

Von der Tradition zur Zukunftsperspektive: Lehm als Brandschutz für Holz

Die wachsende Notwendigkeit, die Umweltauswirkungen im Bausektor zu mildern, hat zu einer erneuten Betonung natürlicher, kohlenstoffarmer Baumaterialien für zukünftige Bauvorhaben geführt. Die Verwendung von Holz als großflächiges Baumaterial zusammen mit anderen natürlichen Materialien wie Lehm entspricht den Zielen, gesündere Gebäude zu entwickeln und die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft zu übernehmen [1] [2]. Die Einbeziehung dieser Materialien in die konventionelle Baupraxis stellt jedoch erhebliche Herausforderungen dar, insbesondere hinsichtlich der Einhaltung aktueller Brandschutznormen [3].

Trotz der langen Geschichte des Bauens mit Holz und Lehm [4] und der Fähigkeit von Lehm, Holzkonstruktionen hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen an thermische Masse und Schalldämmung ideal zu ergänzen, ist die Gipskartonplatte heute das wichtigste Brandschutzmaterial für Holz. Diese passive Brandschutzmaßnahme ist ein gängiger Ansatz, um die Anforderungen an den strukturellen Brandschutz in Holzgebäuden zu erfüllen. Die Überprüfung von Holzkonstruktionen kann durch Brandversuche oder Berechnungen (falls verfügbar) oder beides erfolgen. Tests im Maßstab 1:1 sind jedoch kostspielig und die

Verwendung der Ergebnisse ist begrenzt. Daher werden zunehmend Berechnungsmethoden bevorzugt, da sie Kosteneffizienz, Zeitersparnis und größere Gestaltungsflexibilität bieten.

In Europa werden im Brandschutzteil des Eurocodes 5 (EN 1995-1-2) [5] Grundsätze und Anwendungsregeln für die strukturelle Brandschutzbemessung von Holzkonstruktionen festgelegt. Derzeit gibt es jedoch keine Anleitung zur Verwendung von Lehmmaterialien als Brandschutzmaterial. Auch nationale Bauvorschriften wie die „LIGNUM“-Bemessungsrichtlinie in der Schweiz [6] enthalten keine Bemessungsparameter für die Verwendung von Lehmmaterialien in Holzkonstruktionen. Diese Informationslücke in den Bemessungsnormen/-richtlinien behindert heute die Verwendung von Lehm in Konstruktionen mit Brandschutzanforderungen [7] und macht umfassende Brandtests erforderlich.

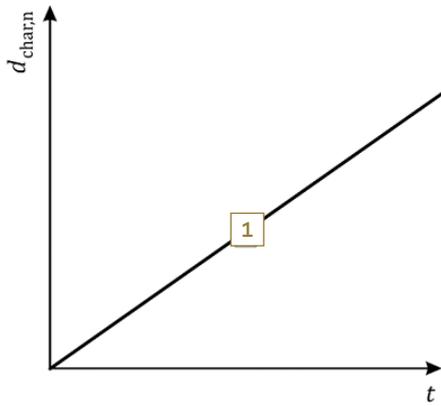
Brandtests mit Lehmplatten [8] und Lehmputz auf Strohballenkonstruktionen haben jedoch eine signifikante Feuerwiderstandsleistung gezeigt [9]. Darüber hinaus wurde im letzten Jahrzehnt das Brandverhalten von Lehmputz und Lehmplatten untersucht [10] [11]

01 Holzrahmen mit leichten Lehmsteinen gefüllt und mit Lehmputz überzogen

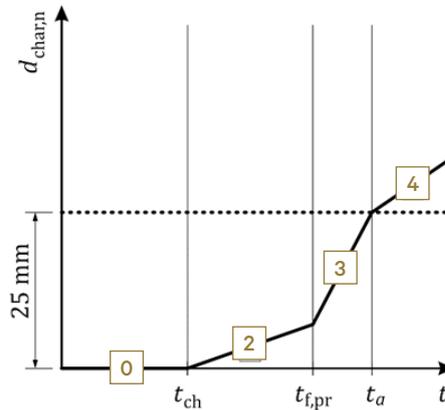


Decke im Projekt HORTUS von Herzog & de Meuron Architects / ZPF Ingenieure, Quelle: Autoren.





a) Anfänglich ungeschützte Seiten der Holzbauteile



b) Anfänglich geschützte Seiten der Holzbauteile, wenn $t_{f,pr} > t_{ch}$ [15].

- 0 encapsulation phase
- 1 normal charring phase
- 2 protected charring phase
- 3 post-protected charring phase
- 4 consolidated charring phase

02 Das europäische Verkohlungsmodell – Phasen des Abbrandes

und ihr zukünftiges Potenzial hervorgehoben. Dies wird auch durch die Entwicklung von Produktnormen in Deutschland, DIN 18947 bzw. DIN 18948, unterstützt [12] [13]. Die Integration von Feuerwiderstandsnormen für Konstruktionen auf Lehm-basis in nationale Vorschriften ist vorangekommen, insbesondere in den DIN-Normen für Lehmsteine [14]. Eine konservative Definition geht davon aus, dass eine tragende Wand von 17,5 cm einen REI von 30 und eine mit 24 cm einen REI von 60 erreichen kann. Projekte wie das Freilichtmuseum Detmold und das HORTUS-Projekt in Basel (Abbildung 1, links) [1] zeigen, dass die erforderliche Feuerwiderstandsdauer erreicht werden kann, indem 22 cm dicke Stampflehmwände einen REI von 90 und Lehm-Holz-Decken einen REI von 60 erreichen.

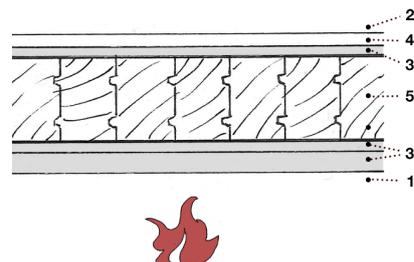
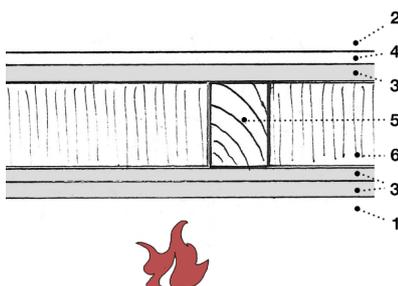
Mit der aktuellen Überarbeitung der europäischen Konstruktionsnormen wurde ein Vorschlag zur Aufnahme von Lehmputz und Lehmplatten in die neue Version des Eurocodes 5 Teil 1-2, d.h. FprEN1995-1-2:2024 [15], eingereicht. Die Aufnahme von Lehm-materialien

in diese Konstruktionsnorm würde erhebliche Möglichkeiten für Lehm und Holz in konventionellen Gebäuden als zukunftsweisende Alternative zu aktuellen Praktiken bieten. Dementsprechend bietet dieses Dokument einen Überblick über die Möglichkeiten, die sich Planern, Designern und Handwerkern durch verbesserte Konstruktionsmöglichkeiten für Holzkonstruktionen eröffnen. Das vorgeschlagene Konstruktionsmodell für Lehm-materialien ermöglicht eine größere Konstruktionsflexibilität und die Erforschung neuartiger Materialkombinationen sowohl in neuen als auch in historischen Holzkonstruktionen.

Brandschutzbemessung von Holzkonstruktionen in Europa

Der Brandschutzteil des Eurocodes 5 [5] enthält die Konstruktionsprinzipien und Anwendungsregeln für Holzkonstruktionen, die eine tragende Funktion (R-Kriterium) und/oder eine trennende Funktion (EI-Kriterium) unter Standard-Brandeinwirkungsbedingungen erfüllen. Im Folgenden werden die wich-

03 Nummerierung und Funktion der Schichten in der Elementaufbau (FprEN 1995-1-2:2024).



- 1 dem Feuer ausgesetzte Seite
- 2 nicht dem Feuer ausgesetzte Seite
- 3 Platten als Schutzschicht
- 4 Platte als Dämmschicht (letzte Schicht n)
- 5 Holzbauteil als Schutzschicht
- 6 Ausfachung (Dämmung oder Hohlraum) als Schutzschicht

tigsten Konstruktionsmodelle kurz vorgestellt, die die theoretische Grundlage für dieses Dokument bilden und die Konstruktionskonzepte zur Berechnung des Feuerwiderstands von Holzkonstruktionen gemäß FprEN1995-1-2:2024 demonstrieren.

Europäisches Verkohlungsmodell

FprEN 1995-1-2:2024 führt das europäische Verkohlungsmodell ein, ein vereinfachtes Modell zur Berechnung des Restquerschnitts eines Holzbauteils unter Annahme linearer Verkohlungsraten während verschiedener Verkohlungsphasen. Das Modell wird zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Holzkonstruktionen verwendet. Abbildung 2 zeigt die Beziehung zwischen Verkohlungstiefe ($d_{char,n}$) und Zeit (t) während verschiedener Verkohlungsphasen. Abbildung 1a zeigt die Verkohlung von Holz ohne Brandschutz, während Abbildung 2b ein Entwurfsszenario mit Brandschutzsystem illustriert (d. h. der Beginn der Verkohlung des Holzes (t_{ch}) ist verzögert und es gilt eine langsamere Verkohlungsrate bis zum Versagenszeitpunkt eines Schutzsystems ($t_{f,pr}$)) [15].

Separierte Funktionsmethode

Gemäß FprEN 1995-1-2:2024 ist dieses Verfahren zum Nachweis der Trennfunktion (Integrität und/oder Isolierung) sowie zur Berechnung des Beginns der Verkohlung ursprünglich geschützter Holzbauteile und der Versagenszeit der Brandschutzsysteme, sofern relevant, anzuwenden. Der Feuerwiderstand wird gemäß diesem Verfahren unter Berücksichtigung des Beitrags aller Schichten zum gesamten Schichtaufbau ermittelt, siehe Abb. 3. Jede Schicht ist durch ihre spezifische Schutzzeit definiert, d. h. die Zeit bis zum Verlust ihrer Brandschutzfunktion [15]. Die letzte Schicht (die dem Feuer abgewandte Seite eines Aufbaus) erfüllt die Isolierfunktion (entscheidendes Versagenkriterium). Die



04 Schichten eines Lehmputzsystems auf einer Blockwand. Quelle: Saviukumaja OÜ.

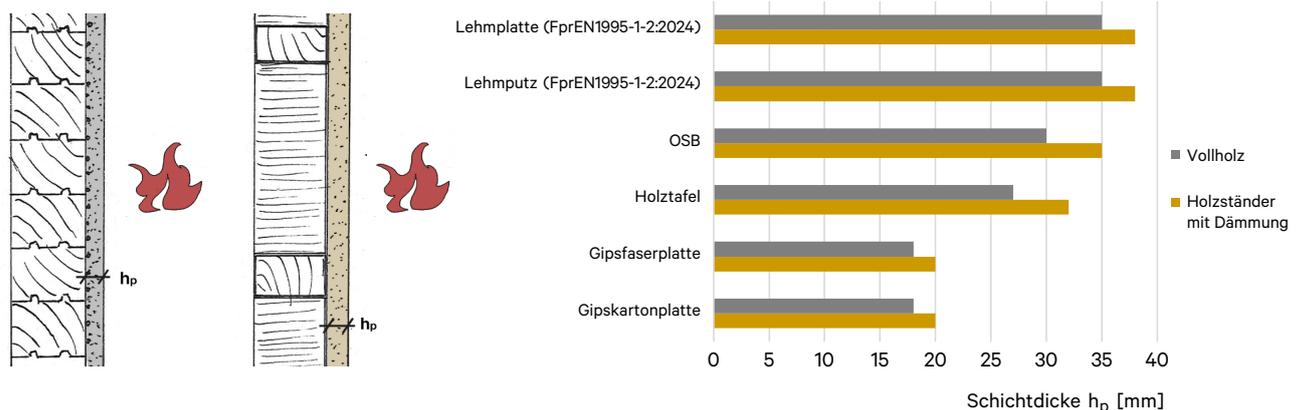
Isolierzeit des gesamten Holzaufbaus kann aus der Summe der Schutzzeiten und der Isolierzeit der letzten Schicht berechnet werden. Dieses Berechnungsverfahren steht im Einklang mit den Anforderungen an das Isolierkriterium in EN 13501-2 [16].

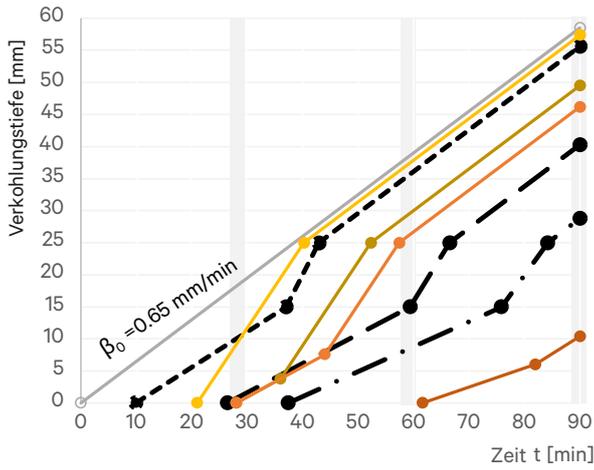
Zusammen mit den entsprechenden Bemessungsparametern für Lehmputz und Lehmplatte (vorgeschlagen in FprEN 1995-1-2:2024) ermöglicht dieses Verfahren eine flexible Bemessung von Holzkonstruktionen mit Lehmbaustoffen als Brandschutzschicht (Abb. 4).

Ursprünglich geschützte Holzkonstruktionen

Es ist gängige Praxis, Holzkonstruktionen zunächst vor Verkohlung zu schützen (vergleiche Abbildung 2a und Abbildung 2b), da die Tragfähigkeit von Holz von seinem Restquerschnitt abhängt. FprEN 1995-1-2:2024 enthält materialspezifische Bemessungsparameter für Schutzmaterialien, wie die Grundschutzzeit, d. h. die

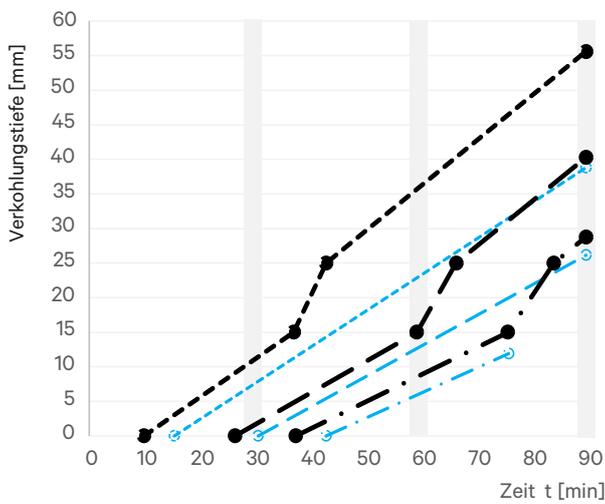
05 Optionen für Brandschutzmaterialien, die das Verkohlen von Holz 30 Minuten lang verhindern können





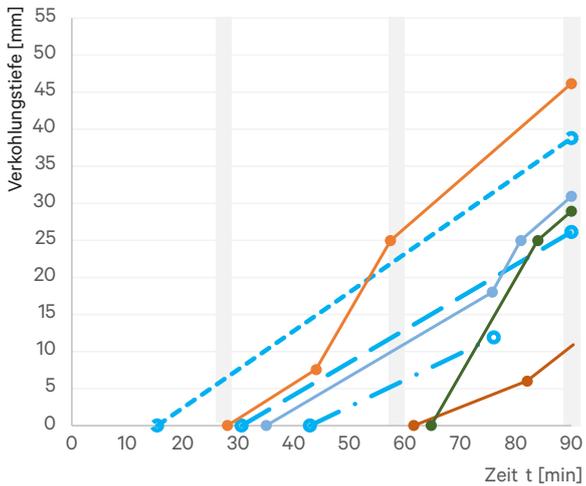
a) Verkohlen von Holzkonstruktionen, die ursprünglich mit Schutzmaterialien geschützt wurden (gemäß FprEN 1995-1-2:2024)

- Holz, ungeschützt
- Lehmputz 15 mm
- Lehmputz 30 mm
- Lehmputz 40 mm
- Gipsfaserplatte 15 mm
- Gipskartonplatte Typ A 12,5 mm
- Gipskartonplatte Typ F 15 mm
- Gipskartonplatte Typ F 2 × 15 mm



b) Berechnung und experimentelle Ergebnisse für Lehmputzsysteme

- 20 mm – prEC5
- - -○- - 20 mm – Experimental
- 30 mm – prEC5
- - -○- - 30 mm – Experimental
- 40 mm – prEC5
- - -○- - 44 mm – Experimental



c) Vergleich experimenteller Ergebnisse an Lehmputzsystemen und Gipskartonplatten

- - -○- - 20 mm Lehmputz – Experimental
- - -○- - 30 mm Lehmputz – Experimental
- - -○- - 44 mm Lehmputz – Experimental
- Gipskartonplatte Typ F 15 mm
- Gipskartonplatte Typ F 2 × 15 mm
- 23 mm Lehmputz + 50 mm Reetplatte – Experim.
- Lehmplatte 2 × 16 mm (Interpretation)

06 Verkohlungsverhalten von Massivholzkonstruktionen gemäß Berechnungen nach FprEN1995-1-2:2024 und experimentellen Ergebnissen von Lehmputzsystemen an Wänden [11].

Zeit bis zum Verkohlen der gesamten Dicke, oder ein Temperaturanstieg von 250K hinter dem Material oder Produkt. Zur Veranschaulichung wird die Brandschutzleistung von Materialien in Abbildung 5 dargestellt, die die Mindestmaterialdicke zeigt, die erforderlich ist, um das Verkohlen von Holz 30 Minuten lang zu verhindern. Da die Brandschutzwirkung auch von der Positionierung einer Schicht in der Holzkonstruktion beeinflusst wird, werden zwei grundlegende Bemessungsoptionen auf Grundlage von Berechnungen vorgestellt [15]: a) Direkt auf eine Massivholzwand (z.B. CLT) oder einen Holzrahmenbau mit einer Holzständerbreite $\geq 80 \text{ mm}$ aufgebracht

Das Brandschutzsystem (grau markiert); b) Direkt auf ein Dämmmaterial (z.B. Mineralwolle) aufgebracht

pelt so dick sein wie Gipskartonplatten, um ein Verkohlen des Holzes zu verhindern.

Diese Optionen erfüllen auch die REI30-Anforderung für Holzkonstruktionen, da das Verkohlen des Holzes verhindert wird, d. h. es kommt zu keiner Verringerung seiner Tragfähigkeit (vorausgesetzt, die Detaillierung wird strikt eingehalten, um die Integritäts- und Isolationskriterien zu erfüllen). Obwohl dieser Ansatz von Designoptionen ohne weitere Berechnungen verwendet werden kann, sind sie möglicherweise zu konservativ, sodass potenzielle Verbesserungen der erforderlichen Schutzdicken möglich sind, die durch weitere Berechnungen verifiziert werden.

Im Hinblick auf die Tragfähigkeit von Holzkonstruktionen ist die Gesamtverkohlungstiefe des Holzes ein relevanter Bemessungswert zur Berechnung des Restquerschnitts des Holzes nach einer bestimmten Zeitspanne, z. B. 60 Minuten. Dementsprechend können unterschiedliche Materialien den Beginn der Verkohlungsrate des geschützten Holzes verringern. Daher können Schutzmaterialien (und ihre Dicken) hinsichtlich der Verkohlungsleistung von Holz sehr unterschiedliche Leistungen aufweisen. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 6a die Entwicklung der Verkohlungstiefe von anfänglich geschütztem Holz im Verhältnis zur Zeit bei Wandaufbauten. Es wird auch auf ungeschütztes Holz Bezug genommen. Ein Vergleich zeigt, dass die Verkohlungstiefe des Holzes nach 60 Minuten bei Verwendung von 15 mm Gipskartonplatten Typ F etwa 10 mm größer ist als bei einem 30 mm Lehmputzsystem (Befestigung durch 25 mm lange Klammern). Dieser Vergleich zeigt, dass das Schutzmaterial eher auf der Grundlage des primären Ziels (z. B. REI60) als der grundlegenden Schutzzeit der Materialien ausgewählt werden sollte (Abbildung 5).

Wie in Abbildung 2 beschrieben und in Abbildung 6a gezeigt, hat die Versagenszeit des Schutzmaterials einen erheblichen Einfluss auf die Verkohlung des Holzes. Abbildung 6b vergleicht die Berechnungen nach FprEN1995-1-2:2024 mit den Ergebnissen der Ofentests und zeigt die Konservativität der vorgeschlagenen Entwurfsgleichung, d. h. in den Tests trat kein Versagen des Putzsystems auf, während das Entwurfsmodell das Versagen berücksichtigt. Dies zeigt deutlich, dass die endgültige Verkohlungstiefe erheblich geringer ist, wenn der Versagenszeitpunkt hinausgezögert wird. Darüber hinaus haben die lehmnbasierten Mate-

rialien bei längeren Bränden ein großes Potenzial, die Gipskartonplatten zu übertreffen (vergleichen Sie z. B. die Verkohlungstiefen zwischen dem 20 mm dicken Lehmputzsystem und der 15 mm dicken Gipskartonplatte Typ F nach etwa 60 Minuten, Abbildung 6c). Darüber hinaus enthält Abbildung 6c weitere Entwurfsoptionen, d. h. Lehmputz und Schilfplatten, die an einer Brettsperrholz-Wand getestet wurden und die Verkohlung des Holzes 60 Minuten lang verhinderten [11]). Eine Interpretation der Testergebnisse für Lehmplatten erfolgt durch Einführen einer aus den Brandtests [17] erhaltenen Beginnzeit der Verkohlung, während die Berechnung gemäß FprEN1995-1-2:2024 erfolgt, um die Verkohlung hinter den Platten nachzuweisen (die Länge der Befestigungselemente beträgt 25 mm im Holz).

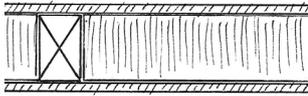
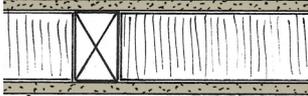
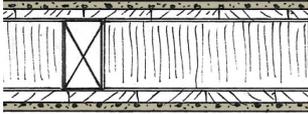
Beispielhafte Anwendungen

Im Folgenden werden Holzwandaufbauten vorgestellt, die FprEN1995-1-2:2024 entsprechen. Die Aufbauten sollen die Konstruktionsmöglichkeiten von Lehmbaustoffen veranschaulichen, die die Feuerwiderstandsanforderungen von REI30 und REI60 erfüllen. Zu diesem Zweck wurden die tabellarischen Daten aus LIGNUM [6] verwendet, die als Grundlage für einen direkten Vergleich zwischen herkömmlichen Wandaufbauten (Spalte A) und den vorgestellten Alternativen mit Lehmbaustoffen (B und C) dienen. Die in Abschnitt 2 beschriebenen Konstruktionsmodelle und Berechnungsmethoden [15] wurden verwendet, um die Wandaufbauten für Lehmschutzsysteme abzuleiten. Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die wichtigsten Konstruktionsoptionen mit Mineralwolle als Dämmschicht für REI30 bzw. REI60. Während bei Option B) Lehmplatten direkt auf die Holzständer aufgebracht werden, wird bei Option C) ein Lehmputzsystem auf einer Sperrholzverkleidung aufgebracht (die dem Holzrahmen auch Steifigkeit verleiht). Darüber hinaus wird eine alternative Lösung mit Holzfasern-Hohlraumdämmung (WF) aufgezeigt, indem eine Mindestdicke angegeben wird, die zum Erreichen der jeweiligen EI-Kriterien erforderlich ist.

Die Bemessungsbeispiele gelten analog auch für bestehende/historische Holzwandkonstruktionen, z. B. Fachwerkbauten. Die vorgestellten Möglichkeiten gelten weiterhin für Massivwandkonstruktionen, lediglich bei Brettsperrholz-Konstruktionen ist die Tragfähigkeit entsprechend der jeweiligen Schichtaufbauten im Brettsperrholz nachzuweisen.

VON DER TRADITION ZUR ZUKUNFTSPERSPEKTIVE: LEHM ALS BRANDSCHUTZ FÜR HOLZ

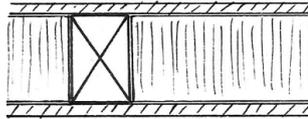
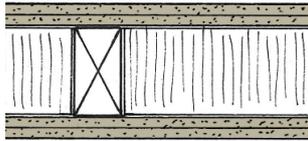
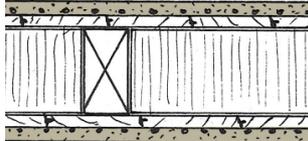
Tabelle 1 Konstruktionsoptionen zur Erfüllung der Feuerwiderstandsdauer von Holzwandkonstruktionen für 30 Min. (REI30**)

Variante*	A) Herkömmliche Wandaufbau (Gipskartonplatte**)	B) Lehmbaustoff als Brandschutzschicht	C) Materialkombination als Brandschutzsystem
Wandaufbau			
Schichten			
1	Gipskartonplatten Typ F 10 mm	Lehmplatte 18 mm	Lehmputzsystem 10 mm
2	Mineralwolle / Holz 120 mm	Mineralwolle / Holz 120 mm	Sperrholzplatte 15 mm
3	Gipskartonplatten Typ F 10 mm	Lehmplatte 18 mm	Mineralwolle / Holz 120 mm
4			Sperrholzplatte 15 mm
5			Lehmputzsystem 10 mm
Optionen Hohlraum- dämmung	Holzfaser-Hohlraum- dämmung 120 mm (nur EI Klassen)	Holzfaser-Hohlraum- dämmung 120 mm (nur EI Klassen)	Holzfaser-Hohlraum- dämmung 120 mm (nur EI Klassen)

* Berechnungen und Detaillierung gemäß FprEN1995-1-2:2024; Schichtdicken geben die erforderliche Mindestdicke des Materials an, um die Anforderungen zu erfüllen.

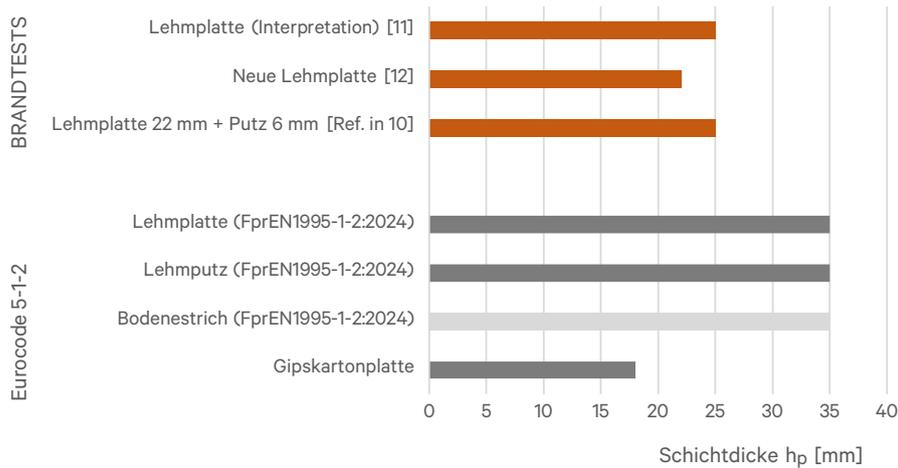
** Gemäß LIGNUM 4.1 (442-3): Angewandte Last 20 kN/m; max. Wandhöhe 3 m; Ständerabstand ≤ 700 mm; Holz C24, Größe 40 mm × 120 mm; Mineralwolle ≥ 26 kg/m³.

Tabelle 2 Konstruktionsoptionen zur Erfüllung der Feuerwiderstandsdauer von Holzwandkonstruktionen für 60 Min. (REI60**)

Variante*	A) Herkömmliche Wandaufbau (Gipskartonplatte**)	B) Lehmbaustoff als Brandschutzschicht	C) Materialkombination als Brandschutzsystem
Wandaufbau			
Schichten			
1	Gipskartonplatten Typ F 15 mm	Lehmplatte 35 mm	Lehmputzsystem 22 mm
2	Mineralwolle / Holz 140 mm	Mineralwolle / Holz 140 mm	Sperrholzplatte 18 mm
3	Gipskartonplatten Typ F 15 mm	Lehmplatte 35 mm	Mineralwolle / Holz 140 mm
4			Sperrholzplatte 18 mm
5			Lehmputzsystem 22 mm
Optionen Hohlraum- dämmung	Holzfaser-Hohlraum- dämmung 140 mm (nur EI-Kriterium)	Holzfaser-Hohlraum- dämmung 140 mm (nur EI-Kriterium)	Holzfaser-Hohlraum- dämmung 140 mm (nur EI-Kriterium)

Berechnungen und Detaillierung gemäß FprEN1995-1-2:2024; Schichtdicken geben die erforderliche Mindestdicke des Materials an, um die Anforderungen zu erfüllen.

** Gemäß LIGNUM 4.1 (442-3): Angewandte Last 20 kN/m; max. Wandhöhe 3 m; Ständerabstand ≤ 700 mm; Holz C24, Größe 40 mm × 120 mm; Mineralwolle ≥ 26 kg/m³.



07 Optionen für Brandschutzmaterialien, die das Verkohlen von Holz 30 Minuten lang verhindern können; Vergleich der erforderlichen Schutzmaterialdicken, die durch Berechnungen und die (interpretierten) Ergebnisse aus Brandtests ermittelt wurden

Ausblick

Die auf den verfügbaren Bemessungsparametern für Lehmbaustoffe basierenden Bemessungsmodelle und -optionen liefern nützliche Erkenntnisse für weitere potenzielle Anwendungen. Aktuell bietet FprEN1995-1-2:2024 eher eingeschränkte Gestaltungsmöglichkeiten für Deckenanwendungen mit Lehmstoffen, d. h. die Maximaldicke eines Putzes oder einer Platte ist auf 20 mm begrenzt. Der Hauptgrund dafür ist ein früheres Abfallen im Vergleich zur Anwendung an Wänden. Innovative Gestaltungslösungen zeigen, wie Lehmstoffe konstruktiv in der Fußbodenkonstruktion befestigt werden können, um ihr (vorzeitiges) Abfallen im Brandfall zu verhindern [1]. Allerdings erfordern solche spezifischen technischen Lösungen weitere Forschung und Verbesserungen der Gestaltungsmodelle mit Lehm, um den Spielraum der Berechnungsmöglichkeiten künftig zu erweitern. Ein anderer Ansatz für Zwischenböden könnte die Einführung eines „Lehm-Estrichs“ sein, der den üblicherweise verwendeten Estrich ersetzt [18]. Wenn die vorliegenden Bemessungsgleichungen in FprEN1995-1-2:2024 angewendet werden, um die Leistung von Lehmputz und Estrich zu vergleichen, ist die Grundschutzzeit beider Materialien vergleichbar, siehe Abbildung 6. Standard-Estrichsysteme weisen häufig eine Schichtdicke von 5 cm oder mehr auf, hauptsächlich um Schalldämmung zu bieten. Die Verwendung einer Alternative auf Lehmbasis mit ähnlicher Feuerbeständigkeit wird die Bodendicke wahrscheinlich nicht erhöhen.

Die Bemessungsmethoden nach Eurocode 5-1-2 sind auch für historische Holzkonstruktionen anwendbar, die Ausfachungen wie Lehm und Ziegel enthalten. Das

bedeutet, dass für zukünftige Bemessungsoptionen die Bemessungswerte für Lehmputz eine nützliche Grundlage darstellen, um die Schutzwirkung abzuschätzen, die diese historischen Ausfachungsmaterialien sowie ihre typische Lehmputzbeschichtung bieten. In einigen nationalen Gestaltungsrichtlinien für historische Gebäude (z. B. in Deutschland) werden vordefinierte historische Holzkombinationen mit Stroh-Lehm-Ausfachung vorgestellt, um einen REI von 30 zu erreichen [20]. Als Ausblick bieten diese historischen Materialkombinationen ein großes Potenzial für weitere Untersuchungen im Brandfall, um die authentischen Gestaltungsmöglichkeiten für die Aufrüstung bestehender Strukturen unter Beibehaltung der traditionellen Materialverwendung und Bautechnologien zu erweitern. Dieses traditionell bewährte Prinzip der Füllung von Holzrahmen mit Lehmmaterialien könnte im Fall von vorgefertigten Innenwandelementen, die mit Lehm von der Baustelle gefüllt werden, wieder interessant werden [4]. Wenn dieses Füllmaterial im Entwurfsmodell (siehe Abschnitt 2) als Schutzschicht berücksichtigt werden könnte, könnte es selbst bei sehr konservativen Parametern die herkömmliche Mineralwolle-Dämmung ersetzen, die es in anderen Bereichen, wie etwa hinsichtlich der thermischen Masse und des hygroskopischen Komforts, leicht übertreffen kann.

Eine weitere Option für die Zukunft liegt in der weiteren Verbesserung der Lehmputze und -platten (d. h. Verbesserung der materialspezifischen thermischen Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen). Um dieses Potenzial zu veranschaulichen, zeigt Abbildung 7 einen Vergleich zwischen den Konstruktionsoptionen gemäß FprEN1995-1-2:2024 und den Ergebnissen aus

den Brandversuchen mit Lehmplatten. Beispielsweise könnte eine 22 mm dicke Lehmplatte (d. h. Entwicklung einer Lehm-Hanf-Platte in Finnland [20]) möglicherweise eine ähnliche Brandschutzwirkung bieten wie ein 35 mm dickes Lehmputzsystem. Dieses Ergebnis könnte in Bezug auf die in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellten Konstruktionsoptionen interpretiert werden, die darauf hindeuten, dass die Dicke des Lehmmaterials möglicherweise reduziert werden könnte.

Diskussion

Dieser Bericht hat gezeigt, dass lehm-basierte Materialien als Verkleidung für Holz praktische Designalternativen darstellen. Insbesondere wenn über den Brandschutz hinausgehende Anforderungen wie Schalldämmung, Raumakustik, thermische Masse in leichten Holzbaugruppen usw. berücksichtigt werden (was in der Praxis häufig zu Schichtdicken führt, die höher sind als das für den Brandschutz erforderliche Minimum). Daher erscheinen Baugruppen mit Lehmschichten, die gemäß FprEN1995-1-2:2024 ausgelegt sind, als praktikable Alternativen zu herkömmlichen Lösungen. Dies deutet auf die Notwendigkeit eines ganzheitlicheren Designansatzes hin. Versuchsergebnisse haben eine wirksame Schutzleistung von Lehmputz und -platten gezeigt, insbesondere bei längeren Bränden. Die verzögerte Versagenszeit (d. h. die geringere Verringerung des Restquerschnitts des geschützten Holzes) spielt hierbei eine wichtige Rolle, was wiederum verdeutlicht, dass das Befestigungssystem von Lehmmaterialien im Untergrund ein entscheidender Parameter ist. Weitere Untersuchungen zu den Versagenszeiten von Lehmmaterialien könnten durchgeführt werden, um Designmodelle für zukünftige Anwendungen zu verbessern. Für Lehmplatten würden weitere Forschungen und Brandtests ermöglichen, ein verbessertes Designmodell vorzuschlagen (siehe Abbildung 7). Dies würde möglicherweise bessere Parameter als die von Lehmputz erfüllen, die im aktuellen Designmodell gleichermaßen auf Putz- und Plattensysteme angewendet werden. Darüber hinaus wären Untersuchungen zum Verhalten von Materialien auf Lehm-basis bei natürlichen Bränden im Hinblick auf die leistungsorientierte Konstruktion, die bei großen Holzgebäuden immer häufiger zum Einsatz kommt, von großem Nutzen.

Die vorgestellten Gestaltungsmöglichkeiten mit lehm-basierten Materialien sind anwendbar, wenn die in FprEN1995-1-2:2024 beschriebenen Gestaltungsregeln und Detaillierungen eingehalten werden. Um die

Materialqualität von Lehmputz und Lehmplatten sicherzustellen, ist außerdem die Einhaltung der jeweiligen Produktnormen und Anwendungsdesigns von entscheidender Bedeutung. Es ist zu beachten, dass lehm-basierte Materialien europäische Produktnormen erfordern würden, um in verschiedenen Gestaltungsrichtlinien (nicht nur in Bezug auf Brandschutz) zu „konventionellen“ Gestaltungslösungen zu werden. Um die Verwendung von Lehm für einen größeren Kreis von Planern zu erleichtern, ist es ratsam, lehm-basierte Materialien neben anderen häufig verwendeten Materialien wie Gipskartonplatten in die tabellarischen Gestaltungsdaten der Gestaltungsrichtlinien aufzunehmen. Diese Aufnahme könnte die Benutzerfreundlichkeit und Zugänglichkeit beim Entwerfen mit Lehm weiter verbessern

Fazit

Für die Überarbeitung des Brandschutzteils des Euro-codes 5, der sich mit der strukturellen Brandschutz-bemessung von Holz befasst, werden derzeit Entwurf-sparameter und -details für Lehmputz und Lehm-platten vorgeschlagen. Dementsprechend stellt dieser Beitrag die Brandschutzbemessungsmodelle und die Leistung von Lehm-materialien als Brandschutz vor und trägt zu ihrer breiteren Verwendung in neuen und bestehenden Gebäuden bei. Praktische Entwurfsoptionen stellen eine angemessene Alternative zu heute verwendeten konventionellen Lösungen dar und weisen gleichzeitig ein großes Potenzial für zukünftige Anwendungen auf. Der Überblick zeigt, dass Fort-schritte sowohl in der Produktentwicklung als auch im Entwurf und in der Gesetzgebung für die breitere Einführung von Lehm-materialien im Holzbau von entscheidender Bedeutung sind.

Referenzen

- [1] Huber, T., Fiebrandt, K., Klippel, M., Bonwetsch, T., Hilber, G., Kirschbaum, O. (2024) *Back to the future – von der Vergangenheit lernen*, <https://www.nbau.org/2024/02/16/holz-lehm-decken-swiss-made/>, Ernst & Sohn GmbH.
- [2] Trummer, J. et al (2022) *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1078 012062.
- [3] COST Action FP1404. (2014). *COST Action FP1404–MEMORANDUM OF UNDERSTANDING For the implementation of a European Concerted Research Action designated as COST Action FP1404 FIRE SAFE USE OF BIO-BASED BUILDING PRODUCTS*. Retrieved from <https://www.cost.eu/actions/FP1404/>
- [4] Volhard, F. (2016) *Light Earth Building–A Handbook for Building with Wood and Earth*, Birkhäuser.
- [5] EN 1995-1-2: 2004 *Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural Fire Design*, CEN.
- [6] LIGNUM Lignum_Dokumentation 4.1 *Bauteile in Holz – Decken, Wände und Bekleidungen mit Feuerwiderstand Lignum*, Prof. Dr Andrea Frangi, Christoph Angehrn, Ivan Brühwiler, Reinhard Wiederkehr; fachliche Begleitung: Prof. Dr Mario Fontana, SIA, ETH, EMPA; 2015.
- [7] Baumberger, A., Eggenberger, H., Löffler, C., Merk, C., & Müller, D. (2022). *Lehmbau und Brandschutz–Standortpapier*. Zürich.
- [8] *Clayboards, fire resistance performance, product sheet*: <https://lemix.eu/media/upload/downloads/Lemix-Broschuere.pdf>.
- [9] *Report–Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis*, https://fasba.de/wp-content/uploads/2016/05/MPA_BS_P-3048-817-08_2015.pdf, MPA, Germany, 2014.
- [10] Küppers, J. (2020) *Grundlagenuntersuchungen zum Brandverhalten von WDVS mit nachwachsenden Rohstoffen*. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. Doctoral Thesis, Germany.
- [11] Liblik, J. (2023) *Performance of timber structures protected by traditional plaster systems in fire*, Doctoral Thesis, Tallinn University of Technology, Estonia.
- [12] DIN 18947 (2018). *Lehmputzmörtel–Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung (Earth plasters–Requirements, test and labelling)*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V (in german).
- [13] DIN 18948 *Lehmplatten–Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung (Earthen boards–Requirements, test and labelling)*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V (in german).
- [14] DIN 18940, *Load-bearing earth block masonry. Construction. design and execution*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V (in german).
- [15] FprEN 1995-1-2:2024 *Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural Fire Design* (final draft under revision).
- [16] EN 13501-2 (2016) *Fire classification of construction products and building elements Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services*, European Committee for Standardization, CEN.
- [17] Rauch, M., Just, A., Klippel, M. (2022) *Leitfaden zur Bemessung von tragenden und raumabschließenden Wand- und Deckensystemen in Holztafelbauweise, bekleidet mit Lehmbaublatten (Lemix 2.0)*, IGNIS Report, Switzerland.
- [18] Rauch, M., Werther, N., & Winter, S. (2021). *Fire design methods for timber floor elements–The contribution of screed floor toppings to the fire resistance*. World Conference on Timber Engineering 2021, WCTE 2021, October. doi: 10.13140/RG.2.2.16032.00004
- [19] *Lehmbau Regeln: Begriffe–Baustoffe–Bauteile* (German Edition) 3., überarb. Aufl. 2009 Edition, Dachverband Lehm e. V., Vieweg+Teubner Verlag, Germany.
- [20] *The Stalk project (2023-2024)*, project webpage: <https://research.tuni.fi/buildingphysics/stalk-and-biosivu/>, Tampere University, Finland.

Kontaktangaben

Tallinn University of Technology
Ehitajate tee 5
19086 Tallinn, Estonia
johanna.liblik@taltech.ee

baubüro in situ ag
Hohlstrasse 418
8048 Zürich
www.insitu.ch

IG Lehm
Feldstrasse 133
8004 Zürich
www.iglehm.ch

