

# Brandverhalten von Lehmbauplatten

Matthias Högemann, Philipp Neuß  
Masterstudenten ETH Zürich

## 1. EINLEITUNG

Hybridkonstruktionen aus Holz und Lehm haben eine lange Tradition. Heute wird die Kombination von Holz und Lehm jedoch häufig durch Brandschutzauflagen behindert und Lehm ist noch nicht als gleichwertiger Baustoff zu anderen mineralischen Baustoffen anerkannt. Dies ist insbesondere in den Vorschriften erkennbar. Gleichzeitig allerdings ist das Bewusstsein für Baustoffkreisläufe, Energiebilanzen und Emissionen im Zusammenhang mit dem Bau von Gebäuden gestiegen, wodurch sich Chancen für die Entwicklung von Hybridkonstruktionen aus Holz und Lehm bieten.

Derzeit fehlen Regelwerke mit experimentell abgesicherten praktischen Bemessungsregeln für den Einsatz von Lehmprodukten als Brandschutzschichten. Um den zukünftigen Einsatz von Lehmprodukten zu ermöglichen, wurde ein von der Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz (WHFF-CH) finanziertes Forschungsprojekt initiiert. Ziel ist es, experimentell abgesicherte Grundlagen für die Entwicklung von Bemessungsregeln für den Einsatz von Lehmprodukten zu schaffen, die in die Lignum-Dokumentation Brandschutz 6.1. (Bauteile in Holz – Decken, Wände und Bekleidungen mit Feuerwiderstand), Ausgabe 2026/27, aufgenommen werden sollen. Die Bemessungsregeln wurden auf der Grundlage der Ergebnisse einer Reihe von Brandversuchen im Brandlabor der ETH Zürich entwickelt, die durch thermische numerische Simulationen ergänzt wurden. Der Schwerpunkt lag auf der Entwicklung vereinfachter Regeln für die Berechnung der Feuerwiderstandsdauer (Schutzzeit) von Lehmbauplatten. Das Projekt wurde koordiniert von der Interessensgemeinschaft Lehm (IG Lehm).

## 2. GRUNDLAGEN

### 2.1 Lehmbauplatten

Lehmbauplatten sind werkseitig hergestellte, flache, plattenförmige Baustoffe, die trocken verlegt werden. Neben dem Hauptbestandteil Lehm werden diverse weitere Zusatzstoffe verwendet, die von Produkt zu Produkt variieren. Typische Zusatzstoffe sind mineralische Zusatzstoffe wie Sand oder Ziegelstaub sowie organische Zusatzstoffe wie Pflanzenfasern. Um als Lehmbauplatte klassifiziert zu werden, muss Lehm als alleiniges Bindemittel fungieren. Vorteile von Lehmbauplatten im Vergleich zu anderen Trockenbauplatten wie der Gipskartonplatte ist zum einen der niedrigere CO<sub>2</sub>-Fussabdruck auf Grund von Lehm als Bindemittel, sowie ein positiver Effekt für das Raumklima.

Eine Schwierigkeit im Umgang mit Lehmbauplatten, insbesondere hinsichtlich der Schutzwirkung im Brandfall, ist die grosse Variabilität zwischen den einzelnen Produkten. Abbildung 1 zeigt zwei verschiedene Lehmbauplatten, deren Aufbau und Eigenschaften sich stark unterscheiden.



Abb. 1: Unterschiedlicher Aufbau von zwei Lehmbauplatten

## 2.2 Nachweis der brandabschnittsbildenden Funktion

Für den Nachweis der REI-Funktion von Bauteilen bietet der neue Eurocode 5 (EN 1995-1-2:2025) ein Verfahren zur Berechnung der brandabschnittsbildenden Funktion, das sich an der Lignum-Dokumentation Brandschutz 3.1 (Feuerwiderstandsbemessung – Bauteile und Verbindungen, Ausgabe 2019) orientiert. Das Verfahren berücksichtigt die Feuerwiderstände der einzelnen Schichten und bietet somit eine einfache Möglichkeit, verschiedene Aufbauten zu berechnen. Der Feuerwiderstand eines Aufbaus setzt sich zusammen aus den Schutzzeiten  $t_{prot,i}$  der einzelnen Schichten sowie der Isolationszeit  $t_{ins,n}$  der letzten Schicht (vgl. Abbildung 2).

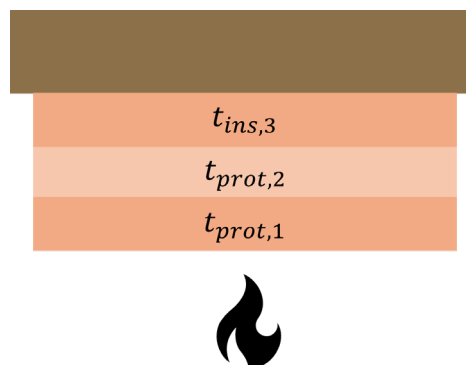


Abb. 2: Berechnungsmodell des Feuerwiderstandes eines dreilagigen Aufbaus

Die Schutzzeit einer Schicht sollte gemäss Eurocode 5 mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} * k_{pos,exp,i} * k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) * k_{j,i}$$

mit

$t_{prot,i}$  die Schutzzeit der Schicht  $i$ , in min

$t_{prot,0,i}$  die Grundschutzzeit der Schicht  $i$ , in min

$k_{pos,exp,i}$  der Positionsbeiwert für die Schicht  $i$  resultierend aus den davorliegenden, auf der brandzugewandten Seite liegenden Schichten

$k_{pos,unexp,i}$  der Positionsbeiwert für die Schicht  $i$  resultierend aus der dahinterliegenden, auf der brandabgewandten Seite liegenden Schicht

$\Delta t_i$  die Korrekturzeit für die Schicht  $i$ , in min

$k_{j,i}$  der Fugenbeiwert für die Schicht  $i$

Die Isolationszeit  $t_{ins,n}$  der letzten Schicht n sollte gemäss Eurocode 5 mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} * k_{pos,exp,n} + \Delta t_n) * k_{j,n}$$

mit

$t_{ins,0,n}$	die Grundisolationszeit der letzten Schicht n, in min
$k_{pos,exp,n}$	der Positionsbeiwert für die letzte Schicht n resultierend aus den davorliegenden, auf der brandzugewandten Seite liegenden Schichten
$\Delta t_n$	die Korrekturzeit für die letzte Schicht n, in min
$k_{j,n}$	der Fugenbeiwert für die letzte Schicht n

Für den Nachweis der brandabschnittsbildenden Funktion werden somit insgesamt vier Parameter benötigt: Die Grundschutzzeit  $t_{prot,0,i}$ , die Grundisolationszeit  $t_{ins,0,n}$  und die Positionsbeiwerte  $k_{pos,exp,i}$ ,  $k_{pos,unexp,i}$  und  $k_{pos,exp,n}$ . Um diese Parameter zu ermitteln, gibt EN 1995-1-2:2025 eine Methodik auf der Basis von Brandversuchen und numerischen Simulationen.

EN 1995-1-2:2025 gibt zudem bereits Parameter für Lehmprodukte, die auf Versuchen mit Lehmputzen basieren (vgl. Liblik et al.). Diese Parameter sind jedoch auf den typischen Dichtebereich von Lehmputzen ( $1610 \leq \rho \leq 1800 \text{ kg/m}^3$ ) beschränkt. Lehmbauplatten haben häufig geringere Dichten zwischen  $700\text{--}1500 \text{ kg/m}^3$ . Von den getesteten Platten erfüllte nur eine Platte die Dichteanforderungen des EN 1995-1-2:2025.

### 3. BRANDVERSUCHE

#### 3.3 Versuchsprogramm

Insgesamt wurden 10 Brandversuche im Brandlabor der ETH Zürich durchgeführt. Der Brandofen wird mit bis zu zehn Gasbrennern beheizt und ermöglicht eine beflammende horizontale Fläche von  $1.0 \times 1.67 \text{ m}^2$ . Somit konnten vier Probekörper pro Brandversuch gleichzeitig untersucht werden, wodurch insgesamt 40 Probekörper getestet werden konnten. Der Aufbau bestand aus einer 40 mm auf der brandabgewandten Seite liegenden Spanplatte, die von ein- oder mehrlagigen Lehmbauplatten geschützt wurde. Zwischen den einzelnen Schichten und auf der brandzugewandten Seite der Spanplatte wurden die Temperaturen mit Thermoelementen gemessen. Ein beispielhafter Probekörper ist in Abbildung 3 zu sehen.



Abb. 3: Typischer Probekörper mit vier unterschiedlichen Lehm- und Holzbauplatten für die Brandversuche

Abbildung 4 zeigt zum Beispiel die gemessenen Temperaturen für einen Brandversuch mit zweilagigen Lehm- und Holzbauplatten. Die Pink-Linie zeigt die ISO-Normbrandkurve, die die Ofentemperatur abbildet. Die Grün-Linien zeigen die gemessenen Temperaturen hinter der ersten Lage und die Blau-Linien die gemessenen Temperaturen hinter der zweiten Lage der Lehm- und Holzbauplatten. Zudem wurde die Temperatur bei den Fugen der Platten gemessen (Grau-Linien). Der starke Anstieg der Temperaturen hinter der ersten Lage bei ca. Minute 50 ist mit dem Abfallen dieser Lage zu erklären.

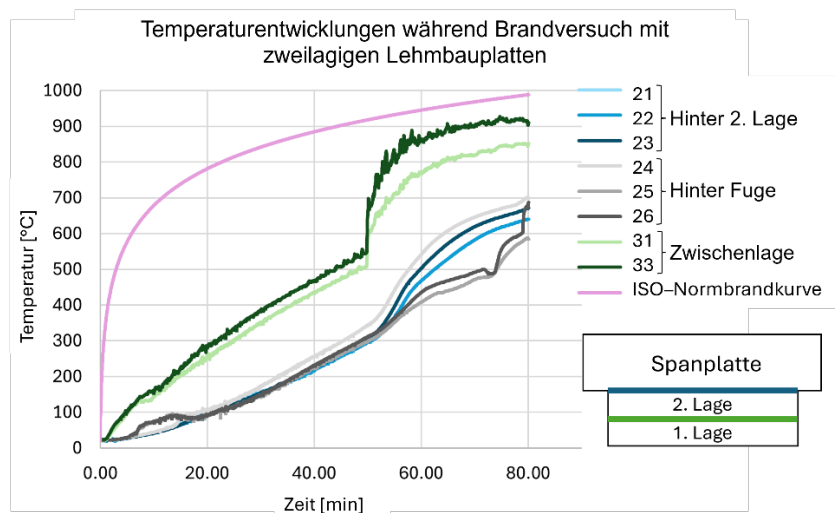


Abb. 4: Gemessene Temperaturen für einen Brandversuch mit zweilagigen Lehm- und Holzbauplatten

Aus den gemessenen Temperaturen konnte die Schutzzeit der Lehm- und Holzbauplatten bestimmt werden, indem die Temperaturerhöhung auf der brandzugewandten Seite der Spanplatte auf  $\Delta T_{\text{Mittelwert}}$  von 250K bzw.  $\Delta T_{\text{Max}}$  von 270K begrenzt wird. Mit dem Einhalten dieses Temperaturkriteriums wird die Spanplatte gegen Entzünden, Verkohlungen und anderen Schäden geschützt. Abbildung 5 zeigt die Schutzzeiten für das Temperaturkriterium  $\Delta T_{\text{Mittelwert}}$  von 250K für alle Versuche mit einlagigen Lehm- und Holzbauplatten in Abhängigkeit der Plattendicke. Daraus erkennt man die relativ grosse Streuung der Ergebnisse sowie die geringe Korrelation zwischen Schutzzeit und Dicke der Lehm- und Holzbauplatten.

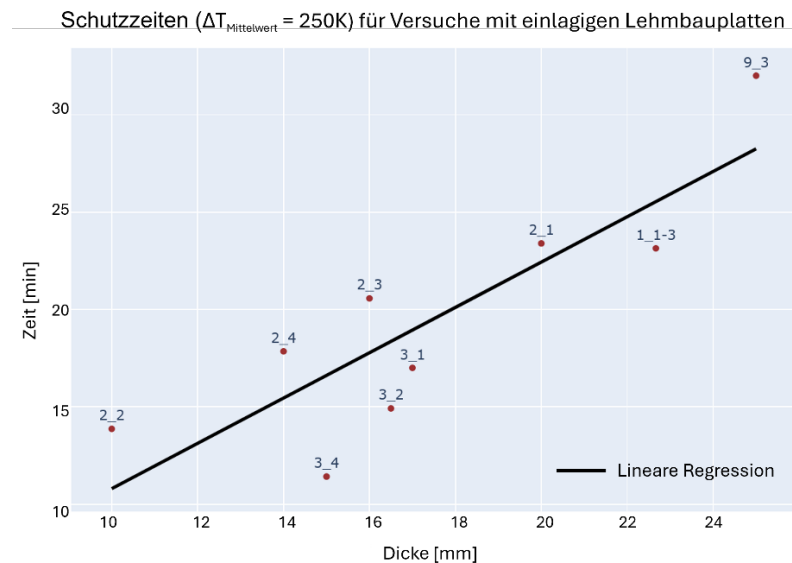


Abb. 5: Schutzzeiten für das Temperaturkriterium  $\Delta T_{\text{Mittelwert}}$  von 250K für alle Versuche mit einlagigen Lehm- und Gipsbauplatten in Abhängigkeit der Plattendicke

Mit einlagigen Lehm- und Gipsbauplatten konnten Schutzzeiten bis zu 30 Minuten erreicht werden. Die Versuche mit zweilagigen Lehm- und Gipsbauplatten haben Schutzzeiten von 40–70 Minuten gezeigt, wodurch ein Einsatz in der Praxis möglich ist.

### 3.4 Versuchsauswertung

Der erste Schritt der Auswertung der Versuche bestand aus verschiedenen Regressionsanalysen, um den Einfluss verschiedener Parameter auf das Verhalten im Brandfall zu untersuchen. Dabei konnten verschiedene Einflussfaktoren aufgefunden werden. So spielt neben der Dicke auch die Dichte und der Wassergehalt der Platten eine wichtige Rolle. Platten mit einer niedrigeren Dichte und einem höheren Wassergehalt erreichten in den Versuchen höhere Schutzzeiten. Eine besonders hohe Korrelation ergab sich mit der Kombination aus Dicke und Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit deckt Effekte von verschiedenen Parametern wie Dichte und Wassergehalt, wodurch sich die Kombination aus Dicke und Wärmeleitfähigkeit gut eignet, um das heterogene Verhalten der Lehm- und Gipsbauplatten zu beschreiben. Mit der Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit können Bemessungsgrundlagen entwickelt werden, die wirtschaftlich und nicht zu konservativ sind. Die Spanne der Wärmeleitfähigkeiten der getesteten Produkte reichte von 0,13 W/mK bis 0,7 W/mK, was die große Heterogenität der Produkte unterstreicht.

Im zweiten Schritt wurden zur Bestimmung der weiteren Parameter für den Nachweis der brandabschnittsbildenden Funktion FE-Simulationen mit dem Programm SAFIR durchgeführt. Dafür wurden temperaturabhängige thermische Parameter (Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) mit Hilfe der Versuchsdaten ermittelt, indem die Brandversuche in SAFIR nachgebildet wurden. Ein beispielhaftes Ergebnis einer Simulation ist in Abbildung 6 zu sehen. Die Schwierigkeit bei der Simulation bestand darin, ein Set von temperaturabhängigen thermischen Parametern für verschiedene Produkte zu finden. Es zeigte sich, dass bestimmte Produkte aufgrund von deutlich schlechterer Schutzwirkung ausgeschlossen werden mussten.

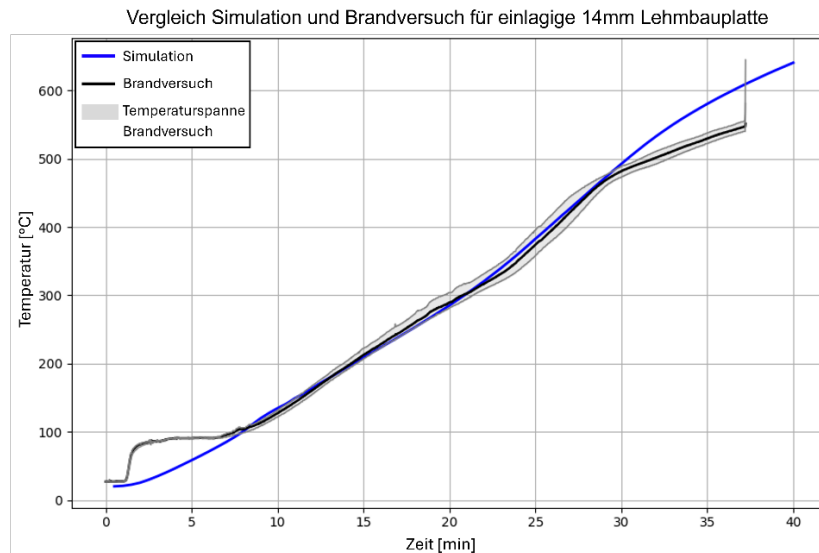


Abb. 6: Vergleich von Simulation und Brandversuch für eine einlagige 14mm dicken Lehm- und Gipsbauplatte

Im letzten Schritt mit dem finalen Set von temperaturabhängigen thermischen Parametern wurden die Grundisolationszeit und die Positionsbeiwerte mit numerischen Simulationen gemäss Anhang G von EN 1995-1-2:2025 bestimmt. Die numerischen Simulationen werden für verschiedene Dicken (und Dichten) wiederholt und aus den Simulationsergebnisse werden die entsprechenden Bemessungsgleichungen für den spezifischen Parameter bestimmt. Dieses Vorgehen ist beispielhaft in Abbildung 7 für die Grundisolationszeit von einlagigen Lehm- und Gipsbauplatten zu sehen, wobei die auch den aktuellen Ansatz gemäss EN 1995-1-2:2025 für die Lehmputze darstellt, der deutlich konservativer ist, insbesondere für die dickeren Aufbauten. Insgesamt wurden drei unterschiedliche Dichten und fünf verschiedene Dicken simuliert, wobei der Einfluss der Dichte wenig aussagekräftig ist. Dies hängt damit zusammen, dass die temperaturabhängigen thermischen Parameter über alle Simulationen gleich waren, wodurch sich eine höhere Dichte auf die Grundisolationszeit positiv auswirkt. In der Realität geht eine höhere Dichte jedoch meist auch mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit einher, weswegen in den Versuchen die Platten mit einer höheren Dichte eine schlechtere Schutzwirkung zeigten.

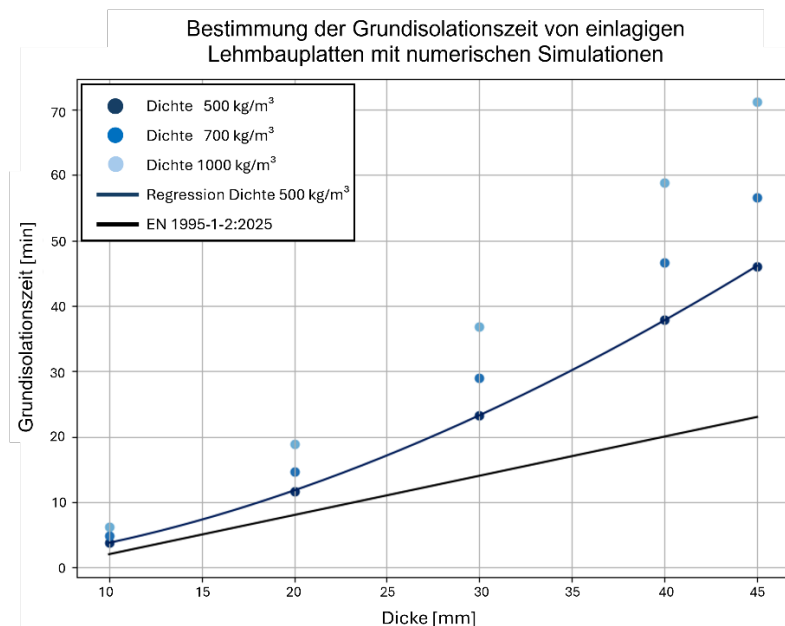


Abb. 7: Bestimmung der Grundisolationszeit von einlagigen Lehm- und Gipsbauplatten mit numerischen Simulationen

#### **4. FAZIT UND AUSBLICK**

Die umfassenden experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Einsatz von Lehm- und Holzbauplatten als Brandschutzbekleidung von Holzbauteilen möglich ist und es konnten Bemessungsvorschläge für die wichtigsten Parameter für den Nachweis der brandabschnittsbildenden Funktion ermittelt werden. Mit gängigen Aufbaudicken sind Schutzzeiten von 30–60 min möglich.

Ein besonderes Augenmerk zukünftiger Forschung sollte auf den Verbindungsmitteln liegen, da es in den Versuchen vereinzelt zu frühzeitigem Abfallen der Platten gekommen ist. Dies reduziert die Schutzwirkung erheblich und muss bei einem Einsatz in der Praxis ausgeschlossen werden.

#### **5. REFERENZEN**

EN 1995-1-2:2025, Eurocode 5 - Design of timber structures - Part 1-2: Structural fire design

Liblik, J.; Just, A.; Küppers, J. (2020): Eigenschaften von Lehmputzen für den Brandschutz von Holzkonstruktionen, in: LEHM

Liblik, J.; Baumberger, A.; Löffler, C.; Just, A. (2024): Von der Tradition zur Zukunftsperspektive: Lehm als Brandschutz für Holz, in: LEHM

Schleifer, V. (2009): Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall. Dissertation. ETH Zurich