REALBRANDVERSUCHS ZUR BRANDSCHUTZTECHNISCHEN UNTERSUCHUNG VON AUFSTOCKUNGEN IN HOLZBAUWEISE

Sabine Scheidel[1], Tobias Götz[2], Sebastian Dienst[2], Oliver Kornadt[1]
[1] *Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, 67663 Kaiserslautern,*
E-Mail: sabine.scheidel@rptu.de, oliver.kornadt@rptu.de
[2] *PIRMIN JUNG Deutschland GmbH, 53424 Remagen,*
E-Mail: tobias.goetz@pirminjung.de, sebastian.dienst@pirminmjung.de

Kurzfassung/Abstract

Um schnell Wohnraum zu schaffen, der überwiegend im innerstädtischen Bereich benötigt wird, bietet sich eine Aufstockung in einer Holzrahmen-/ Holztafelbauweise in besonderer Weise an. Ein wesentliches Augenmerk ist dabei jedoch auf den Brandschutz zu legen. Durch die brennbare Eigenschaft des Holzes sind vor allem Überschreitungen der Geschosshöhen in die Gebäudeklassen 4 und 5 zu beachten. Mithilfe eines Realbrandversuches wurden konstruktionsbedingte Schwachstellen, wie die Anschlussfuge der Holzbaugeschosse auf die Bestandsbauteile untersucht um eine mögliche Rauchgasverschleppung ausschließen zu können. Auch die Einbindung von Baustoffen aus natürlichen Rohstoffen war Teil des Realbrandversuchs, um dessen Auswirkungen auf einen Brandverlauf mit beurteilen zu können.

In order to quickly create living space, which is mainly needed in inner-city areas, adding additional stories using timber frame construction is particularly suitable. However, it is essential to pay close attention to fire protection. Due to the combustible nature of wood, buildings in building classes 4 and 5 in particular must be taken into account. A real fire test was used to examine construction-related weak points, such as the connection joints between the timber floors and the existing components, in order to rule out the possibility of smoke gas spreading. The use of building materials made from natural raw materials was also included in order to assess their impact on the course of a fire.

Einleitung

Seit Jahren ist in Deutschland ein steigender Bedarf an Wohnungen zu verzeichnen. Diese werden überwiegend in Ballungszentren und innerstädtisch erforderlich. Eine Studie des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR] zeigt in der Publikation zur Wohnungsbedarfsprognose von Mai 2025 einen Neubaubedarf von 320.000 Wohneinheiten pro Jahr in den Jahren 2023 bis 2030 auf (Müther und Waltersbacher 2025). Die Publikation führt neben der Errichtung neuen Wohnraums und einer Umnutzung von Gewerbeimmobilien auch einen Ausbau von Dachgeschossen zur Schaffung neuen Wohnraums auf (Müther und Waltersbacher 2025). Das Pestel Institut und die Technische Universität Darmstadt führen in der Deutschland-Studie 2015 ein Potenzial von 1,1 Mio. zusätzlichen Wohnungen durch Aufstockungen von bestehenden Gebäuden an. Betrachtet wurden dabei nur aufstockbare Mehrfamilienhäuser (Tichelmann et al. 2016).

Zusätzlich zu der Notwendigkeit der Schaffung von Wohnraum ist die Politik zur Einhaltung der vereinbarten Klimaschutzziele gezwungen. Um dies umsetzen zu können, wird verstärkt der Baustoff „Holz“ betrachtet. Der Bund verabschiedete zur Förderung des Holzbaus die „Charta für Holz 2.0“ (Alfter et al. 2018) und das Bundesland Baden-Württemberg erklärte das Bauen mit Holz für Landesgebäude zur Pflicht (Rieger 2018; Holzbau-Offensive Baden-Württemberg 2018). Dabei hat Holz nicht nur den Vorteil, ein nachwachsender Baustoff zu sein. Durch einen hohen Grad der Vorfertigbarkeit wird in der Errichtungszeit eine deutliche Bauzeitreduzierung ermöglicht. Weiterhin reduziert die Ausführung der aufzustockenden Geschoss in einer Holzbauweise die zusätzlichen Lasten, die auf die Bauteile der Bestandsgebäude einwirken. Wird die Holzrahmenbauweise angewendet, können die Lasten nochmals deutlich verringert werden. (Holzbau-Offensive Baden-Württemberg 2018).

Die Potenziale des Holzbaus sind weitläufig bekannt, oftmals erschweren Vorschriften den Einsatz aufgrund der brennbaren Eigenschaft des Rohstoffes. Die Musterholzbaurichtlinie beschreibt Anforderungen an eine Ausführung der Holzbauteile beim Einsatz in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5. Hier wird vor allem eine nichtbrennbare Bekleidung mit Gipswerkstoffplatten und eine nichtbrennbare Dämmung mit einem Schmelzpunkt von >1.000°C gefordert (Bauministerkonferenz (IS-ARGEBAU) Mai 2025; Scheidel et al. 2022). Dabei sind individuelle Lösungen bei einer weniger strengen Rechtsgrundlage zur Realisierung von Holzgebäuden auch in höheren Gebäudeklassen möglich.

Mit der Entwicklung einer Methodik zur Aufstockung bestehender Gebäude in Massivbauweise mit leichten Holzbaugeschossen befasste sich auch ein FuE-

Projekt der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau gemeinsam mit der PIRMIN JUNG Deutschland GmbH in dessen Rahmen ein Realbrandversuch durchgeführt wurde (Scheidel und Kornadt 2025).

Durchführung eines Realbrandversuchs

Hintergrund

Die Aufstockung von bestehenden Gebäuden mit Geschossen in einer Holztafelbauweise erfordert individuelle Lösung für Situationen, die bei der Planung eines Neubaus standardmäßig betrachtet werden. So stellen z.B. Anschlussfugen eine konstruktionsbedingte Schwachstelle dar, an der bei einer mangelhaften Ausführung ein Einbrand in die Konstruktionsebene der Holzbauteile zu befürchten ist. Ein solcher Einbrand kann einen Schwelbrand hinter einer noch intakten Bekleidungsebene zur Folge haben, welcher zu einer unbemerkten Brandausbreitung innerhalb des Bauteils führen kann. Desweiteren sind die Übergänge vom Bestandsgebäude zu den Aufstockungen u.a. im Bereich von Treppenöffnungen interessant, insbesondere, wenn keine neue durchgehende Schicht vorgesehen wird.

Eine Ausführung im Hinblick auf die Einhaltung des erforderlichen Sicherheitsniveaus ist vor allem für Gebäude, die mit einer Aufstockung die Grenze zur Gebäudeklasse 4 oder 5 überschreiten, unablässig. Nur durch eine risikogerechte Ausführung kann die Aufstockung von bestehenden Gebäuden durch Holzbaugeschosse als Lösungsweg für die Wohnungsknappheit flächig eingesetzt werden.

Planung des Realbrandversuchs

Ziel bei dem bearbeiteten Projekt war es zudem, den Anteil an Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen für die neu zu errichtenden Geschosse auf > 95% anzuheben (Scheidel et al. 2023; Scheidel et al. 2025). Dies setzt einen Verzicht auf eine Bekleidung der Bauteile mit Gipswerkstoffplatten voraus. Da dieser Aufbau nicht der technischen Baubestimmung „Musterholzbaurichtlinie“ entspricht, ist für eine solche Ausführung eine gesonderete Zulassung zu erwirken. Mit dem Realbrandversuch soll der Aufbau für eine Eignung zur Beantragung möglicher vorhabenbezogener Bauartgenehmigungen überprüft werden.

Ein weiterer Aspekt zur Durchführung eines Realbrandversuches betraf die Brandeinwirkung auf die Konstruktion, welche für die Holzbaugeschosse entwickelt wurde. Normativ ist zur brandschutztechnischen Bemessung von Bauteilen mit Anforderungen die Einheitstemperaturzeitkurve, kurz ETK, vorgeschrieben. Die Temperaturentwicklung der Brandkurve geht von einer schnell ansteigenden Brandenergie aus, welche über den gesamten Zeitraum zwar abschwächt aber nicht rückläufig wird. Es wird demnach nur die Vollbrandphase abgebildet. Berechnet wird die Kurve nach folgender Gleichung 1 die in DIN EN 1363-1 festgeschrieben ist.

$$T = 345 \cdot \log(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

T = Brandtemperatur, t = Branddauer

Ein Naturbrand steigt in der Intensität jedoch zunächst langsam an und erreicht erst bei einer ausreichenden Wärmefreisetzungsrate den Vollbrand. Sobald die im Raum vorhandene Brandlast zu 70% (Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) 2020) verbrannt ist, klingt der Brand ab und die Abkühlphase beginnt. Die beiden Brandverläufe werden in Abbildung 1 gegenübergestellt.

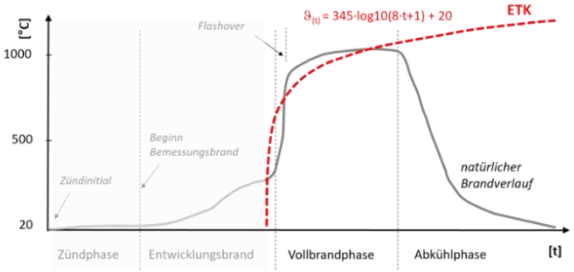


Abbildung 1: Temperaturverlauf ETK und Naturbrandkurve im Vergleich

Durch die Einwirkung eines natürlichen Brandverlaufs lassen sich die Auswirkungen einer langsam ansteigenden Temperatur besser beobachten. Insbesondere können Effekte berücksichtigt werden, die durch das allmähliche Ausdiffundieren des in den Baustoffen gespeicherten Wassers entstehen, bevor die maximale Brandenergie auf die Bauteile einwirkt. Daher wurde, um den Realbrandversuch durchzuführen, auf einen Naturbrand zurückgegriffen.

Errichtet wurde ein zweigeschossiges Versuchsgebäude mit einem Erd- und einem Obergeschoss. Die beiden Geschossen wurden durch eine Öffnung in der Decke (Treppenöffnung) miteinander verbunden. Die Außenmaße betrugen 3 m x 4 m, mit einer Geschosshöhe von 2,80 m. Der Aufbau erfolgte als reiner Holztafelbau, wobei das Erdgeschoss mit einer doppellagigen Gipskarton-Feuerschutzplatte versehen wurde, um hier eine Nichtbrennbarkeit der Bauteile zu assoziieren. Dies soll das Bestandsgebäude aus Massivbauweise simulieren. Die Gefachdämmung besteht aus Steinwolle um die Nichtbrennbarkeit und den Schmelzpunkt von >1.000°C sicherzustellen.

Auf das Erdgeschoss wurde ab der Deckenoberkante der Neubau in Holztafelbauweise errichtet. Der Fußboden und die Decke sind mit einer doppellagigen, je 18mm starken Gipskarton-Feuerschutzplatte bekleidet. Für die Außenwände im Obergeschoss wurde außenseitig eine Vollholzverschalung angebracht. Innenseitig wurde auf die Konstruktionshölzer eine Holzverschalung montiert und darauf eine Bekleidung

mit Lehmbauplatten angebracht. Diese Lehmbauplatten sind vor Ort mit einem Lehmputz versehen worden. Die Gefachdämmung bestand hier bei den Außenwänden ebenfalls aus Steinwolle mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C. In der Innenwand wurde eine Holzfaserdämmung verwendet. Dadurch soll ein erster Einblick zur Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen in Verbindung mit einer Bekleidung, ebenfalls aus nachwachsenden Rohstoffen, untersucht werden. Die Grundrisse und die Aufbauten der Außenbauteile in Erd- und Obergeschoss, sowie der Aufbau der innenliegenden Wand sind in Abbildung 2 zu sehen.

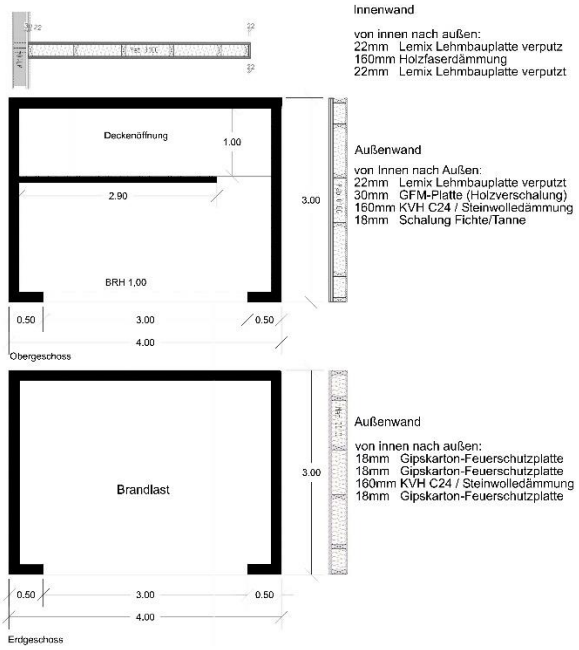


Abbildung 2: Grundriss EG und OG, sowie Wandaufbauten

Die Brandlast wurde mit einer für eine Wohnnutzung in DIN EN 1991-1-2 üblichen Brandlast von 780MJ/m² für das 50 %-Quantil angenommen und mit Holzkrippen aus Fichtenholz hergestellt. Die Holzkrippen wurden mit einem Brandlast zu Luft-Verhältnis von 1:1 errichtet, siehe Abbildung 3.

Die gesamte Brandlast wurde im Erdgeschoss vorgesehen und so angeordnet, dass sich keine Brandlast direkt unter der Öffnung der Treppe befindet. Auf Abbildung 3 ist das fertige Versuchsgebäude zu erkennen.

Zur Messung der Temperaturentwicklung in den Bauteilen und insbesondere in den Anschlussfugen wurden Thermoelemente Typ K nach DIN EN 1363-1 vorgesehen. Insgesamt wurden 100 solcher Messstellen verbaut. Dadurch konnte eine Aufzeichnung der Bauteilerwärmung erfolgen und während des Versuchsablaufs stetig kontrolliert werden, ob die Außenwände auf der brandabgewandten Seite eine kritische Temperatur erreichen und der Versuch aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden muss. Die Freiwillige Feuerwehr Winnweiler begleitete den gesamten Versuch. Dadurch konnte für den Fall eines erforderlichen Versuchsabbruchs ein schnelles Ablöschen des Brandes sichergestellt werden. Gleichzeitig nutzte die Feuerwehr den Versuch zum Sammeln eigener Erfahrungswerte, um für zukünftige Brände in Gebäuden mit einer Holzrahmenkonstruktion bestmöglich vorbereitet zu sein. Durch den Einsatz der Drohne der Feuerwehr, welche mit einer Wärmebildkamera ausgestattet ist, konnte während dem Versuch die Brand- und Temperaturentwicklung auch aus der Luft beobachtet und kontrolliert werden.

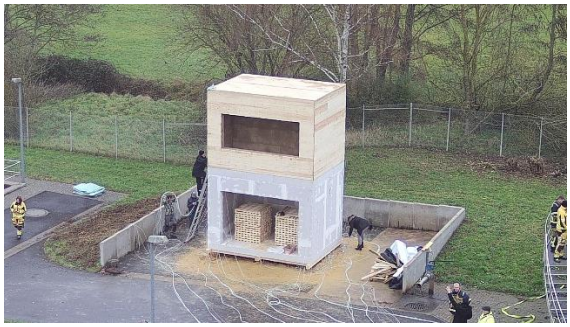


Abbildung 3: Versuchsgebäude auf dem Gelände, Drohnenaufnahme Freiwillige Feuerwehr Winnweiler

Auswertung der Ergebnisse und des Versuchverlaufs

Das Feuer wurde im unteren Bereich der beiden Holzkrippen entzündet. Nach ca. 15 Minuten war der Vollbrand der beiden Krippen zu erkennen, siehe Abbildung 4. Diese Phase dauerte ungefähr 15 Minuten an, bevor der Brand sichtbar in die Abkühlphase überging.



Abbildung 4: Vollbrand der Versuchskrippen

Die Temperaturmessung der rückwertigen Außenwand zeigt, wie die Wärme durch die Dämmung verzögert nach Außen durchdringt. Gleichermaßen ist erkennbar, dass die Außenwand sich nicht mehr als auf

35°C erwärmt und somit im Erdgeschoss zu keiner Zeit die Gefahr eines Versagens der Außenwände angenommen werden musste, siehe Abbildung 5.

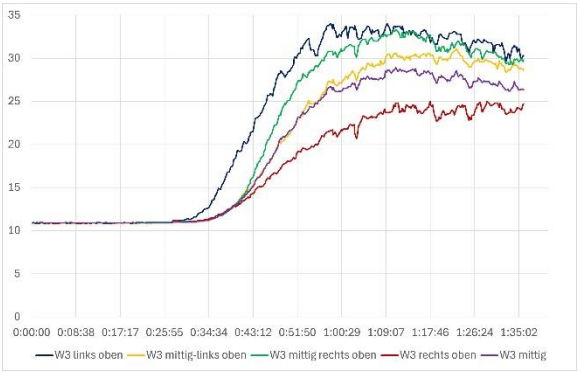


Abbildung 5: Temperaturerhöhung rückwärtige Außenwand

Die Drohne mit Wärmebildkamera zeigte ebenfalls keine signifikante Temperaturerhöhung der Außenwände an. Ein Eindruck hierzu zeigt Abbildung 6. Die seitlichen Bauteile sind in der farblichen Darstellung nur geringfügig von der Umgebung zu unterscheiden, was auf eine geringe Temperaturerhöhung schließen lässt. Die Brandfläche und die Fensteröffnung im oberen Stockwerk sind dagegen durch ihre deutlich hellere Farbgebung als heiße Bereich zu erkennen.

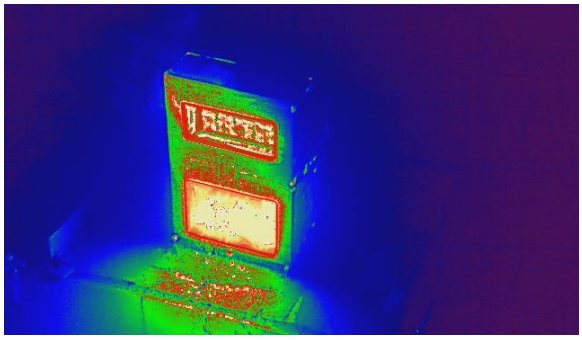


Abbildung 6: Aufnahme Wärmebildkamera nach Vollbrandphase (Bild: Freiwillige Feuerwehr Winnweiler)

Eine für den Holzbau wesentliche Temperaturgrenze liegt bei 250-300°C, bei der ein Übergang des Holzes in die Pyrolyse-Phase angenommen werden muss. Während der Pyrolyse beginnt das Holz mit der thermisch-bedingten Zersetzung. Ein typisches Erkennungszeichen hierfür ist die Verfärbung des Holzes und die Ausbildung einer Kohleschicht (Niemz und Sonderegger 2021).

Da die Fuge des auf den Bestand aufzustockenden Gebäudes als konstruktionsbedingte Schwachstelle angesehen werden muss, ist es von besonderer Bedeutung, die Temperatureinwirkungen durch eintretende Rauchgase zu beobachten. Hierfür wurden im Anschlussbereich der Wandbauteile im Obergeschoss zur "bestehenden" Decke hin mehrere Messstellen vorgesehen. Auch hier konnte durch die Temperaturmessung erkannt werden, dass ein Eindringen heißer Brandgase in die Fuge erfolgte, allerdings die Erwärmung nicht in die Temperaturbereiche anstieg, bei denen ein Übergang in die Pyrolysephase des Holzes erfolgt.

Auch die im Obergeschoss angebrachten Lehmbauplatten mit dem Lehmputz können während der Brandphase eine Ausbreitung des Brandes in das obere Geschoss verhindern und beteiligen sich nicht aktiv am Brandgeschehen. Die Temperaturmessung zeigt, dass der Austritt, der in den Lehmbauplatten und dem Lehmputz eingeschlossenen Feuchtigkeit einen Kühleffekt bewirkt, wie dieser auch bei den Gipswerkstoffplatten bekannt ist. Die Temperatur kann über mehrere Minuten hinweg auf einem Niveau von 100°C oder kühler gehalten werden, bevor die Wärme weiter in das Bauteilinnere eindringen kann, siehe Abbildung 7.

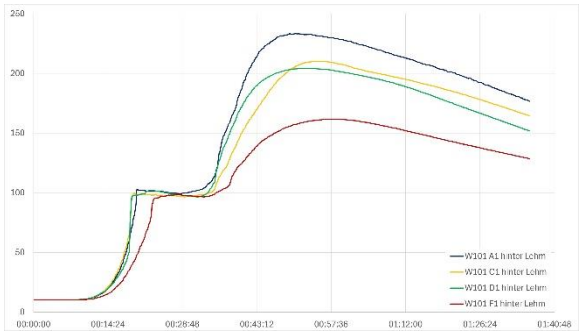


Abbildung 7: Temperaturentwicklung hinter Lehmbauplatten, Bauteil mit Fenster OG

An Abbildung 7 ist ebenfalls erkennbar, wie die verbrannte Brandlast zu einem Rückgang der Wärmefreisetzung führt und dies dann auch im Abkühlen der Bauteile erkannt werden kann.

Nachdem die Brandlast vollständig verbrannt war, konnte beim Anschluss eines Wandbauteils im Obergeschoss zum Dachgeschoss weiterhin eine leichte Rauchentwicklung beobachtet werden. Da mit keinem weiteren Energieeintrag durch die vorgesehene Brandlast gerechnet werden musste, wurde in Abstimmung mit der Feuerwehr beschlossen, keine direkten Löschmaßnahmen durchzuführen, sondern diese am Abend des Versuchstages vorzusehen.

Ca. 3 Stunden nach Versuchsende war eine deutliche Steigerung der Rauchfreisetzung zu beobachten, siehe Abbildung 8. Der Rauch trat sichtbar aus dem Gebäude heraus, was auf eine anhaltende Brandaktivität im Obergeschoss schließen lässt. Die Temperaturaufzeichnung wurde mit dem bestimmten Versuchsende beendet, sodass die Wärmefreisetzung in der Zwischenzeit nicht nachvollzogen werden konnte.

Da an den Bauteiloberflächen keine weiteren Branderscheinungen, wie Flammen oder Glut erkennbar waren, war eindeutig von einem Brand in der Bauteilebene mit sogenannten Glutnestern auszugehen. Um die Löschmaßnahmen durchführen zu können, musste die Feuerwehr großflächig Bauteile im oberen Bereich

öffnen. Dies betraf die Rückwand und die Innenwand vollflächig und die seitlichen Außenwände bis etwa zur Hälfte. Im unteren Bereich des Versuchsgebäudes fanden keine Einbrände bzw. Bildung von Glutnestern statt. Die hier vorgesehene Konstruktion erfüllte damit die Bedingung, sich nicht aktiv am Brand zu beteiligen und den angenommenen bestehenden Massivbau zu simulieren.



Abbildung 8: Rauchfreisetzung 3 Stunden nach Versuchsende (Bild: Freiwillige Feuerwehr Lohnsfeld)

Mit dem Öffnen der Konstruktionen trat Sauerstoff an die Glutnester, wodurch diese sofort aktiv zu brennen begannen, siehe Abbildung 9 und 10.

Durch das Öffnen der Konstruktion wurde deutlich, dass im Obergeschoss, im Bereich der vorgesehenen Treppenöffnung, die Konstruktionshölzer durch die anhaltende Wärmeeinwirkung in einen Schwelbrand übergingen. Dies erfolgte unabhängig vom verwendeten Dämmstoff. Was hier jedoch zu beachten bleibt ist, dass die eingebaute Holzfaserdämmung ebenfalls zu schwelen begann, während dies bei der nichtbrennbaren Steinwolle nicht anzunehmen ist.



Abbildung 9: Aufflammen der Glutnester in der Innenwand (Bild: Freiwillige Feuerwehr Lohnsfeld)

Ebenso bleibt festzuhalten, dass durch die ausbleibende aktive Brandbeteiligung in der Brandphase eine Brandausbreitung in die mit Lehm bekleideten Bereiche ausbleibt. Dies zeigt Anwendungsmöglichkeiten für Bauteile, die vor allem in der Phase der Selbst- und Fremdrettung entscheidende Brandschutzeigenschaften wie die Nichtbrennbarkeit erfordern.



Abbildung 10: Aufflammen der Glutnester in der seitlichen Außenwand (Bild: Freiwillige Feuerwehr Lohnsfeld)

Zusammenfassung

Der Versuch zeigt mehrere Ergebnisse auf. Die Ausführung von Aufstockungen in einer leichten Holzrahmenbauweise kann auch bei Gebäuden mit hohen brandschutztechnischen Anforderungen sicher erfolgen. Wie bereits in der Musterholzbaurichtlinie aufgeführt, ist eine Ausführung einer Holzrahmenkonstruktion mit einer doppellagigen Gipskarton-Feuerschutzplatte in einer ausreichenden Stärke (min. 2 x 15 mm) (Bauministerkonferenz (IS-ARGEBAU) Mai 2025; Scheidel et al. 2022) ausreichend, um eine Brandbeteiligung der Konstruktion bei einer Brandbeanspruchung von 90 Min auszuschließen. Dies ist an den Bauteilen des Erdgeschosses erkennbar.

Ebenso ist eine signifikante Temperaturerhöhung in den Bauteilfugen nicht nachgewiesen worden. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass bei unebenen Deckenoberflächen eine nichtbrennbare Ausgleichsdichtung vorgesehen werden muss, die die Lufträume zwischen bestehender Decke und aufzustockenden Bauteilen verschließt und ein Einbrand verhindert.

Die Ausführung der Bauteile im Obergeschoss mit einer Bekleidung aus einem Lehmwerkstoff und einem vollflächigen Lehmputz zeigen, dass diese Art der Bekleidung eine unmittelbare Brandbeteiligung und Brandausbreitung während der aktiven Brandphase in diesem Bereiche verhindern können. Der Einsatz der Bekleidung in Bereichen, die dem Rettungsweg angehören, ist damit möglich, da bei einer zeitweise auftretenden Beflammung nicht mit einem unmittelbaren, selbstständigen Brennen gerechnet werden muss.

Eine Konstruktion für Bauteile mit brandschutztechnischen Anforderungen, die zu > 95 % aus erneuerbaren Rohstoffen besteht, ist nach den Erkenntnissen aus dem Realbrandversuch nur unter bestimmten Voraussetzungen und einer sorgfältigen Risikoabschätzung umsetzbar. Besonders zu beachten ist hierbei, dass nach den Ergebnissen aus diesem Versuch eine Entstehung von Glutnestern und Schwelbränden in der

Konstruktion nicht auszuschließen sind. Diese konnten bei diesem Versuch auch nicht mit dem Einsatz der technischen Hilfsgeräte der Feuerwehr erkannt werden. Nach der Beendigung des Versuches wurden keine Löschmaßnahmen durchgeführt. Allerdings waren am Abend nach dem Brandversuch umfangreiche Nachlöscharbeiten erforderlich, die nur durch den teilweisen Abriss des oberen Geschosses durchgeführt werden konnten. Bei einer solchen Ausführung ist es daher aktuell unerlässlich, kritische Bereiche sorgfältig zu untersuchen.

Die Ergebnisse und Erfahrungen, die mit dem durchgeführten Realbrandversuch gesammelt werden konnten, sind trotz der entstandenen Schwelbrände als positiv zu bewerten. Es konnte gezeigt werden, dass eine Ausführung von Bauteilen mit Bekleidungen aus natürlichen Rohstoffen auch in brandschutztechnisch kritischen Bereichen umgesetzt werden kann, wenn eine sorgfältige Risikoabwägung erfolgt. Das Augenmerk ist in einem solchen Fall auf die Untersuchungen des Brandobjektes nach dem aktiven Brandgeschehen zu legen, um Glutnester und Schwelbrände sicher auszuschließen bzw. rechtzeitig zu löschen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Förderprogramm „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“ des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Unterstützung zur Projektbearbeitung.

Literatur

Alfter, Dirk; Knauf, Marcus; Lüdtke, Jan; Maack, Christiane (2018): Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Charta für Holz 2.0. 3. Auflage. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Bonn, zuletzt geprüft am 05.01.2024.

Bauministerkonferenz (IS-ARGEBAU) (Mai 2025): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise. MHolzBauRL, vom September 2024. Online verfügbar unter file:///C:/Users/Admin/Downloads/42323504.PDF, zuletzt geprüft am 05.01.2024.

Holzbau-Offensive Baden-Württemberg (Hg.) (2018): Holzbau - Offensive Baden-Württemberg. Nachhaltiges Bauen für die Zukunft. Version 5.1. Online verfügbar unter https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/PDFs/Wald/Strategie_Holzbau-Offensive_BW_final-v.pdf, zuletzt geprüft am 05.01.2024.

Müther, Anna Maria; Waltersbacher, Matthias (2025): Zentrale Ergebnisse der BBSR-Wohnungsbedarfsprognose.

Niemz, Peter; Sonderegger, Walter Ulrich (2021): Holzphysik: Eigenschaften, Prüfung und Kennwerte. 2. Aufl.: Carl Hanser Verlag GmbH&Co.LG.

Rieger, Arnold (2018): Bauen in Baden-Württemberg - Land will Staatsgebäude aus Holz. In: *Stuttgarter Zeitung*, 02.11.2018. Online verfügbar unter https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.bauen-in-baden-wuerttemberg-land-setzt-auf-staatsgebaeude-aus-holz.2ef8ab44-55a1-488e-a1f2-770563bd0590.html, zuletzt geprüft am 13.01.2026.

Scheidel, Sabine; Dienst, Sebastian; Götz, Tobias; Kornadt, Oliver (2023): Bauteiluntersuchung von Holzrahmenwänden mit Verwendung brennbarer Dämmstoffe. 3.2023. Aufl. Hg. v. ErnstSohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH&Co.KG (Bauphysik Zeitschrift, 3.2023 // 3).

Scheidel, Sabine; Dienst, Sebastian; Kornadt, Oliver (2022): Anwendungsmöglichkeiten der neuen „Muster-Holzbaurichtlinie” für Holzrahmenbauteile. In: *Bauphysik* 44 (1), S. 40–45. DOI: 10.1002/bapi.202100042.

Scheidel, Sabine; Kornadt, Oliver (2025): Realbrandversuch im Fachgebiet Baulicher Brandschutz durchgeführt. RPTU Kaiserslautern-Landau, Fachgebiet Baulicher Brandschutz. Online verfügbar unter https://bauing.rptu.de/ags/brandschutz/einzelansicht-news?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=7161&cHash=d69aeef50451dc4ef23d29fb33f2a145, zuletzt aktualisiert am 06.02.2026, zuletzt geprüft am 06.02.2026.

Scheidel, Sabine; Ney, Elisabeth; Dienst, Sebastian; Götz, Tobias; Kornadt, Oliver (2025): Untersuchung natürlicher Flammschutzmittel für den Einsatz in Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. In: *Bauphysik*, Artikel bapi.70010. DOI: 10.1002/bapi.70010.

Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) (2020): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht. 4. Aufl. Hg. v. Jochen Zehfuß, Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) und Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB), Referat 4. Münster, Braunschweig (TB 04-01).

Tichelmann, Karsten Ulrich; Groß, Katrin; Günther, Matthias (2016): Deutschland-Studie 2015 Wohnraumpotentiale durch Aufstockungen. Darmstadt, Hannover.