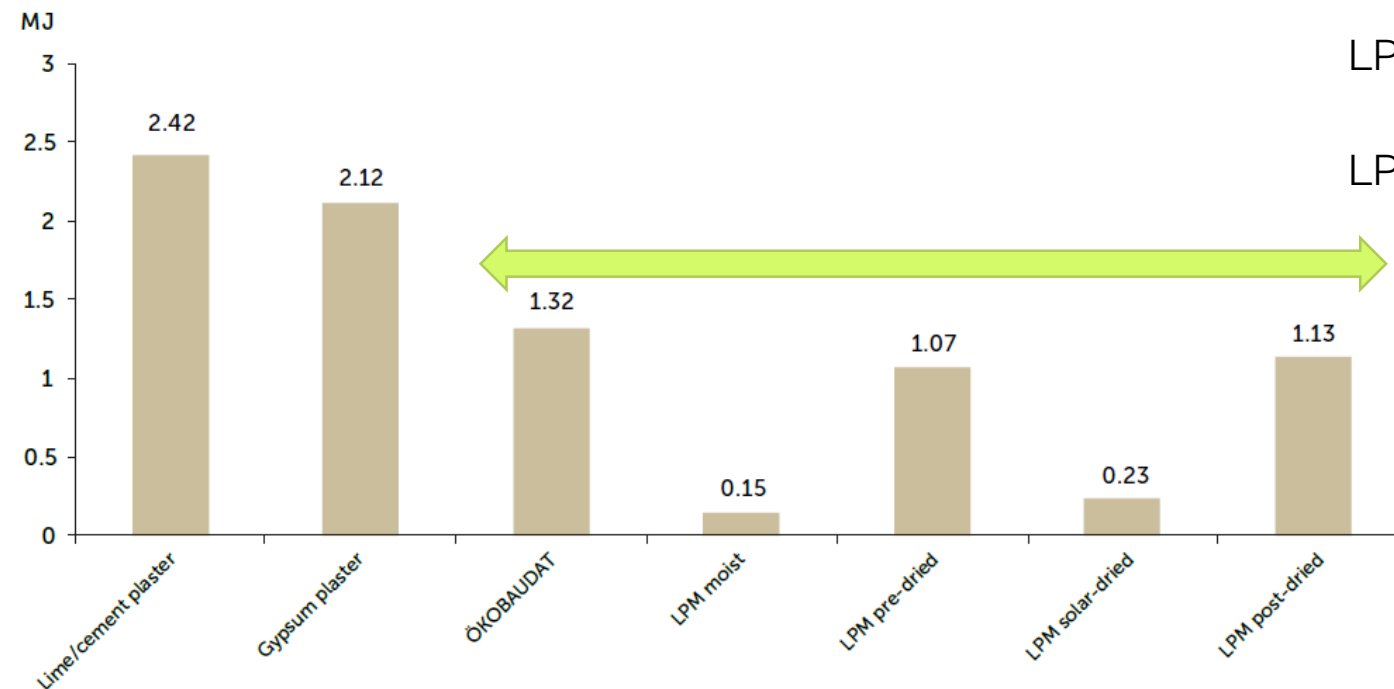
Anteile verschiedener Kostengruppen (KG) an der Grauen Energie eines Mehrfamilienhauses mit 11 Wohneinheiten über einen Zeitraum von 50 Jahren.
Nach Zimmermann & Reiser, 2020

© Zimmermann & Reiser, 2020

Kreislaufgerechtigkeit von Lehmbaustoffen

Lebenszyklus

THE ECOLOGICAL LIFE CYCLE ASSESSMENT OF EARTH BUILDING MATERIALS



LPM erdfeucht:

zu Kalkzementputz: Faktor 16

zu Gipsputz: Faktor 14

LPM post-dried:

zu Kalkzementputz: Faktor 2,2

zu Gipsputz: Faktor 1,9

02 Comparison of the total primary energy input PET of common mineral and earth plaster mortars

© Schroeder, H., Lemke, M., 2020

Was macht den Lehmbau 2023 aus?

Lehmbau = wesentlicher Teil der notwendigen Bauwende mit massentauglichen, geregelten Produkten und Systemen vor allem im Bereich Putze, Trockenbau und Lehmsteinmauerwerk. Wenn möglich Nutzung von lokalem Aushub; möglichst aus der Baugrube → Stampflehm ?!



WELEDA LOGISTIKZENTRUM IN SCHWÄBISCH GMÜND, 2021 bis 2023

Architektur :: Michelgroup Architekten

Stampflehmbau :: Hubert Heinrichs

Tragwerksplanung, Fachplanung Lehmbau, Materialentwicklung :: ZRS Ingenieure GmbH

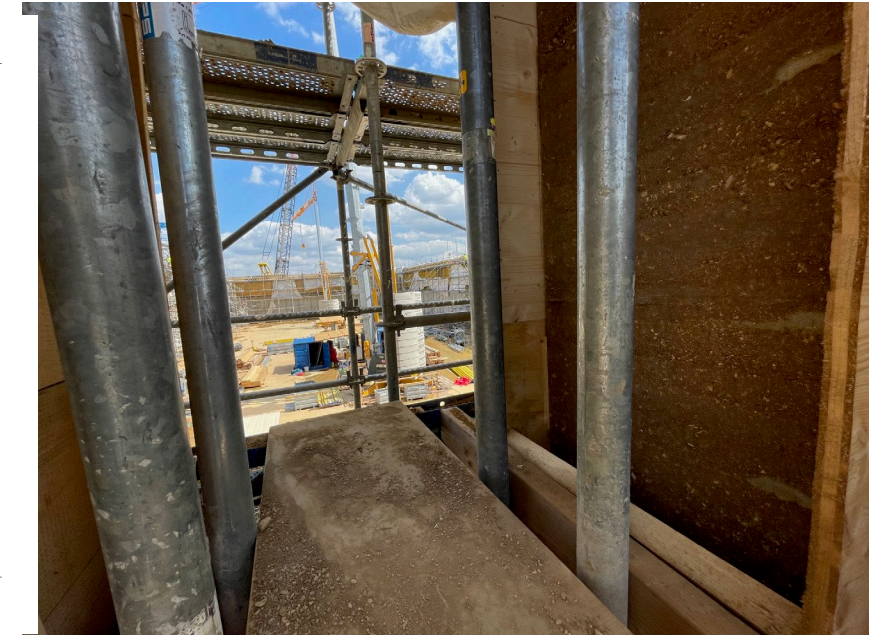
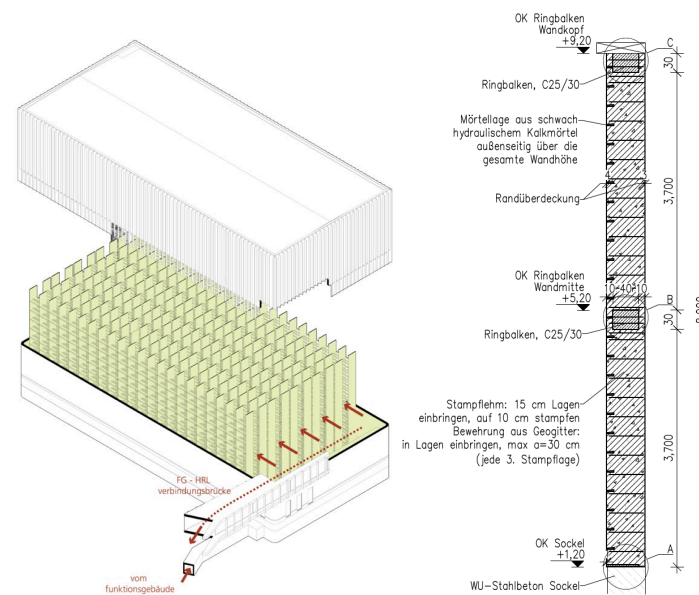


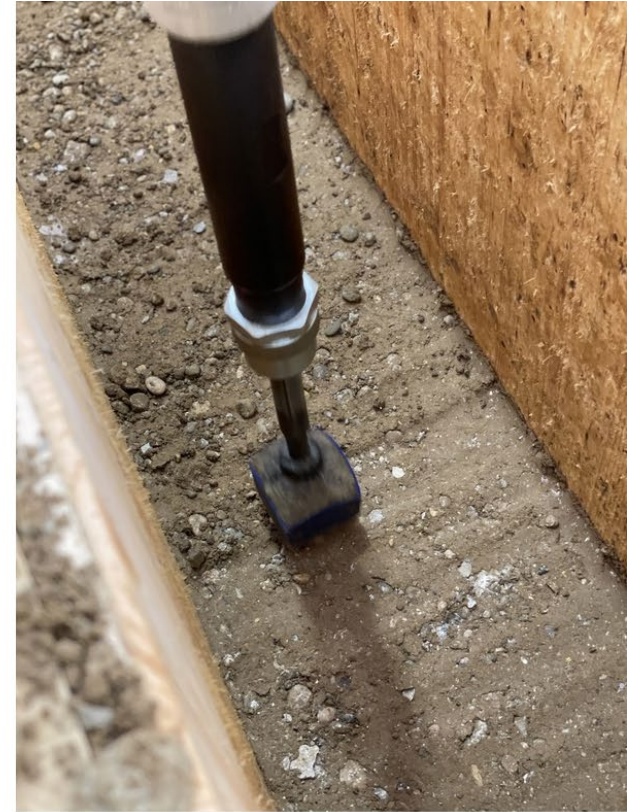
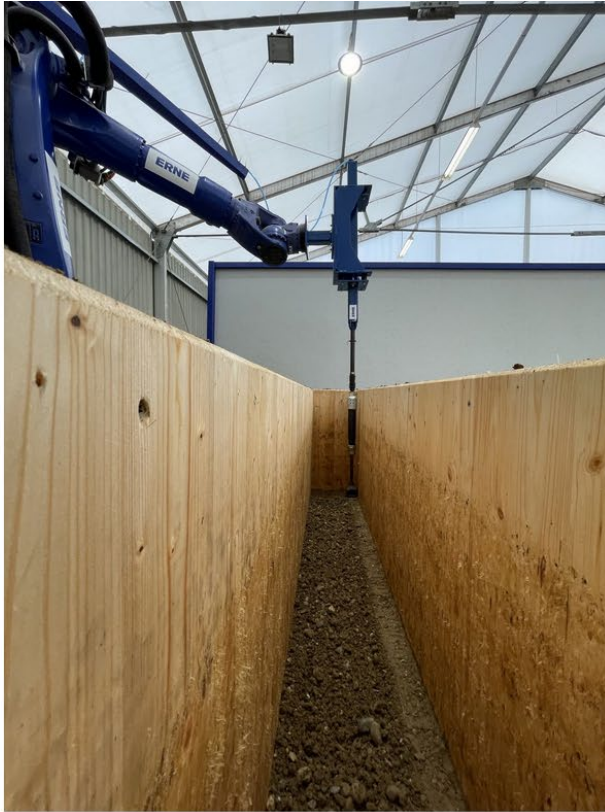
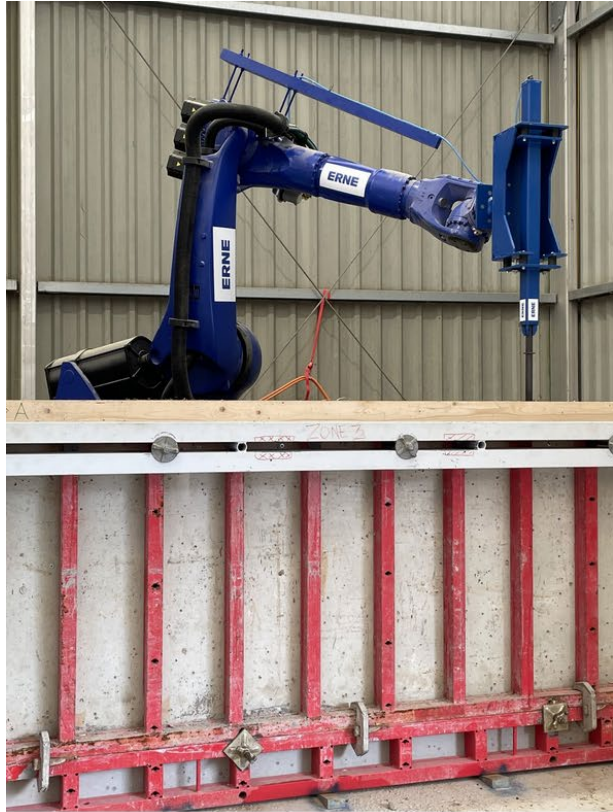
WELEDA LOGISTIKZENTRUM IN SCHWÄBISCH GMÜND, 2021

Architektur :: Michelgroup Architekten

Stampflehm :: Hubert Heinrichs

Tragwerksplanung Stampflehmteile, Fachplanung Lehmnbau, Materialentwicklung :: ZRS Ingenieure GmbH





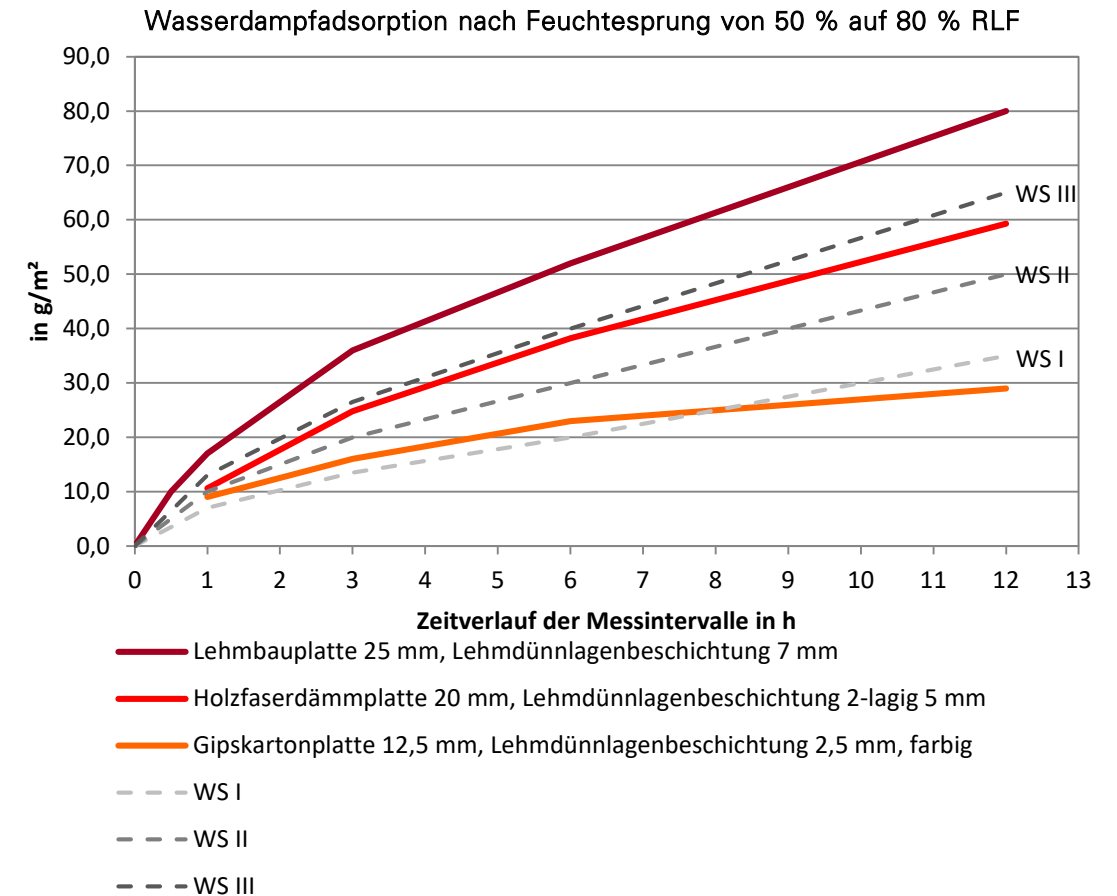
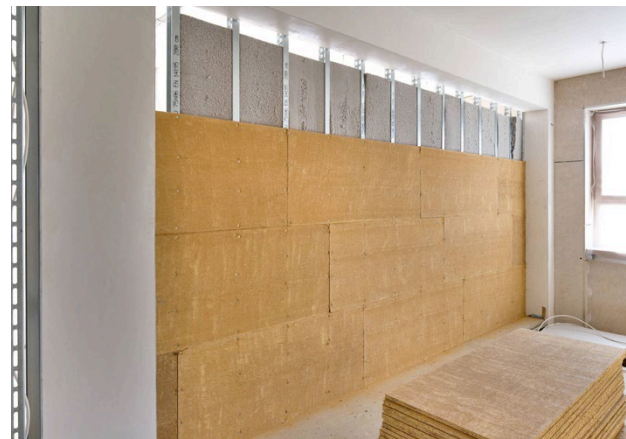
Lehm als zeitgemäßer Baustoff

Lehmplatten

Denkmal „Altes
Abgeordnetenhaus“ Bonn,

heute: UN Campus,
Klimareferat der Vereinten
Nationen

Architektur :: RKW DD



Lehmplatten

Lehmbaustoffe im Holzbau

Büro- und Produktionsgebäude Artis, Berlin, 2012



Lehmplatten

Lehmbaustoffe im Holzbau

Büro- und Produktionsgebäude Artis, Berlin, 2012

Deckenbeplankung aus
Lehmplatten mit
Lehmdünnlagen-
beschichtung



Lehmplatten

Lehmbaustoffe im Holzbau: Schalldämmmaß [in dB]

Schallschutz: schallabsorbierend da niedriger dynamischer E-Modul

Akustik: „weich“, geringer Hall

Claytec LP 20 mm

Spezialprofil Fa. Protector

Vorsatz-Schalen	Hohlraum	Grünlinge	Dämmstoff	Dämmwolle
Zwischenraum 6 cm	8 dB	8 dB	21 dB	25 dB
Zwischenraum 8 cm	10 dB	11 dB	23 dB	27 dB
Zwischenraum 10 cm	12 dB	15 dB	25 dB	29 dB
Trennwände				
Zwischenraum 6 cm	47 dB	46 dB	51 dB	54 dB
Zwischenraum 8 cm	49 dB	48 dB	53 dB	56 dB



Zum Vergleich, GKP 10 mm:

GKP, 8 cm Profil, 2 mal 1-lagig beplankt: 44 dB

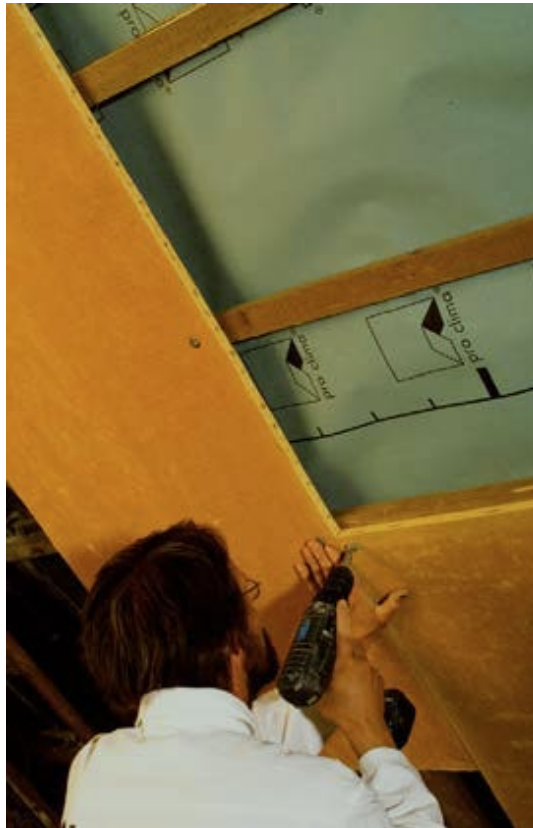
GKP, 8 cm Profil, 2 mal 2-lagig beplankt: 53 dB

GKP, 8 cm Profil, 2 mal 3-lagig beplankt: 55 dB



Lehmplatten

zur Beplankung



als „Trockenputz“ zur Bekleidung



Lehmplatten

als Wandheizelement integriert / belegbar nach Wahl



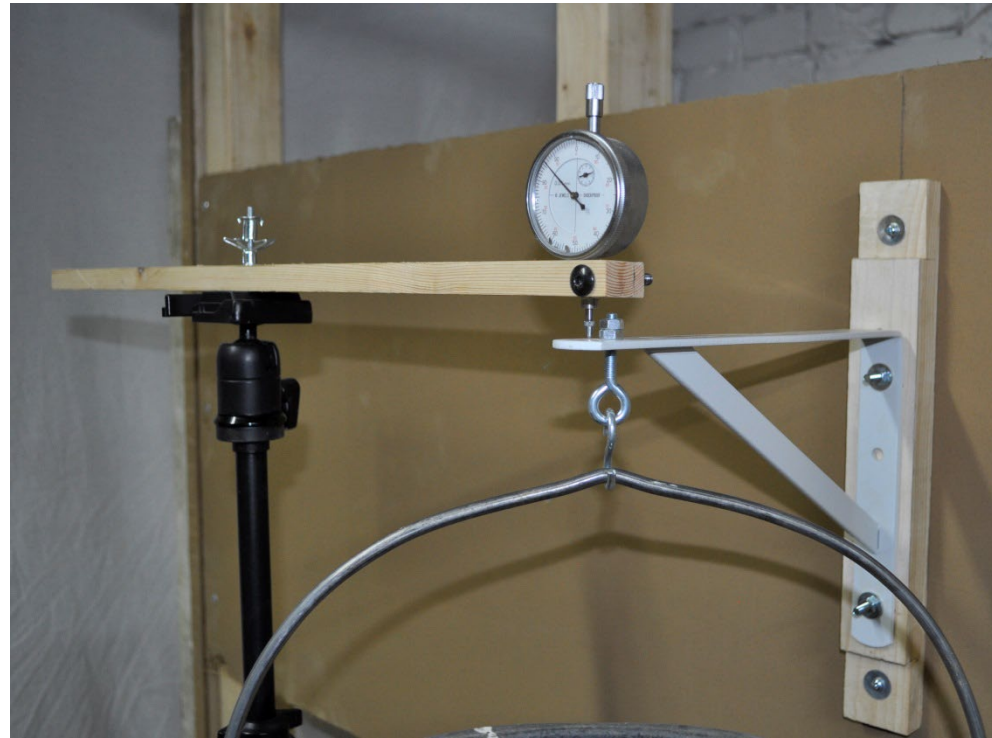
Fotos: WEM / Argillatherm

Lehmplatten

Lehmbaustoffe im Holzbau

DIN 18948:2018-12, Lehmplatten – Anforderungen, Prüfverfahren

Norm für nichttragende Trennwände DIN 4103: Simulation des Aufpralls, Belastungsfall Küchenoberschrank



Brandschutz im Lehm Trockenbau

Baustoff- und Bauteilwerte

Feuerwiderstandsklasse von Wänden mit Lehm bauplatten (Quelle: Röhlen & Ziegert: Lehm bau-Praxis, 2020)

Aufbau des Prüfgegenstands ¹	Feuerwiderstandsklasse	Aufbau des Prüfgegenstands ¹	Feuerwiderstandsklasse
3 mm Lehmputz 25 mm CLAYTEC Lehm bauplatte 60 mm Luftschicht 15 mm OSB-Platte, Nut und Feder	F 30	5 mm Lehmputz 22 mm LEMIX Lehm bauplatte 60 mm Holzständer, 60 mm Füllung Thermo Jute 100 22 mm LEMIX Lehm bauplatte	EI 45 (F 30)
3 mm Lehmputz 25 mm CLAYTEC-Lehm bauplatte 60 mm Holzständer, 60 mm Füllung HOMATHERM 15 mm OSB-Platte, Nut und Feder	F 30	2 mm Lehmputz (nur Fugenabdeckung) 2 x 16 mm LEMIX Lehm bauplatte 80 mm Holzständer, 80 mm Füllung Thermo Jute 100 2 x 16 mm LEMIX Lehm bauplatte 2 mm Lehmputz (nur Fugenabdeckung)	EI 120 (F 120)
3 mm Lehmputz 25 mm CLAYTEC-Lehm bauplatte 60 mm Holzständer, Luftschicht 18 mm GUTEX MULTIPLEX N, Nut und Feder	F 30	2 mm Lehmputz (nur Fugenabdeckung) 2 x 16 mm LEMIX Lehm bauplatte	F 30
3 mm Lehmputz 25 mm CLAYTEC-Lehm bauplatte 60 mm Holzständer, 60 mm Füllung HOMATHERM 18 mm GUTEX MULTIPLEX N, Nut und Feder	F 30	2 mm Lehmputz (nur Fugenabdeckung) 22 mm LEMIX Lehm bauplatte 80 mm Holzständer, 80 mm Füllung Thermo Jute 100 22 mm LEMIX Lehm bauplatte 2 mm Lehmputz (nur Fugenabdeckung)	EI 90 (F 90)

¹ Genaue Informationen siehe Prüfzeugnis bzw. Gutachterliche Stellungnahme des jeweilige Lehmplattenherstellers.

Weiterführende Planungsinformationen



Leitfaden – Ökologische Trockenbauwände im System

Über 50 Details!

- Beplankungen
- Bekleidungen
- Beschichtungen
- Hilfsmittel für Planung und Ausführung

TDX GERMANY Befestigung in Lehmbaustoffen					
Befestigung in Plattenbaustoffen	Lehmbohle D25	Lehmbohle schwer D22	Greentech D22	Pavaboard N+F	Basi Maxi
Tri/Trika 6/36	-	6 kg	15 kg	-	-
Tri/Trika 6/51	-	10 kg	30 kg	-	-
Tri/Trika 8/51	-	10 kg	40 kg	-	-
Acobat M5x65	5kg	25 kg	-	-	-
Acrobat M6/65	5 kg	25 kg	-	-	-
Spagat Plus	10 kg	25 kg	40 kg	-	-
Spagat Pro	15 kg	25 kg	40 kg	-	-
Spagat M6	15 kg	25 kg	40 kg	-	-
Spiral	-	8 kg *	-	-	-
Spiral Plus	-	8 kg *	30 kg*	-	-
Thermo 50	-	-	-	3 kg	3 kg
Thermo 85	-	-	-	10 kg	10 kg
Thermo Plus 55	-	-	-	3 kg	3 kg
Thermo Plus 85	-	-	-	10 kg	10 kg

* Dübel vorgebohrt

Aufgrund der sehr ähnlichen Verarbeitung und Bausweise wie nichttragende Wände aus Gipskarton sollten die Lasten, die in die Wand eingeleitet werden nicht mehr als 40 kg/m betragen (In Anlehnung an DIN 18183-1 Trennwände und Vorsatzschalen aus Gipsplatten mit Metallunterkonstruktionen)

Baupreise Lehm Trockenbau

Stand 2018 ;(

TROCKENBAU		
Holzständerwerk 62,5 cm 18,60 €/m		
Metallständerwerk 62,5 cm 11,13 €/m		
Wand LP, Beplankung (zweiseitig) UK Metallständer, Füllung Mineralwolle, CLAYTEC Lehmplatte D20, inkl. Armierungslage 126,59 €/m²	Wand GFB, Beplankung (zweiseitig) UK Metallständer, Füllung Mineralwolle, GFB D12,5, inkl. Spachtelung 65,70 €/m²	Wand 2 x GKB, Beplankung (2-seitig) UK Metallständer, Füllung Mineralwolle, GKB D12,5, inkl. Spachtelung 70,30 €/m²
Bauteilaufbau Lehm	Alternative 1	Alternative 2 (einfach)
Wand HFD, Beplankung (zweiseitig) UK Metallständer, Füllung Mineralwolle, Lehmplatte D20, inkl. Armierungslage 76,37 €/m²		
Vorsatzschale LP, Beplankung UK Metallständer, Füllung Mineralwolle, Lehmplatte D20, inkl. Armierungslage 73,73 €/m²	Vorsatzschale GFB, Beplankung UK Metallständer, Füllung Mineralwolle, GFB D12,5, inkl. Spachtelung 41,29 €/m²	Vorsatzschale 2 x GKB, Beplankung UK Metallständer, Füllung Mineralwolle, GKB D12,5, inkl. Spachtelung 43,59 €/m²
LP, Bekleidung Lehmplatte D16, inkl. Armierlage 44,34 €/m²	GFB, Bekleidung GFB D12,5, inkl. Spachtelung 24,15 €/m²	Trockenputz GKB D12,5, inkl. Spachtelung 13,36 €/m²

Randbedingungen: Stand 2018, Preise zzgl. MwSt. Preise realistisch ab ca. 100 m².

Preise für Wandflächen, für Deckenflächen + 15 bis 20 %.

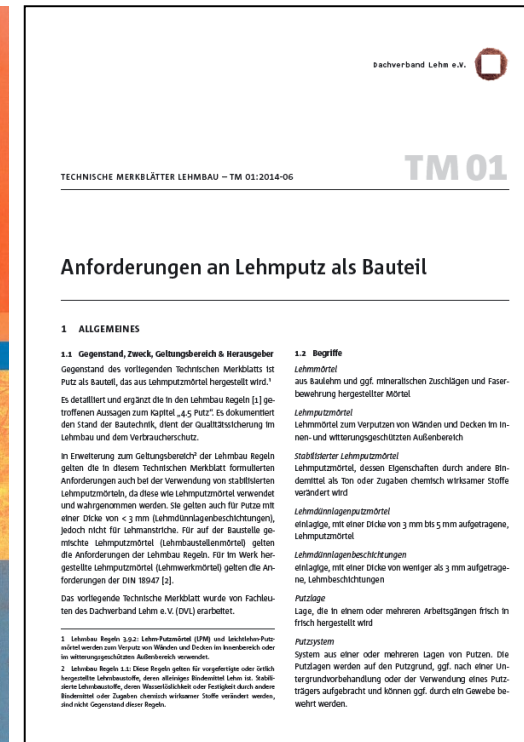
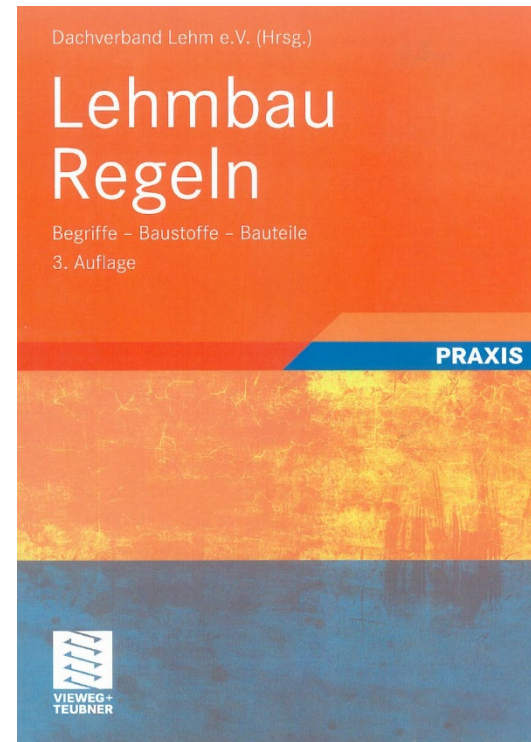
Angenommener Handwerker-Stundensatz 48,- €/Std.

Preise Gipsputze nach „Kalkulations-Hilfe“ des Fachverbands Stuckateure bei auskömmlichem Ansätzen. In der Praxis Unterschreitungen bis 50 %

Lehm als zeitgemäßer Baustoff

Regelwerke und Zulassungsverfahren

- Lehmbau Regeln
- Technische Merkblätter
- DIN-Normen



(zu) wenige Regelwerke

angemessen

zu viele Regelungen

Entwicklung der Regelwerke zum Lehmbau in Deutschland

- Zeit vor allgemeinen Regelwerken: Dokumentation Stand der Technik ausschließlich über Fachbücher
- 1944 Lehmbauordnung (erstes umfassendes Regelwerk zum Lehmbau)
- 1951 bis 1956 DIN-Normen und -Vornormen
- 1953 Lehmbauordnung der ehemaligen DDR
- 1998 Lehmbau Regeln
- 2013: Erste neue Normengeneration DIN 18945 bis 18947 (Lehmsteine, Lehmmauermörtel, Lehmputzmörtel)
- 2018: Zweite neue Normengeneration DIN 18942-1 und -100 sowie 18945 bis 18948 (neu Lehmplatten)
- 2023: Dritte neue Normengeneration: neu Bemessungsnorm für Lehmsteinmauerwerk DIN 18940
- 2028: Vierte neue Normengeneration: voraussichtlich Baustoff- und Bemessungsnorm für Stampflehm

Regelwerke im Lehmbau

Normen-Generation 2023:

Differenzierte Zulassung von Rezyklatkörnung

a) Mineralische Zusatzstoffe:

- natürliche Gesteinskörnung nach DIN EN 12620;
- recycelte Gesteinskörnung mit gesondertem Nachweis;
- Ziegmehl aus der Ziegelproduktion;
- Bläherlit, Blähton, Blähglas, Schaumglas, Blähschiefer und Naturbims nach DIN EN 13055-1.

Für die rezyklierte Gesteinskörnung ist die Einhaltung der Anforderungen für Bodenmaterial der Klasse BM-0 für Lehm und Schluff nach Tabelle 3 in Anlage 1 der Ersatzbaustoffverordnung (EBV) [2] durch entsprechende Untersuchungen des jeweiligen Zusatzstoffes im Eluat oder Feststoff nachzuweisen (Anlage 5 der EBV).

Alternativ kann für die rezyklierte Gesteinskörnung die Einhaltung der Anforderungen für Ersatzbaustoffe der Klasse RC-1 nach Tabelle 1 in Anlage 1 der Ersatzbaustoffverordnung (EBV) durch entsprechende Untersuchungen im Eluat nachgewiesen werden, wenn maximal 10 Masse-% der rezyklierten Gesteinskörnung bezogen auf den trockenen Lehmabaustoff beigemischt werden.

Auf Grund der Herkunft und der bisherigen Nutzung des Ausgangsmaterials der rezyklierten Gesteinskörnung dürfen keine Hinweise auf weitere Belastungen mit Schadstoffen vorliegen, die nicht in Tabelle 3 der Anlage 1 der EBV reguliert sind.

Die Beimischung von Blähglas und Schaumglas darf nur in einem derart geringen Anteil erfolgen, dass der Charakter eines Bodenmaterials erhalten bleibt und damit die Anwendung der Anforderungen an die Klasse BM-0 der EBV [2] für den Lehmabaustoff begründet und eingehalten wird.

b) Organische, chemisch unbehandelte Zusatzstoffe:

- Pflanzenteile und -fasern;
- Tierhaar;
- zerkleinertes Holz (keine Holzwerkstoffe).

c) Organische, chemisch behandelte Zusatzstoffe:

- Zellulosefasern.

Die Zugabe von anorganischen Pigmenten nach DIN EN 12878 oder pflanzlichen Farbstoffen ist zulässig.

Regelwerke im Lehmbau

Normen-Generation 2023:

Aussagen zur mikrobiellen Grundkontamination

A.2 Mikrobielle Beschaffenheit

Lehmputzmörtel können, abhängig von ihrer Zusammensetzung und ihrem Feuchtegehalt, Mikroben enthalten. Lehmputzmörtel mit Faserbewehrung sind während der Trocknung weniger resistent gegen Schimmelbefall als rein mineralische Lehmputzmörtel.

Die mikrobielle Beschaffenheit ist nach Tabelle A.2 in Klassen einzuteilen, die Klasse ist zu deklarieren.

Tabelle A.2 — Mikrobielle Beschaffenheitsklassen von Lehmputzmörteln

Klasse	Zusammensetzung	Feuchtegehalt	Mikrobenanteile	Hinweise zur Trocknung ¹
MBK Ia	rein mineralisch	trocken	Mikroben nur sporadisch enthalten	übliche Putztrocknung geboten
MBK Ib	mit Pflanzenfasern	trocken	Mikroben nur sporadisch enthalten	schnelle und ggf. überwachte Putztrocknung geboten
MBK IIa	rein mineralisch	erdfeucht	geogene Bakterien möglich	übliche Putztrocknung geboten
MBK IIb	mit Pflanzenfasern	erdfeucht	Schimmelpilze, Hefen und Bakterien möglich	schnelle und ggf. überwachte Putztrocknung geboten
¹ Siehe auch Technisches Merkblatt TM01 — Anforderungen an Lehmputze (Dachverband Lehm e. V., Weimar)				

Regelwerke im Lehmbau

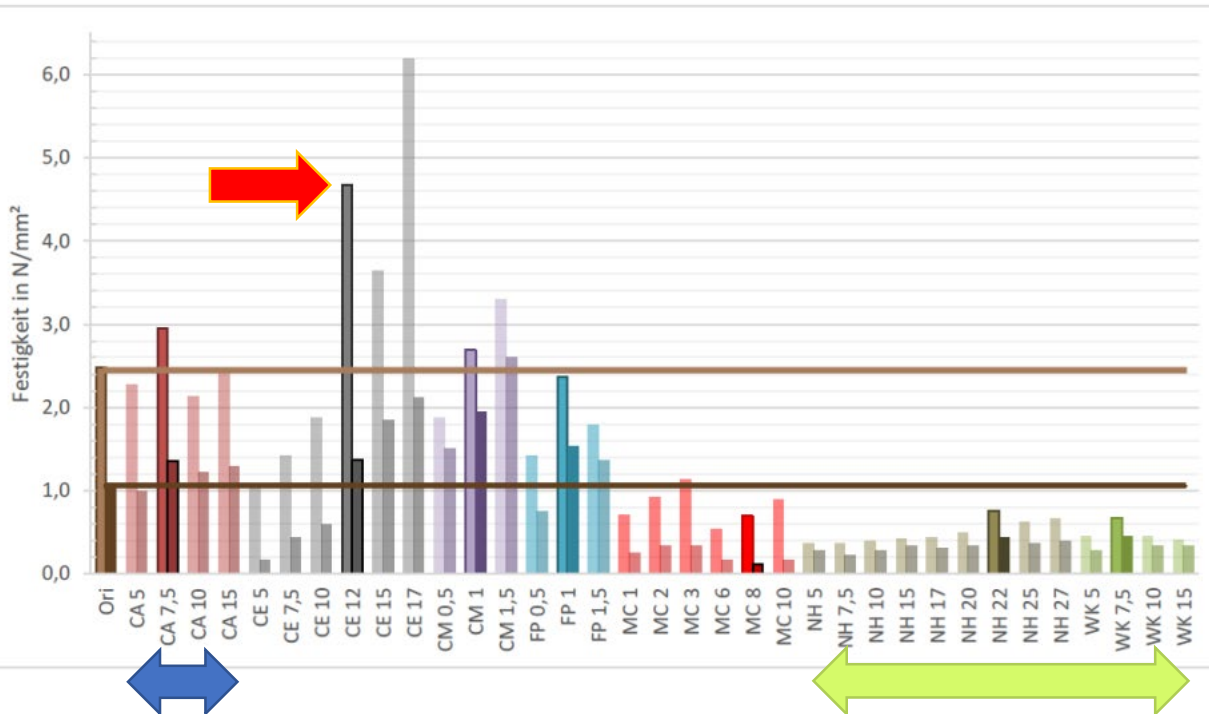
Klare Definition dessen, was in Lehmbaustoffen enthalten sein darf und was nicht:

- Wasserumkehrbare Stabilisatoren wie Stärke und Methylcellulose sind nur in Lehmplatten und Lehm-Dünnschichtputzen erlaubt.
- Chemische, nicht reversible Stabilisatoren wie Zement, Kalk oder Gips sind in Deutschland in Lehmbauprodukten aller Art nicht zugelassen. Solche Produkte sind unregulierte Baustoffe, weil sie keine Lehmbaustoffe und keine Kalk-, Gips- oder Zementputze sind. Diese Stabilisatoren negieren oder reduzieren die positiven Eigenschaften von Lehmbaustoffen.
- Lehmbaustoffe sollten (wie alle Baustoffe) dort eingesetzt werden, wo ihre Qualität und ihre spezifischen Eigenschaften am besten gefragt sind und genutzt werden können.



Stabilisierung ?

Chemische, nicht reversible Stabilisatoren wie Zement, Kalk oder Gips sind in Deutschland in Lehmbauprodukten aller Art nicht zugelassen. Solche Produkte sind unregulierte Baustoffe, weil sie keine Lehmbaustoffe und keine Kalk-, Gips- oder Zementputze sind. Diese Stabilisatoren negieren oder reduzieren die positiven Eigenschaften von Lehmbaustoffen.

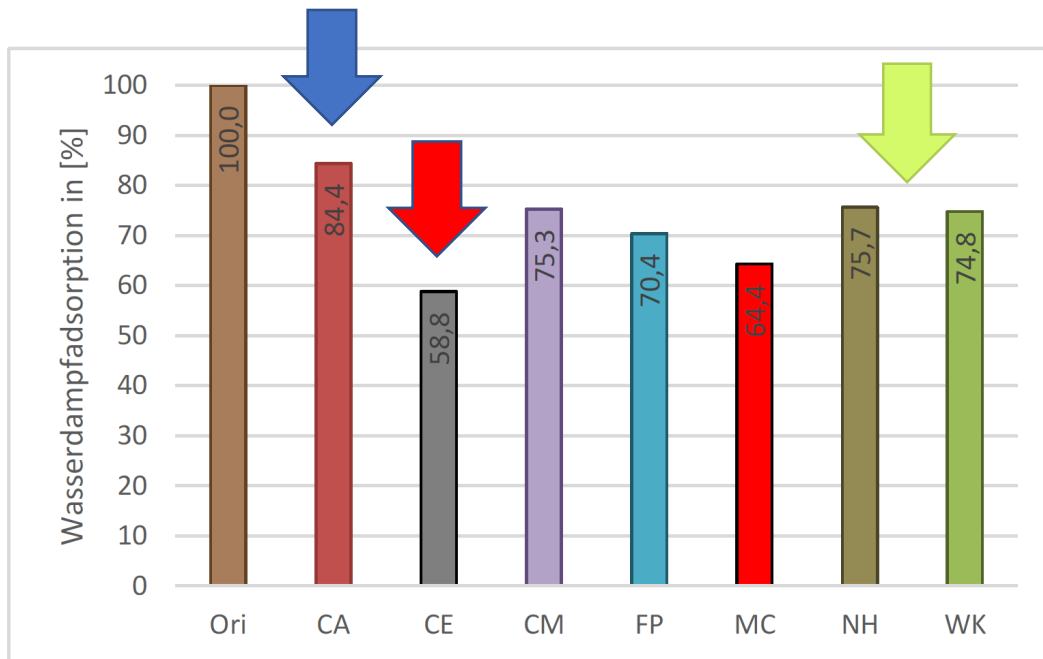


Verringerung der Druck- und Biegezugfestigkeit durch Stabilisatoren (P. Schlacht, 2021)

- CA Gips
- CE Zement
- CM Methylcellulose
- FP Stärke
- MC Polymerdispersion
- NH Nat. Hydraulischer Kalk
- WK Hydratisierter Kalk

Stabilisierung?

Chemische, nicht reversible Stabilisatoren wie Zement, Kalk oder Gips sind in Deutschland in Lehmbauprodukten aller Art nicht zugelassen. Solche Produkte sind unregulierte Baustoffe, weil sie keine Lehmbaustoffe und keine Kalk-, Gips- oder Zementputze sind. Diese Stabilisatoren negieren oder reduzieren die positiven Eigenschaften von Lehmbaustoffen.



Verringerung der dynamischen Feuchtigkeitssorption durch Stabilisatoren (P. Schlacht, 2021)

CA Gips
CE Zement
CM Methylcellulose
FP Stärke
MC Polymerdispersion
NH Nat. Hydraulischer Kalk
WK Hydratisierter Kalk



Geltungsbereiche von technischen Regelungen im Lehmbau, Stand 06/2023

Für die ausgewählte im Werk hergestellten Lehmbaumstoffe gelten:

- | | |
|-------------------------|---|
| - DIN 18942-1:2018-12 | Lehmbaumstoffe – Teil 1: Begriffe |
| - DIN 18942-100:2018-12 | Lehmbaumstoffe – Teil 100: Konformitätsnachweis |
| - DIN 18945:2018-12 | Lehmsteine – Anforderungen und Prüfverfahren |
| - DIN 18946:2018-12 | Lehmmauermörtel – Anforderungen und Prüfverfahren |
| - DIN 18947:2018-12 | Lehmputzmörtel – Anforderungen und Prüfverfahren |
| - DIN 18948:2018-12 | Lehmplatten – Anforderungen und Prüfverfahren |
| - TM 06:2015-06 | Lehmdünnlagenbeschichtungen – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren, Deklaration |

Für Lehmbaumstoffe, die auf der Baustelle gefertigt werden oder die nicht durch die oben stehenden Normen gefasst sind (z.B. Stampflehm, Strohlehm), gelten:

- Lehmbau Regeln des Dachverband Lehm e.V.



(zu) niedriges

angemessenes

zu viele Regelungssysteme

Geltungsbereiche von technischen Regelungen im Lehmbau, Stand 06/2023

Für die Planung und Bemessung sowie Anwendung von Lehmbaumaterialien gelten:

- Lehmbau Regeln des Dachverband Lehm e.V.
- TM 01:2014-06 Anforderungen an Lehmputz als Bauteil
- Fachnormen des Brand-, Wärme- und Schallschutzes
- Baustoffspezifische Anwendungsnormen, die Lehmbaumaterialien integriert haben, z.B. DIN 18550 Putze und Putzsysteme
- Bei Sanierungsthemen: WTA-Merkblätter
- Richtlinie 15.12 zum Kühlen und Heizen mit Deckensystemen: Lehmdeckensysteme des Bundesverbandes Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V. (BBVF)
- **Mai 2023: DIN 18940:2023-05 Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Konstruktion, Bemessung, Ausführung**



(zu) niedriges

angemessenes

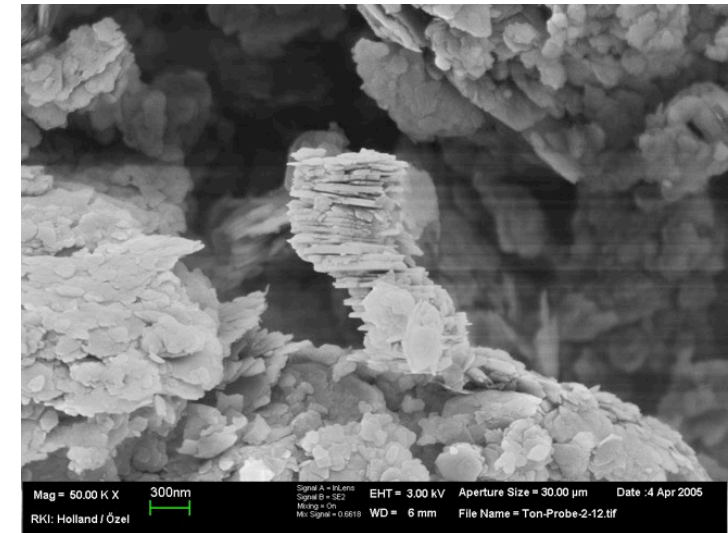
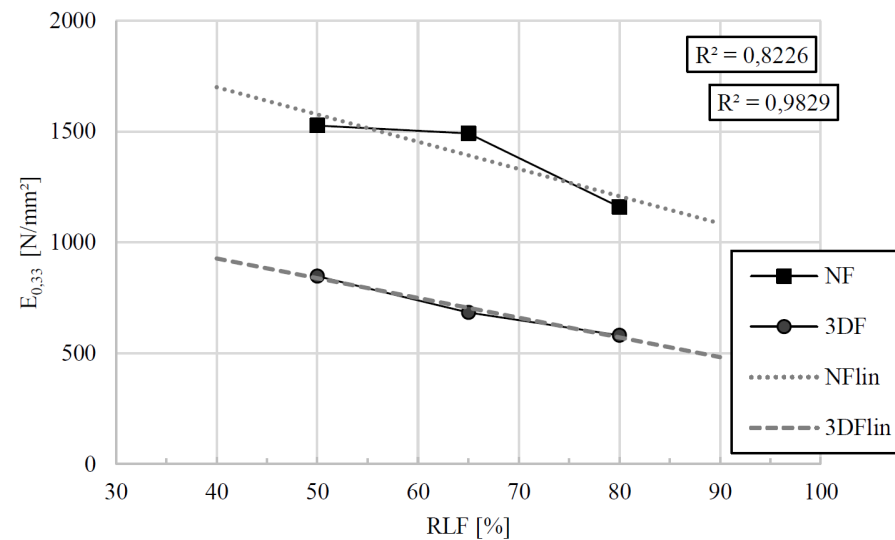
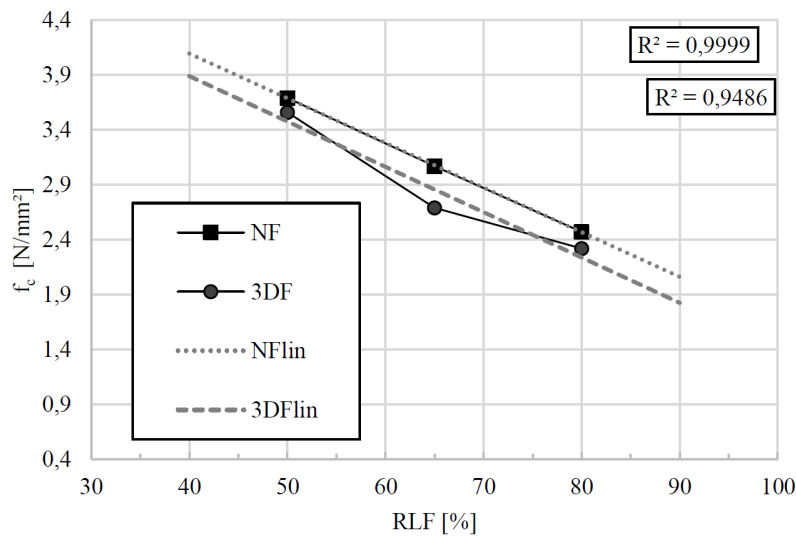
zu viele Regelungssysteme

Lehm. Was ist das? Was kann das?

Feuchteschutz –

sehr hohe Luftfeuchtesorption und Auswirkung auf die Festigkeit

+1 % RLF verursacht -1 % Festigkeit und -1% weniger E-Modul



Druckfestigkeiten und E-Moduln an Mauerwerk (RILEM – zentrisch)

Lehm. Was ist das? Was kann das?

Lehm, ein Baustoff mit vergleichsweise geringer Festigkeit

UNESCO-Welterbe, Shibam, Jemen, bis zu 9-geschossig

Deutschland:

- Historisch 3,5-geschossig tragend
- Nach Lehmbau Regeln tragend im normalen Baugenehmigungsverfahren nur bis zu 2 Vollgeschosse
- bis zu 4-geschossig tragend möglich seit Mai 2023 mit Bemessung nach neuer Lehmsteinmauerwerksnorm DIN 18940:2023-05



Lehm. Was ist das? Was kann das?

- bis zu 4-geschossig tragend möglich ab Mai 2023 mit Bemessung nach neuer Lehmsteinmauerwerksnorm DIN 18940:2023-06
- Bemessungsverfahren wie EC 6 mit Abminderungsfaktor M, der die feuchteabhängige Druckfestigkeit berücksichtigt
- Hier: Lehmsteine SFK 4, AK II, Außendämmung



LEHMSTEINMAUER- WERKSBAU – INGENIEURSEMINAR ZU TRAGENDEM LEHMSTEINMAUERWERK NACH DIN 18940

06.06.2023 | MFPA WEIMAR
u.a. Christof Ziegert und Johanna Baier

nächste Termine: 26.07. und 26.09.2023

Lehm. Was ist das? Was kann das?

Bewusster Einsatz aufgrund raumklimatischer und ästhetischer Qualitäten

Farbigkeit durch unterschiedliche Tone



Lehm. Was ist das? Was kann das?

Bewusster Einsatz aufgrund raumklimatischer und ästhetischer Qualitäten

Kolumba Museum, Köln, 2007

Architektur :: Peter Zumthor, Pritzker-Preis 2009, Museum des Jahres 2014



Fotos © Claytec

Lehmputze

Feuchteschutz, sehr hohe Luftfeuchtesorption

Vorteil der Reversibilität der Bindung / Affinität zu Wasser / geringeren Festigkeit

LEHMPUTZE gemäß DIN 18947:2018-12

DIN 18947:2018-12

5.5.4 Festigkeit

Die Festigkeitseigenschaften von Lehmputzmörtel werden nach Tabelle 3 klassifiziert. Die Festigkeitsklasse ist vom Hersteller zu deklarieren.

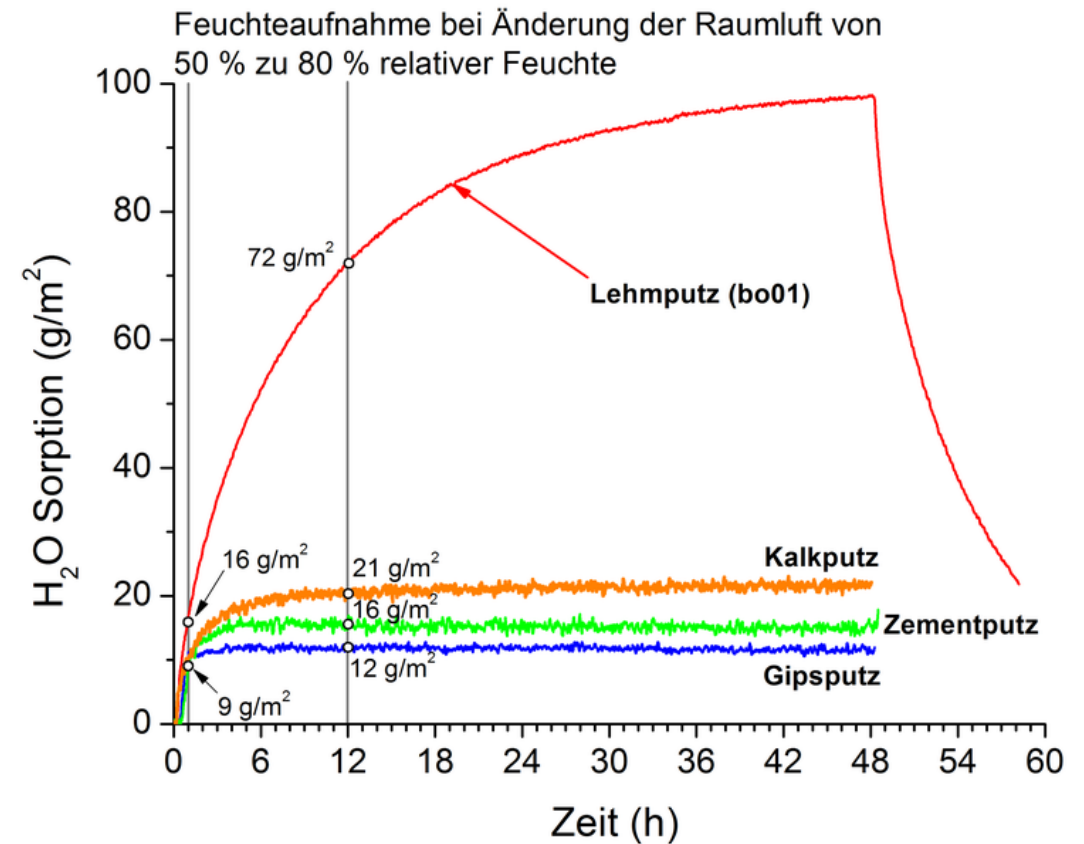
Tabelle 3 — Festigkeitsklassen von Lehmputzmörtel

	1	2	3	4	5
	Festigkeitsklasse	Druckfestigkeit N/mm ²	Biegezugfestigkeit N/mm ²	Haftfestigkeit N/mm ²	Abrieb g
1	S I	≥ 1,0	≥ 0,3	≥ 0,05	≤ 1,5
2	S II	≥ 1,5	≥ 0,7	≥ 0,10	≤ 0,7

Lehm. Was ist das? Was kann das?

Feuchteschutz, sehr hohe Luftfeuchtesorption

Vorteil der Reversibilität der Bindung / Affinität zu Wasser / geringen Festigkeit



Lehmputze

Feuchteschutz, sehr hohe Luftfeuchtesorption

Vorteil der Reversibilität der Bindung / Affinität zu Wasser / geringeren Festigkeit

LEHMPUTZE gemäß DIN 18947:2018-12

Tabelle A.2 — Wasserdampfadsorptionsklassen von Lehmputzmörtel

	1	2	3	4	5	6
	Wasserdampf- adsorptionsklasse	Wasserdampfadsorption nach A.2.2 nach				
		0,5 Stunde g/m ²	1 Stunde g/m ²	3 Stunden g/m ²	6 Stunden g/m ²	12 Stunden g/m ²
1	WS I	≥ 3,5	≥ 7,0	≥ 13,5	≥ 20,0	≥ 35,0
2	WS II	≥ 5,0	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 30,0	≥ 47,5
3	WS III	≥ 6,5	≥ 13,0	≥ 26,5	≥ 40,0	≥ 60,0

Lehmputze

Feuchteschutz, sehr hohe Luftfeuchtesorption

LEHMPUTZE

Neubau Archivgebäude

Archäologischer Park Xanten

LOW-TECH KLIMATISIERUNG

Lehmbaustoffe als wesentlicher Baustein
der Raumklimastabilisierung

Wandflächentemperierungssystem:
kaltes oder warmes Wasser wird durch
ein in die Putzlage integriertes
Rohrsystem geleitet.



Foto © Johannes Zell

Lehmputze

Feuchteschutz, sehr hohe Luftfeuchtesorption

LEHMPUTZE, Neubau Archivgebäude Archäologischer Park Xanten –

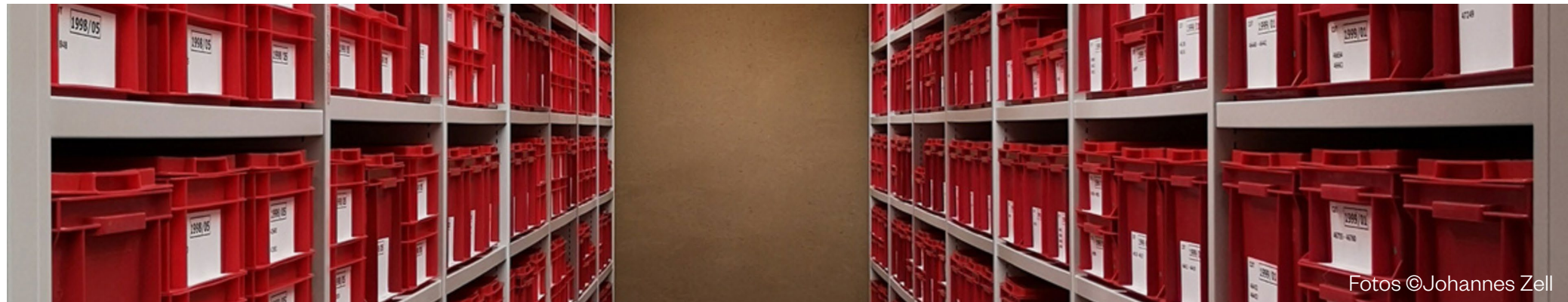
Lehmbaustoffe als wesentlicher Baustein der Raumklimastabilisierung

Raumklimatische Planung :: simuPlan, Dorsten

5 cm Lehmputz in klassischer Gebäudehülle

→ Reduktion der Gebäudetechnik um ein Drittel

→ Kostenreduktion im Betrieb ca. 50 %



Fotos ©Johannes Zell

Lehmputze

Schadstoffadsorption im Vergleich, BAM 2015

Lehmbaustoffe emittieren keine Schadstoffe sondern absorbieren nach Untersuchungen der BAM wesentlich mehr VOC als konventionelle Wandoberflächen (analog zu Wasserdampfsorptionsvermögen).

- 1 m³ große Prüfkammer
 - Schadstoffcocktail wird eingeblasen
- wie schnell reduziert sich die Konzentration in der Raumluft?

	Aufbau	Dicke mm	1-Pentanol CAS 71-41-0	Hexanal CAS 66-25-1	Butylacetat CAS 123-86-4	α-Pinen CAS 80-56-8	n-Dekan CAS 124-18-5	Σ
	Lehmoberputz mit Stroh (EPRF)	5	7,9	6,0	12,6	0,0	0,0	26,5
7 (W)	Kreide, pflanzliche Kaseinfarbe	0,25						
	Gipsfaserplatte (speziell zur Schadstoffsorption)	12,5						
	Fugenkleber	n/a						
	Fugenfüller	0,5	6,0	1,9	1,8	0,0	0,8	10,5
	Holzständer	60						
	Holzfaserdämmmatte	60						

Baupreise Putze

Stand 2018

Bauteilaufbau Lehm	Alternative 1	Alternative 2 (einfach)
PUTZ UND OBERFLÄCHE		
Lehm grobputz als Unterputz D 15 mm, Mörtel erdfeucht, Oberfläche gerieben (Sackware zzgl. 30-50%) 15,49 €/m²	Kalk grobputz als Unterputz D 15 mm, Oberfläche gerieben 15,50 €/m²	Gipsputz als Unterputz D 15 mm, Oberfläche gelättet Q2 15,68 €/m²
Lehm grobputz einlagig D 10 mm, Oberfläche gerieben, Mörtel erdfeucht (Sackware zzgl. 30-50%) 15,76 €/m² ggf. Feinkorngrundierung 3,88 €/m²	Kalk grobputz einlagig D 10 mm, Oberfläche gerieben 15,50 €/m²	Gipsputz einlagig D 10 mm, Oberfläche gelättet Q3 17,47 €/m²
Feinputz einlagig D 3 mm, Oberfläche gerieben 14,07 €/m²	Kalk feinputz einlagig D 3 mm, Oberfläche gerieben 13,50 €/m²	Gips feinputz D 3 mm, Q3 auf Q2 Untergrund 12,24 €/m²
Farbputz dünnlagig 28,90 €/m²	Kalk farbputz dünnlagig D 2 mm, Oberfläche gerieben 21,50 €/m²	Kunstharz farbputz D 2 mm, Oberfläche gerieben 16,35 €/m²
Lehm farbspachtel auf Grundierung 28,45 €/m²	Kalk farbspachtel (Presstechnik) 60,00 - 120,00 €/m²	
Lehmanstrich gerollt, zweifach 5,93 €/m²	Mineral farbanstrich gerollt, zweifach 5,93 €/m²	Dispersionsanstrich gerollt, zweifach 4,50 €/m²
Kanten gerundet 14,00 €/m		

Randbedingungen: Stand 2018, Preise zzgl. MwSt. Preise realistisch ab ca. 100 m².

Preise für Wandflächen, für Deckenflächen + 15 bis 20 %.

Angenommener Handwerker-Stundensatz 48,- €/Std.

Preise Gipsputze nach „Kalkulations-Hilfe“ des Fachverbands Stuckateure bei auskömmlichen Ansätzen. In der Praxis Unterschreitungen bis 50 %

Innendämmung mit Lehm, diffusionsoffen und kapillaraktiv

Lehmbaustoffe entschärfen die Tauwasserproblematik und stellen keine Feuchtefälle für eindringenden Schlagregen dar

Vergleich von Systemen zur Innendämmung,
Deutsches Fachwerkzentrum, Quedlinburg

Berechnung kapillaraktiver, diffusionsoffener
Innendämmungen mit **COND, WUFI, DELPHIN**

- Schalen aus Leichtlehm-mauerwerk
- Schalen aus feucht eingebautem Leichtlehm
- angemörtelte Dämmplatten
aus Holzweichfaser oder Mineralschaum



Typische Bauvorhaben für die mineralische Innendämmung (Projektbeispiele ZRS)

Kornhaus Freiberg (1504)



Fotos: ZRS

Typische Bauvorhaben für die mineralische Innendämmung (Projektbeispiele ZRSI)

Kornhaus Freiberg (1504)



Fotos: ZRS

Typische Bauvorhaben für die mineralische Innendämmung (Projektbeispiele ZRS)

Kornhaus Freiberg (1504)



Fotos: ZRS

Innendämmung mit Lehm, diffusionsoffen und kapillaraktiv Lehmbaustoffe entschärfen die Tauwasserproblematik

Die Wärmeleitung von Lehmbaustoffen ist je nach Rohdichte weder sehr hoch noch sehr niedrig. Somit werden einerseits keine Wärmebrücken begünstigt, andererseits ist die Neigung zur Tauwasserbildung gering.

BÜRGERHAUS WISMAR (1703), renoviert 2013-2015 von ZRSA und ZRSI



Fotos © ZRS

Innendämmung mit Lehm, diffusionsoffen und kapillaraktiv Lehmbaustoffe entschärfen die Tauwasserproblematik

BÜRGERHAUS WISMAR (1703), renoviert 2013-2015 von ZRSA und ZRSI

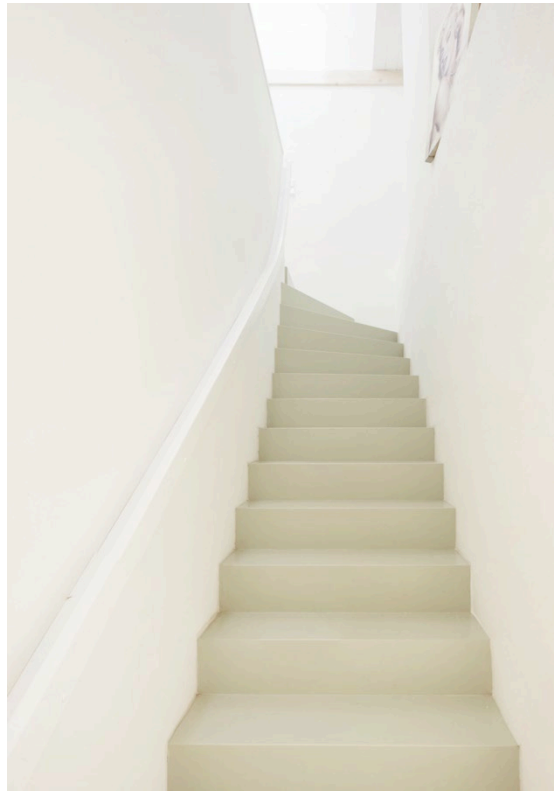
Nach Trockenlegung und Entsalzung differenzierte Anwendung von mineralischen und organischen Dämmplatten je nach Restfeuchte- und Restsalzbelastung des Untergrundes (EG mineralisch/ OG Holzweichfaser).



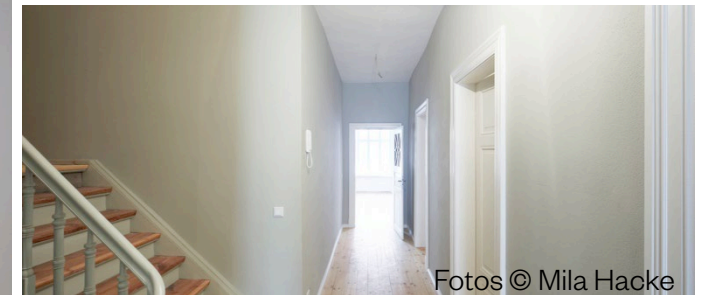
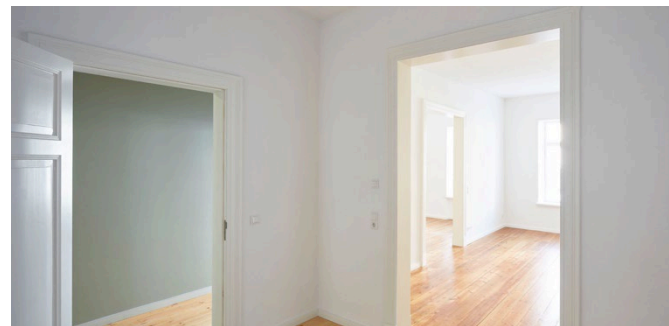
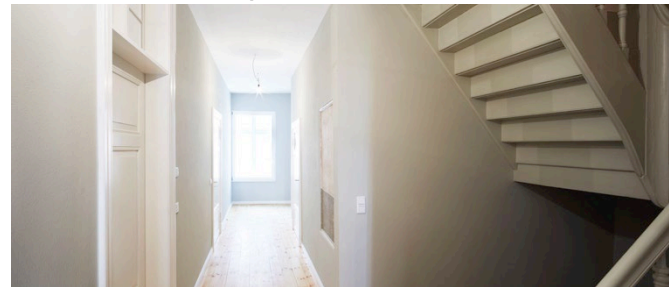
Fotos © ZRS

Innendämmung mit Lehm, diffusionsoffen und kapillaraktiv Lehmbaustoffe entschärfen die Tauwasserproblematik

BÜRGERHAUS WISMAR (1703), renoviert 2013-2015 von ZRSA und ZRSI, KfW-Denkmal Award

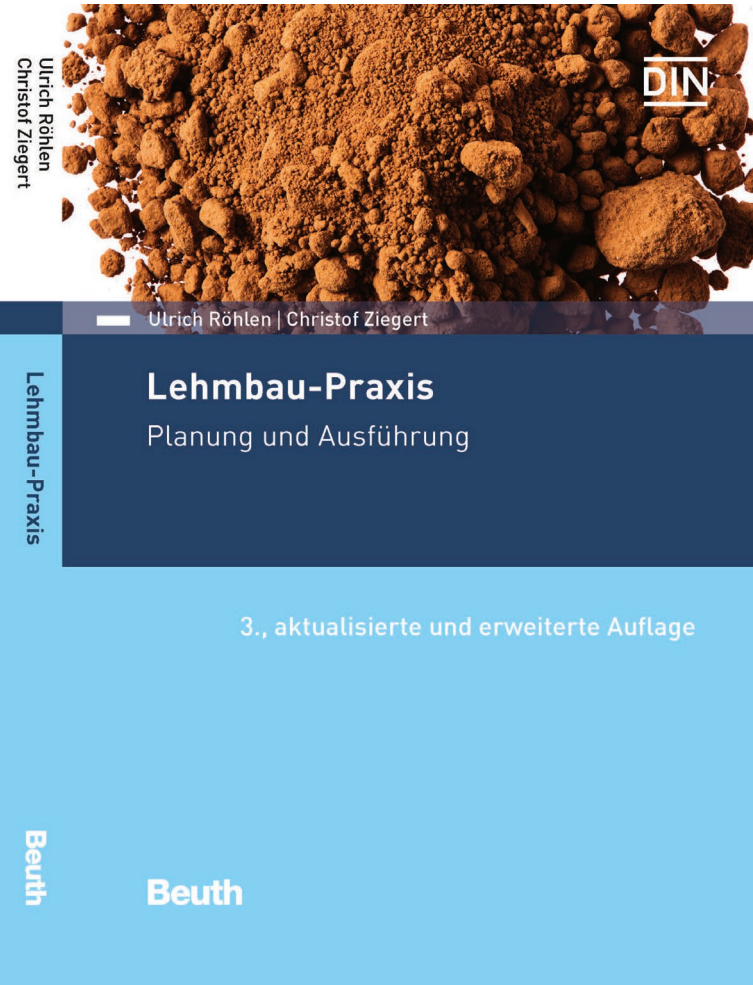


- Lehmkleber- und Armierungsmörtel
- Dämmplatte (EG mineralisch, OG HWF)
- Lehmputz



Fotos © Mila Hacke

Weiterführende Planungsinformationen



Beuth Verlag

Lehmbau-Praxis

Planung und Ausführung

von Dipl.-Ing. Ulrich Röhlen und
Prof. Dr.-Ing. Christof Ziegert

3., aktualisierte und erweiterte Auflage 2020.
378 S. mit Abbildungen und Tabellen.
24 x 17 cm. Broschiert.
48,00 EUR | ISBN 978-3-410-23942-0

- Stoffliche Grundlagen
- Lehmbaumstoffe
- Lehmputze
- Lehmdünnlagenbeschichtungen
- Trockenbau
- Techniken der Innendämmung
- Lehmsteinbau
- Stampflehmbau
- Sanierung bestehender Lehmbausubstanz
- Baurechtliche und baugewerbliche Aspekte

Vortragsreihe Nachhaltiges Bauen, Brandenburgische Architektenkammer und FH Potsdam

07.06.2023

LEHM, HOLZ & CO

Beitrag des Lehmbaus zur Bauwende – Einsatzmöglichkeiten und Grenzen

Prof. Dr.-Ing. Christof Ziegert, ZRS Ingenieure, Honorarprofessur Lehm- und Holzbau an der FHP