

TIMpuls: Brandschutztechnische Grundlagenuntersuchung zur Fortschreibung bauaufsichtlicher Regelungen in Hinblick auf eine erweiterte Anwendung des Holzbaus

Thomas Engel
Technische Universität München
München, Deutschland



TIMpuls – mehrgeschossige Holzbauten im Realbrandversuch

Thomas Engel¹, Christoph Kurzer¹, Norman Werther¹, Sven Brunkhorst², Stefan Winter¹

Weitere Projektpartner im Vorhaben

Jochen Zehfuß², Felix Steeger³, Björn Kampmeier³, Daniel Butscher⁴, Michael Neske⁴

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

² Technische Universität Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Fachgebiet Brandschutz

³ Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachgebiet Brandschutz und Baukonstruktion im Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit

⁴ Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, Abteilung Forschung – Institut der Feuerwehr

1. Einleitung

Das Bauen mit Holz erfreut sich steigender Beliebtheit. Holz ist der wichtigste nachwachsende Rohstoff der Zukunft und kann für die notwendige Dekarbonisierung der Erde einen wesentlichen Beitrag leisten. Im Verbundforschungsvorhaben TIMpuls [1] der Technischen Universität München, Technischen Universität Braunschweig, Hochschule Magdeburg-Stendal und des Instituts für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge wird ein wissenschaftlich begründeter Nachweis erarbeitet, mit dem die unbedenkliche Verwendbarkeit tragender und raumabschließender Holzbaukonstruktionen in mehrgeschossigen Gebäuden bis zur Hochhausgrenze gezeigt wird. Die hierzu erforderlichen Grundlagen zur Fortschreibung bauaufsichtlicher Brandschutzregelungen für die erweiterte Anwendung des Holzbaus werden auf Basis experimenteller und numerischer Untersuchungen erarbeitet.

2. Ziele und Strategien des Forschungsvorhabens TIMpuls

Für die bauordnungsrechtliche Anwendbarkeit der Holzbauweise bis zur Hochhausgrenze werden verschiedene Strategien zum Nachweis der Erfüllung des brandschutztechnischen Sicherheitsniveaus verfolgt. Einhergehend mit dem erweiterten Einsatz der Holzbauweise ist nachzuweisen, dass durch die zusätzliche Brandlast aus der tragenden und aussteifenden Gebäudestruktur das bauaufsichtlich geforderte Sicherheitsniveau im Hinblick auf den Brandschutz nicht bzw. allenfalls nur auf ein gesellschaftlich akzeptierbares Niveau gesenkt wird. Eine Form des Nachweises kann über die Gleichwertigkeit der Holzbauweise gegenüber den konventionellen, nicht brennbaren Bauweisen erbracht werden. Hierbei werden unterschiedliche Aspekte und Lösungswege verfolgt, wie der Nachweis über eine Naturbrandbemessung, das Selbstverlöschten von Bauteilen, die brandschutztechnische Bekleidung «Kapselung» der Bauteile und die Bewertung der Leistungsfähigkeit der abwehrenden und anlagentechnischen Maßnahmen. Innerhalb der themenbezogenen Risikobetrachtung werden so alle beeinflussenden Parameter des vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzes berücksichtigt und ganzheitliche Maßnahmen für sichere mehrgeschossige Konstruktionen in Holzbauweise erarbeitet.

Das Ziel ist die Bereitstellung eines vollständigen, wissenschaftlich begründbaren Konzepts, um die Verwendbarkeit von Holzbaukonstruktionen in mehrgeschossigen Gebäuden, auch unter teilweiser Verwendung sichtbarer Bauteiloberflächen, bis zur Hochhausgrenze in ganz Deutschland geregelt zu ermöglichen.

3. Ablauf des Forschungsvorhabens TIMpuls

Das Forschungsvorhaben TIMpuls hatte eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren (August 2017 bis März 2021). Im Rahmen dieser Projektlaufzeit wurde eine Vielzahl an Themen und Fragestellungen untersucht. Nachfolgend werden auszugsweise einzelne zentrale Punkte dargestellt.

Eine der Grundlagen zu Beginn war die Untersuchung der national sowie international bauordnungsrechtlichen Verwendbarkeit des Baustoffes Holz. Welche aktuellen Regelungen und Richtlinien existieren und auf welche Thesen bzw. Untersuchungen sind diese zurückzuführen. Diese Ergebnisse dienten u. a. auch als Grundlage für die Erstellung eines Ratgebers [2] zum nationalen Stand der bauordnungsrechtlichen Verwendbarkeit des Baustoffes Holz, der unter www.brandschutznavigator.de abgerufen werden kann.

Eine weitere wichtige Grundlage zu Beginn war die Wahl eines repräsentativen Naturbrandverlaufes für die weiteren experimentellen Untersuchungen in diesem Vorhaben. Aus der Fülle möglicher Brandverläufe wurden, mit Blick auf reale Brandverläufe vorhandener Versuche, vereinfachend zwei repräsentative Naturbrandkurven für einen Raum in Holzbauweise abgeleitet, die einerseits ein thermisches Beanspruchungsniveau oberhalb der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) und andererseits einen moderaten Temperatur-Zeitverlauf bei langer Beanspruchungsdauer darstellen, vgl. Bild 1 [3]. Die repräsentativen Naturbrandkurven wurden mittels dem vereinfachten Naturbrandmodell aus DIN EN 1991-1-2/NA, Anhang AA [15] berechnet. Dem Naturbrand_1 liegt eine Brandlastdichte von 1250 MJ/m^2 zugrunde, bei einem Öffnungsfaktor von $0,094 \text{ m}^{0,5}$. Die Brandlastdichte bei Naturbrand_2 beträgt 625 MJ/m^2 mit einem Öffnungsfaktor von $0,013 \text{ m}^{0,5}$. Beide Szenarien wurden für die im Projekt durchgeführten Brandversuche genutzt. Zugehörige Versuchsergebnisse bilden damit die Grundlage für die Validierung weiterführender numerischer Modelle zur Beschreibung des Abbrandes und der Erwärmung im Bauteil unter abweichenden Naturbrandbeanspruchungen.

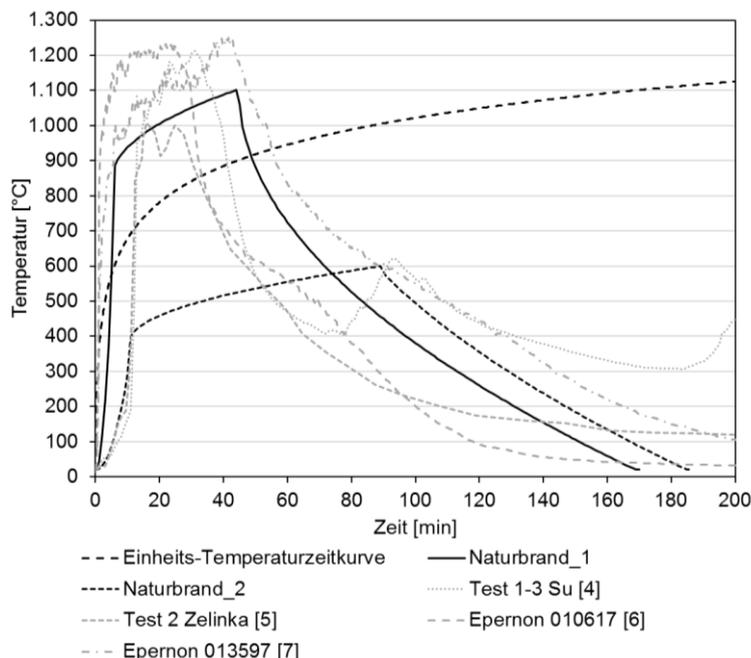


Bild 1: Die beiden gewählten repräsentativen Naturbrandkurven im Vergleich zur ETK sowie zu experimentellen Brandkurven

Diese beiden Naturbrandkurven stellten neben der ETK die Basis für die zu Beginn durchgeführten Kleinbrandversuche dar. Der Fokus lag hierbei auf den Untersuchungen zum Abbrandverhalten von verschiedenen Holzarten, der Leistungsfähigkeit von Brandschutzbekleidungen und dem Nachbrandverhalten von ungeschützten und anfänglich geschützten Bauteilen aus Holz unter Naturbrandbeanspruchung. Für die Abbrandraten von Holz konnten die bisher bekannten normativen Werte unter Normbrandbeanspruchung im Wesentlichen bestätigt und ergänzt werden. Maßgebend für die Abbrandrate sind, neben Einflüssen wie

dem Einwirkungsszenario der Brandbeanspruchung, die jeweilige Holzart, die Holzfeuchte und die damit einhergehenden Parameter [16]. Insbesondere für die Holzart Esche zeigten sich größere Abweichungen zu den bis dato normierten Abbrandraten.

Im Konzept zum Ausschluss oder Reduktion des Abbrandes kommen brandschutztechnisch wirksame Bekleidungen zur Anwendung. Grundsätzlich wurde hierzu festgestellt, dass bei einer Grenzschichttemperatur von ca. 270 °C sichtbare Verfärbungen, jedoch kein Entzünden der Trägerplatte, auftrat. Bei 90-minütiger ETK-Brandbeanspruchung wurde mit einer Kombination von 2 × 18 mm Gipskarton-Feuerschutz- bzw. Gipsfaserplatten ein Entzünden der Trägerplatte verhindert [8].

Ein weiterer zentraler Baustein waren die experimentellen und numerischen Untersuchungen zum Brandverlauf von Raumbränden mit ungeschützten Holzoberflächen. Hierzu wurden in Braunschweig mittelmaßstäbliche Brandversuche im Room Corner-Versuchsstand nach ISO 9705-1 [11] durchgeführt. Es konnte festgestellt werden, dass sich durch die Anordnung der immobilen Brandlast (ungeschützte Holzoberflächen) eine schnellere Brandentwicklungsdauer bis zum Eintritt des Flashovers ergibt. Eine Verkleinerung der Ventilationsöffnung führt zum früheren Übergang in ein ventilationsgesteuertes Brandregime, welches eine geringere maximale Wärmefreisetzungsrate aber eine längere Branddauer zur Folge hat. Dementsprechend zeigten die Raumtemperaturen, vergleichend zu einem identischen Aufbau mit größerer Ventilationsöffnung, eine höhere Maximaltemperatur. Mit zunehmender Menge an ungeschützten Holzoberflächen und in Abhängigkeit der Leistung der Brandquelle verkürzt sich die Dauer bis zum Eintritt des Flashovers. Die geometrische Anordnung der ungeschützten Holzoberflächen als Decken- oder Wandfläche besaß in Bezug auf die Zeit bis zum Flashover in dieser Versuchsreihe nur eine untergeordnete Rolle. Zudem erhöht sich die Menge der aus der Öffnung schlagenden Flammen mit zunehmender ungeschützter Holzoberfläche, da die freigesetzten Pyrolysegase erst mit dem Sauerstoff außerhalb des Brandraumes oxidieren können. Ein Selbstverlöschen nach Abstellen bzw. Verzehren der mobilen Brandlast zeigte sich zuverlässig bei allen Raumbrandversuche mit einer ungeschützten Holzfläche (Decke oder eine Wand) und bei einzelnen Versuchen mit mehreren ungeschützten Holzflächen (jeweils Decke und eine Wand) [3, 9, 10].

Darauf aufbauend wurden Großbrandversuche zur Untersuchungen von Raumbränden sowie dem Feuerwiderstandsverhalten von Holzbauteilen im Großmaßstab unter Beachtung von Element- und Bauteilanschlüssen in Braunschweig durchgeführt. Ziele waren hierbei I) die Analyse des Feuerwiderstandsverhalten von Holzbauteilen bei Naturbrandbeanspruchung sowie 90-minütiger ETK-Beanspruchung (Äquivalenzbetrachtung), II) die Ermittlung von Konstruktionen und Anschlüssen die den Anforderungen der Gebäudeklasse 5 gerecht werden, III) die Bestätigung der zuvor genannten Room Corner Versuche zur Menge von ungeschützten Holzoberflächen im Großmaßstab, IV) die Analyse zur Skalierbarkeit der Ergebnisse der Kleinbrandversuche zur Brandschutzbekleidung und zum Abbrandverhalten und V) die Verwendung der Messdaten für die numerischen Untersuchungen (CFD- / FEM - Modelle).

Weiter wurden auch Fragestellung wie beispielsweise die Brandgefahr durch Elektroinstallationen in modernen mehrgeschossigen Holzgebäuden experimentell untersucht. Hierbei lag der Fokus insbesondere auf der Verwendung von Fehlerlichtbogen-Schutzeinrichtungen. Im Rahmen der Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass das Risiko eines Auftretens von Elektrobränden innerhalb der Konstruktion gering ist, die vorhandenen Schutzeinrichtungen eines Hausanschlusses einen Teil möglicher Defekte bereits abdecken und bei allen durchgeführten Versuchen ein Selbstverlöschen innerhalb der Holztafelbaukonstruktion bei Vorhandensein von nichtbrennbaren Dämmstoffe auftrat [12].

Der Einfluss eines vermehrten Einsatzes von Holz für das mehrgeschossige Bauen auf den abwehrenden Brandschutz war ebenfalls Teil dieses Vorhabens. So bestätigte u.a. die Auswertung einer Befragung der deutschen Feuerwehren eine grundsätzlich positive Haltung gegenüber dem Holzbau, führte aber gleichzeitig den nachdrücklichen Wunsch nach einer breiten Ausbildung mit Fokus auf die Feuerwehren in diesem Themenfeld auf [13].

Dies soll nur einen Auszug aus den Erkenntnissen im Rahmen des Forschungsvorhabens sein. Alle diese Untersuchungen im kleinen, mittleren oder Großmaßstab liefern wichtige

Erkenntnisse und stellen die Basis für die abschließenden Realbrandversuche dar, die als Beleg der innerhalb des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse dienen und in diesem Beitrag genauer dargestellt werden.

4. Abschließende Realbrandversuche im Forschungsvorhaben TIMpuls

4.1. Ziele der großmaßstäblichen Realbrandversuche

Die Realbrandversuche dienen zum Beleg der innerhalb des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse und als Grundlage zum Nachweis der bauordnungsrechtlichen Schutzziele, wie die Tragfähigkeit, der Raumabschluss, das Selbstverlöschten bzw. die Löschbarkeit der Konstruktionen durch die Feuerwehr (Nachbrandverhalten) sowie die Begrenzung der Brandausbreitung. Untersucht werden Raumbrände in Holzkonstruktionen mit einer normativen mobilen Brandlast und bautypischen Ausführungen. Besonders die Variation zwischen ungeschützten, anfänglich geschützten und vollständig geschützten Holzoberflächen ist hierbei von hoher praxisrelevanter Bedeutung.

Konkrete Untersuchungsziele sind hierbei:

- Beleg der Ergebnisse der vorherigen, im Bauteilmaßstab durchgeführten Versuche im «realen Versuchsbauwerk» unter Naturbrandbedingungen
- Einfluss brennbarer Bauteiloberfläche auf den Brandverlauf
- Verhalten der Brandschutzbekleidung und deren Schutzzeiten unter Naturbrandbeanspruchung
- Verhalten bzgl. Selbstverlöschten und Nachbrandverhalten von Holzkonstruktionen
- Löschbarkeit der praxisüblichen Konstruktionen im Holzbau
- Analyse der Brandweiterleitung über die Fassade in das Geschoss über dem Brandgeschoss durch brennbare Oberflächen im Raum
- Untersuchung der Auswirkungen von brandschutztechnischen Schutzmaßnahmen im Stoß- und Fügungsbereich von Bauteilen
- Bewertung der Standsicherheit unter Naturbrandbeanspruchung
- Bewertung des Raumabschlusses (Feuer und Rauch, Wärmedämmung) unter Naturbrandbeanspruchung
- Überprüfung und abschließende Beurteilung der Vorgaben des Entwurfes der M-HolzBauRL

Zusammenfassend soll unter realen Bedingungen untersucht werden, wie ein Vollbrand in mehrgeschossigen Holzgebäuden verläuft. Im Rahmen der Versuche werden daher umfangreiche Messdaten (Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit, Gewichtsverlust der mobilen Brandlast und Bauteile usw.) aufgezeichnet, die ausgewertet ein klareres Bild davon geben, wie sich die Gesamtkonstruktion im Brandfall und während des Löschvorgangs verhält, vgl. Bild 2. Letzteres nimmt auch bei diesen Versuchen einen großen Stellenwert ein. Hierdurch soll eine gesamtheitliche Betrachtung von Bränden in Holzgebäude ermöglicht werden, da von der Entstehung bis zur Brandbekämpfung durch die Feuerwehr alle Phasen eines realistischen Brandereignisses eingeschlossen sind.



Bild 2: Werkfeuerwehr TUM Garching bei der Brandbekämpfung

4.2. Beschreibung der Versuche

Der erste Versuch dient als Referenzversuch und soll durch die massive Brandschutzbekleidung aller Bauteile ein nichtbrennbares Gebäude, z.B. aus Mauerwerk bzw. Stahlbeton, darstellen. Bei den weiteren vier Versuchen sind unterschiedliche Kombinationen von Holzkonstruktionen, wie Brettsper Holz (BSP), Brettschichtholz (BSH) und Holztafelbauweise (HTB) jeweils in Verbindung mit Gipskarton-Feuerschutz- (GKF) oder Gipsfaserplatten (GF) bzw. ungeschützt im Einsatz, vgl. Tabelle 1.

Das Innenmaß der Versuchsraumgrundfläche beträgt bei drei kleineren Versuchen $4,5 \times 4,5 \text{ m}^2$ und bei zwei großen Versuchen $4,5 \times 9 \text{ m}^2$. Dadurch entsteht ein geometrisches Verhältnis von ein zu zwei für die Grundfläche, den Wandabstand und das Volumen, wodurch der räumliche Einfluss auf den Brandverlauf beobachtet werden kann, vgl. Bild 3 bis Bild 10. Um bautypische Raumhöhen abzubilden beträgt das Innenmaß der Versuchsräume ca. 2,4 m, vgl. Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht zu den Konstruktionsformen der Versuche

Versuch	V0	V1	V2	V3	V4
Raumgröße (B × L × H)	4,5 m × 4,5 m × 2,4 m			4,5 m × 9,0 m × 2,4 m	
Grundfläche	20,25 m ²			40,5 m ²	
Öffnungsgröße (B × H)	2,4 m × 2,2 m			4,2 m × 2,2 m	
Öffnungsfaktor	0,094 m ^{0,5}				
Brandlastdichte	1085 MJ/m ²				
Wand 1	100 mm BSP 2×25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	150 mm BSP	140 mm HTB 2×12,5 mm GF	150 mm BSP
Wand 2	100 mm BSP 2×25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	140 mm HTB 2×18 mm GF	140 mm HTB 2×18 mm GF	140 mm HTB 2×18 mm GF
Wand 3	100 mm BSP 2×25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	150 mm BSP	140 mm HTB 2×18 mm GKF	140 mm HTB 2×18 mm GKF
Wand 4	100 mm BSP 2×25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	140 mm HTB 2×18 mm GF	140 mm HTB 2×18 mm GF	140 mm HTB 2×18 mm GF
Decke	180 mm BSH 2×25 mm GKF	180 mm BSH	220 mm HTB 2×18mm GF	180 mm BSH	180 mm BSH
Lineare Bauteile	-	-	-	-	2× Stütze 1× Unterzug
Sichtbare Holzoberfläche	-	35 %*	37 %*	42 %*	58 %*

BSP – Brettsperrholz; HTB – Holztafelbau mit Steinwolle gedämmt; BSH – Brettschichtholz; GKF – Gipskartonfeuerschutzplatte; GF – Gipsfaserplatte; Stütze – 300×300 mm² BSH; Unterzug – 300×320 mm² BSH

* Prozent der gesamten Bauteiloberflächen ohne Fußboden und Fensteröffnung

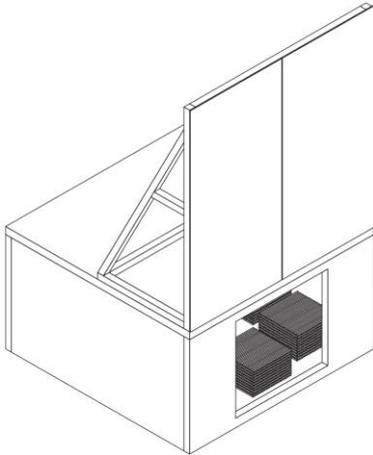


Bild 3: Perspektiven V0, V1, V2

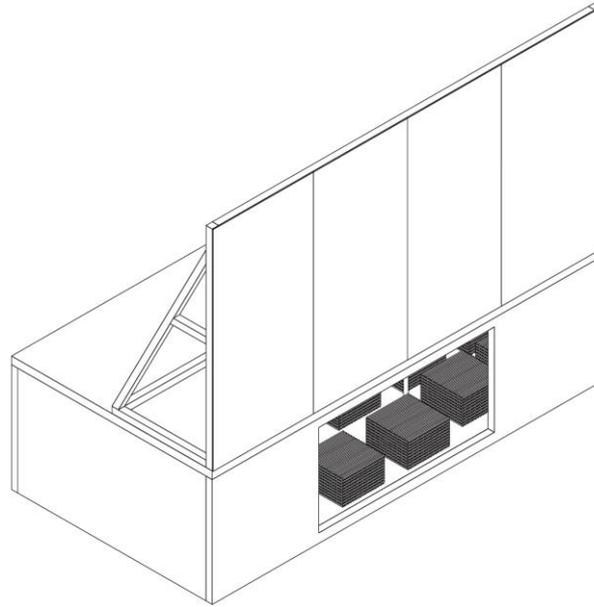


Bild 4: Perspektiven V3, V4

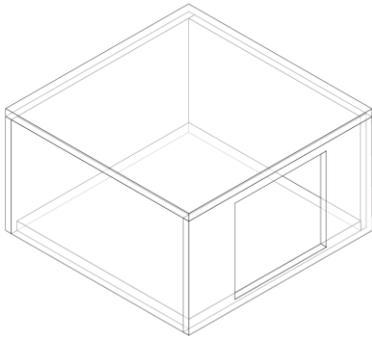


Bild 5: Raummodell V0, V1, V2

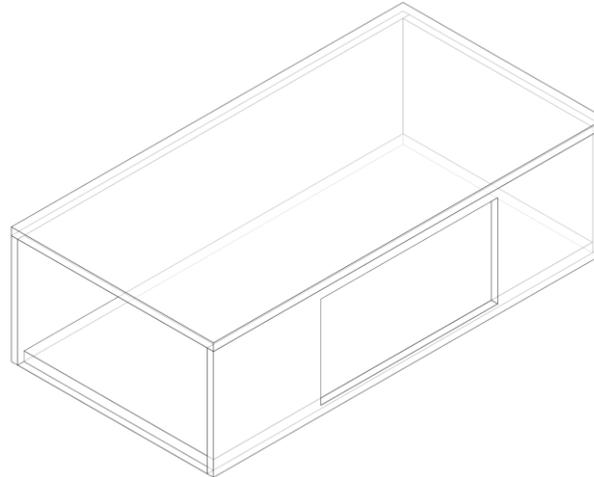


Bild 6: Raummodell V3

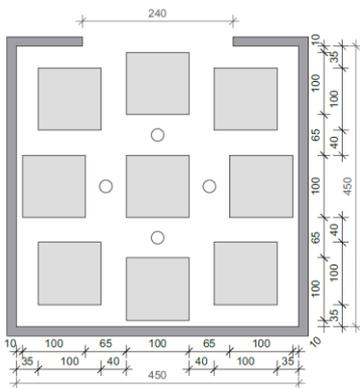


Bild 7: Grundriss mit Anordnung der neun Holzkippen und der vier Messbäume für V0, V1, V2

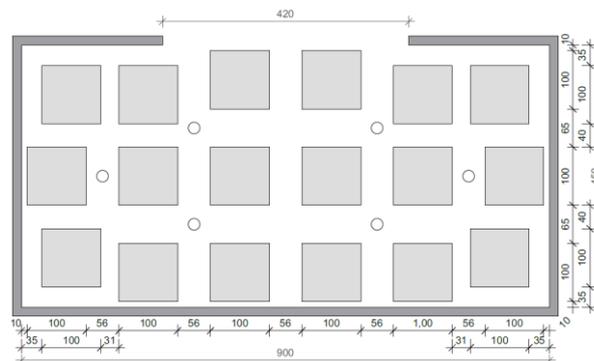


Bild 8: Grundriss mit Anordnung der 18 Holzkippen und der sechs Messbäume für V3

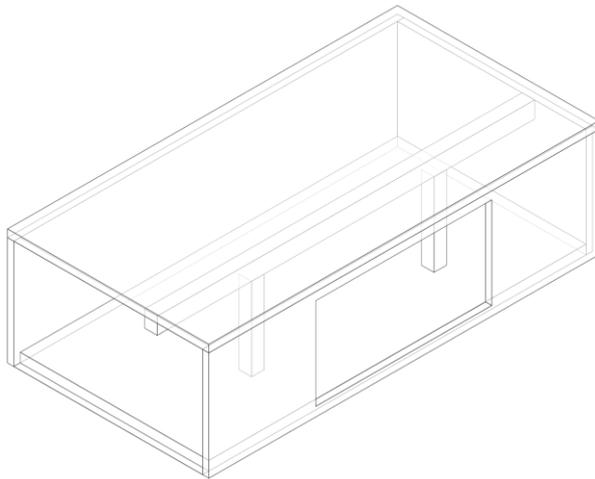


Bild 9: Raummodell V4

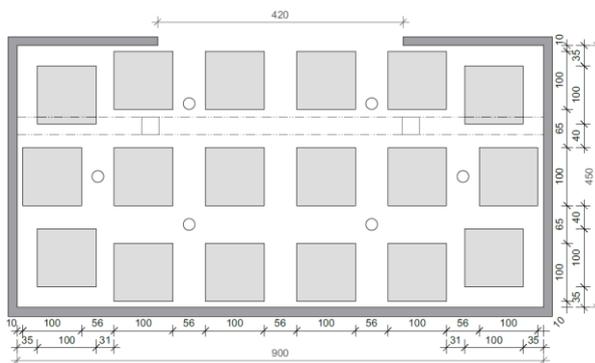


Bild 10: Grundriss mit Anordnung der 18 Holzkrippen und der sechs Messbäume für V4

Alle Raumkonstellationen bzw. Versuchsdurchgänge verfügen über eine Fensteröffnung. Der Öffnungsfaktor wird in Anlehnung an die bisherigen Untersuchungen und auf Basis der im Rahmen des Vorhabens verwendeten Naturbrandkurve nach DIN EN 1991-1-2 Anhang AA [14] zu $O = 0,094 \text{ m}^{1/2}$ gewählt. Dies entspricht einer Öffnung von $2,4 \times 2,2 \text{ m}^2$ ($b \times h$) im kleinen Raum ($4,5 \times 4,5 \text{ m}^2$) und $4,2 \times 2,2 \text{ m}^2$ ($b \times h$) im großen Raum ($4,5 \times 9 \text{ m}^2$). Das «Fenster» ist von Beginn an geöffnet. Dies dient der Vergleichbarkeit zwischen den Realbrandversuchen und den vorher gelaufenen kleinmaßstäbigen Grundlagenversuchen.

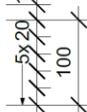
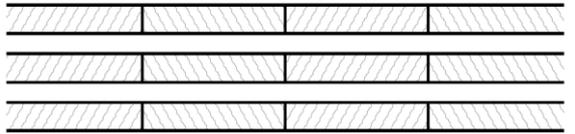
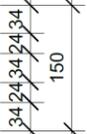
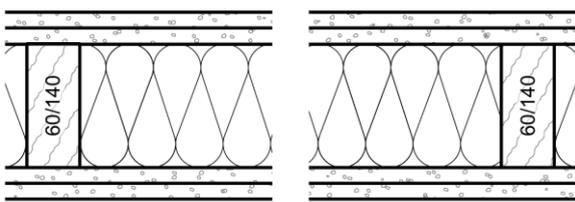
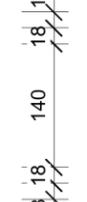
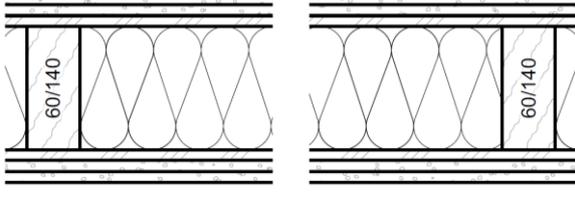
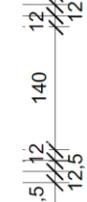
4.3. Bauteilkatalog

Die Auswahl der Wand- und Deckenkonstruktionen soll die baupraktischen Ausführungen im Holzbau widerspiegeln und gleichzeitig die bauordnungsrechtlich gewünschten Veränderungen mitbetrachten. Hierfür wurden Abstimmungen mit Praxispartnern geführt und mit den Erkenntnissen aus diesem und anderen Forschungsvorhaben, wie z. B. dataholz, zusammengeführt.

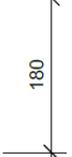
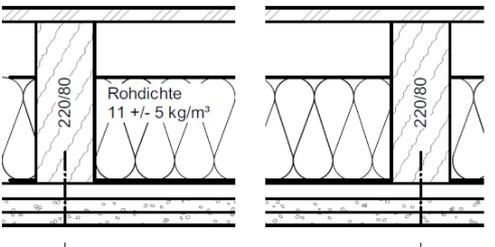
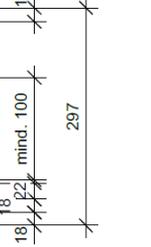
Eine Übersicht der eingesetzten Wand- und Deckenaufbauten der Versuche sind in Tabelle 2 abgebildet und beschrieben.

Tabelle 2: Übersicht der Holzkonstruktionen aus den Versuchen

Wandaufbauten

		100 mm Brettsperrholzwand (fünfläsig 20 20 20 20 20 mm) mit 18 mm GKF/GF
		150 mm Brettsperrholzwand (fünfläsig 34 24 34 24 34 mm)
		140 mm Holztafelbauwand mit 2× 18 mm mit 2× 18 mm GKF/GF- Bekleidung
		140 mm Holztafelbauwand mit 12 mm Grobspanplatte (OSB) und 2× 12,5 mm GF-Bekleidung

Deckenaufbauten

		180 mm Brettchichtholzdielendecke
		220 mm Holztafelbaudecke mit 22 mm Abhängung und 2× 18 mm GF-Bekleidung

4.4. Anschlüsse und Elementfugen

Die Bauteilanschlüsse (Wand-Decke und Wand-Wand) sowie die Elementstöße erfolgen nach typischen baupraktischen Vorgaben (inkl. Fugenspalte von bis zu 20 mm), vgl. Bild 11, und nach den Erkenntnissen aus 0. Dementsprechend können später für die bauordnungsrechtlichen Empfehlungen bereits die zu erwartenden Toleranzen der Bauausführung und Gebrauchszustände mitberücksichtigt werden.

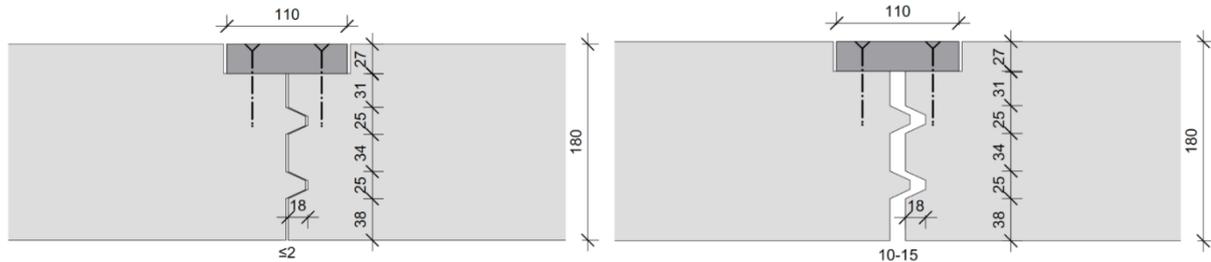


Bild 11: Darstellung von zwei beispielhaften Elementstößen der Brettschichtholzdecke

4.5. Brandlast

Für die Versuche wird eine Brandlastdichte für die Nutzung «Wohnraum» gewählt. Damit ergibt sich nach 0 für das 90 % - Quantil eine charakteristische Brandlastdichte von 1.085 MJ/m².

Die Brandlast wird in Form von Holzkrippen in den Versuchen ausgeführt. Die Grundfläche der einzelnen im Brandraum gleichmäßig verteilten Holzkrippen betragen jeweils 1.000 × 1.000 mm². Sie sind aus Stäben mit den Abmessungen B × H = 40 × 40 mm² ausgeführt. Das Materialoberfläche zu Luft Verhältnis der Krippen beträgt 1:1. Unter Berücksichtigung der Holzfeuchte und der Rohdichte der Holzkrippen entspricht die oben beschriebene Brandlast von 1085 MJ/m² ca. 74 kg/m² Holz, also in Summe ca. 1,5 Tonnen im kleinen Raum (4,5 × 4,5 m²) und ca. 3 Tonnen Holz im großen Raum (4,5 × 9 m²). Mit Blick auf die sehr hoch angesetzte Brandlast lassen sich die durchgeführten Versuche als in ihrer Form einzigartig definieren.

4.6. Beschreibung der einzelnen Versuche

Versuch V0

Als Referenz zwischen den üblichen Bauweisen des mehrgeschossigen Bauens dient der Versuch V0. Durch die massive Brandschutzbekleidung (2 × 25 mm Gipskarton-Feuerschutzplatte) der brennbaren Konstruktion soll ein Mitbrennen des Holzes ausgeschlossen werden und somit das Brandverhalten einer nichtbrennbaren Konstruktion imitiert werden, vgl. Bild 12. Folglich können die Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Versuchsreihe ins Verhältnis mit anderen Brandversuchen gesetzt werden und ein Vergleich zwischen brennbarer und nichtbrennbarer Bauweise (z.B. Mauerwerk, Beton) ermöglichen.



Bild 12: Drohnenaufnahme aus dem Inneren des Brandraumes (V0)

Erkenntnisse:

- Brandschutzbekleidung 2 × 25 mm Gipskartonfeuerschutzplatte verhindert den Mitbrand und die Verfärbung der Holzbauteile unter der resultierenden Naturbrandbeanspruchung.
- Max. Brandraumtemperaturen um 1.200°C.
- Flashover nach ca. 9 min.

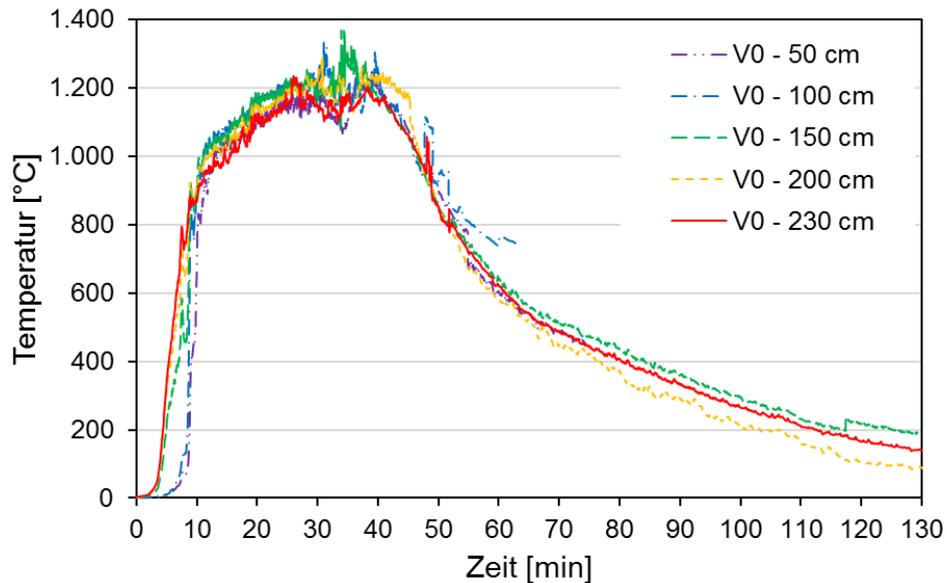


Bild 13: Temperatur-Zeit-Verläufe V0 im Brandraum in verschiedenen Höhen (Mittelwert)

Versuch V1

Versuch V1 verfolgt das Ziel baupraktische Ausführungen des mehrgeschossigen Holzbaues abzubilden.



Bild 14: 180° Drohnenaufnahme aus dem Inneren des Brandraumes (V1)

Die gewählten Massivholzkonstruktionen mit der sichtbaren Decke und den einlagig bekleideten Wänden entsprechen den Vorgaben des bis dato veröffentlichten Entwurfs der M-HolzBauRL [17]. Der Anteil der ungeschützten, sichtbaren Holzoberfläche beträgt 35 % der gesamten Bauteiloberflächen ohne Fußboden und Fenster zu Brandbeginn.

Erkenntnisse:

- Nach ca. 40 min erstes Abfallen der Brandschutzbekleidung
1× 18 mm und folglich Mitbrand der Brettsperrholzwandbauteile unter der hier resultierenden Naturbrandbeanspruchung.
- Max. Brandraumtemperaturen um 1.200°C.
- Flashover nach ca. 9 min.

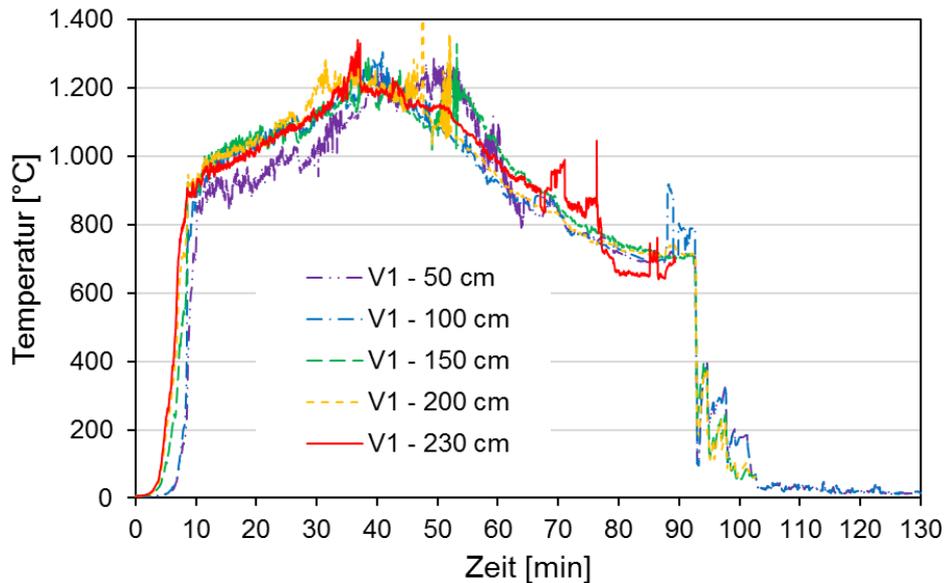


Bild 15: Temperatur-Zeit-Verläufe V1 im Brandraum in verschiedenen Höhen (Mittelwert)

Versuch V2

Zur Variation der Anordnung der brennbaren Oberflächen sind im Versuch V2 anstatt der Decke zwei Wände unbedeckt ausgeführt. Der Anteil der brennbaren Holzoberfläche an der Bauteiloberfläche ist mit 37 % in etwa identisch zum Versuch V1. Die unbedeckten Wände sind gegenüberliegend angeordnet, um eine gegenseitige Beeinflussung der Wände zu untersuchen. Zur Betrachtung von bautypischen Schwächungen der Wände durch Elektroeinbauten wurden vier Bohrungen in eine der Massivholzwände vorgesehen und mit für den Brandschutz klassifizierten Einbaudosen für Steckdosen oder Schaltern und Einbauteil bestückt. Hiermit sollte ein möglichst ungünstiger Fall aus der Praxis abgedeckt werden.



Bild 16: 180° Drohnenaufnahme aus dem Inneren des Brandraumes (V2)

Erkenntnisse:

- Nach ca. 33 min erstes Abfallen der ersten und nach ca. 62 min erstes Abfallen der zweiten Lage der Brandschutzbekleidung an der Decke unter der hier resultierenden Naturbrandbeanspruchung.
- Max. Brandraumtemperaturen um 1.200°C.
- Flashover nach ca. 8 min.

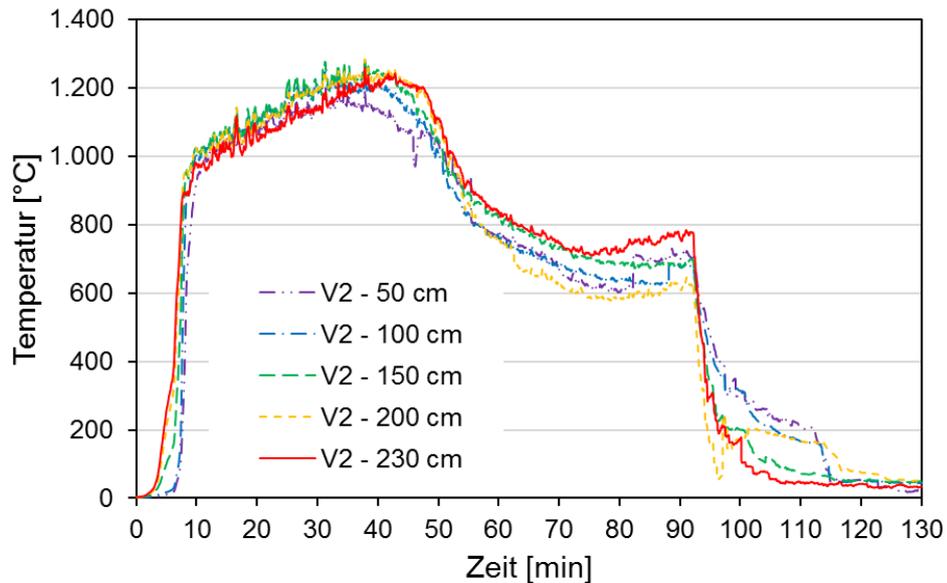


Bild 17: Temperatur-Zeit-Verläufe V2 im Brandraum in verschiedenen Höhen (Mittelwert)

Versuch V3

Versuch V3 stellt ein Gebäude mit einer sichtbaren Brettschichtholz-Decke und vier bekleideten Holztafelbauwänden (2×18 mm GKF/GF) dar, wobei eine Wand geringer ($2 \times 12,5$ mm GKF/GF + OSB) bekleidet war. Hiermit soll die Vergleichbarkeit zwischen den holzbauspezifischen Bauweisen Massivholz zu Holztafelbau erbracht werden. Der Anteil von brennbarer Holzoberfläche an der Bauteiloberfläche beläuft sich auf 42 % und ist damit nur leicht erhöht zu den vorherigen Versuchen.



Bild 18: 180° Drohnenaufnahme aus dem Inneren des Brandraumes (V3)

Erkenntnisse:

- Nach ca. 90 min beteiligt sich die Decke kaum noch am Brand.
- Brandschutzbekleidung 2×18 mm verhindert den Mitbrand der Holzbauteile nicht über die gesamte Branddauer. Lokale Brände an den Ständern und den OSB Platten ab ca. 65. Min.
- Max. Brandraumtemperaturen um 1.200°C
- Flashover nach ca. 10 min

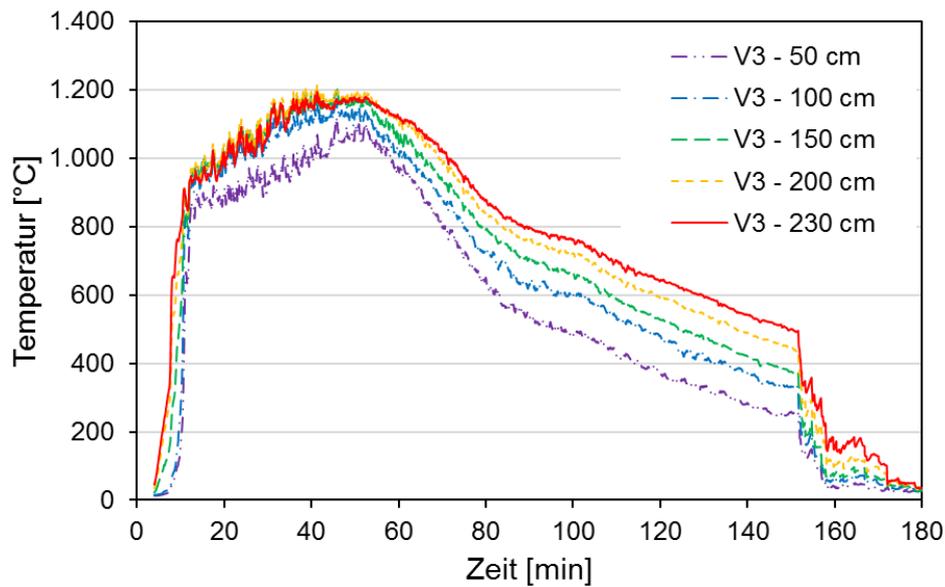


Bild 19: Temperatur-Zeit-Verläufe V3 im Brandraum in verschiedenen Höhen (Mittelwert)

Versuch V4

Als Abschluss der Versuchsreihe ist im Versuch V4 der größte Anteil an brennbarer Holzoberfläche an der Bauteiloberfläche mit 58 % vorgesehen. Neben der Decke und einer Wand sind zusätzlich ein Unterzug und zwei Stützen im Brandraum angeordnet, vgl. Bild 21. Hiermit soll auch nochmals der Einfluss der brennbaren Oberfläche im Raum auf die Brandausbreitung über die Fassade betrachtet werden. Zusätzlich ist auch das Eingreifen der Feuerwehr nach über 60 Minuten aber weiterhin in der Vollbrandphase vorgesehen. Hiermit werden dann Aussagen zur Lösbarkeit von Holzgebäuden gewonnen.



Bild 20: 180° Drohnenaufnahme aus dem Inneren des Brandraumes (V4)

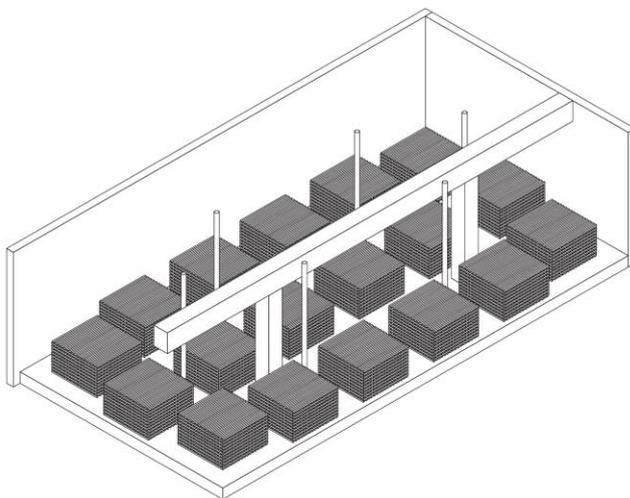


Bild 21: Anordnung der linearen Bauteile (zwei Stützen und Unterzug), der sechs Messbäume und der 18 Holzkippen bei V4

Erkenntnisse:

- Unproblematisches Ablöschen der Konstruktion bis «Feuer in Gewalt».
- Max. Brandraumtemperaturen um 1.200°C
- Flashover nach ca. 10 min

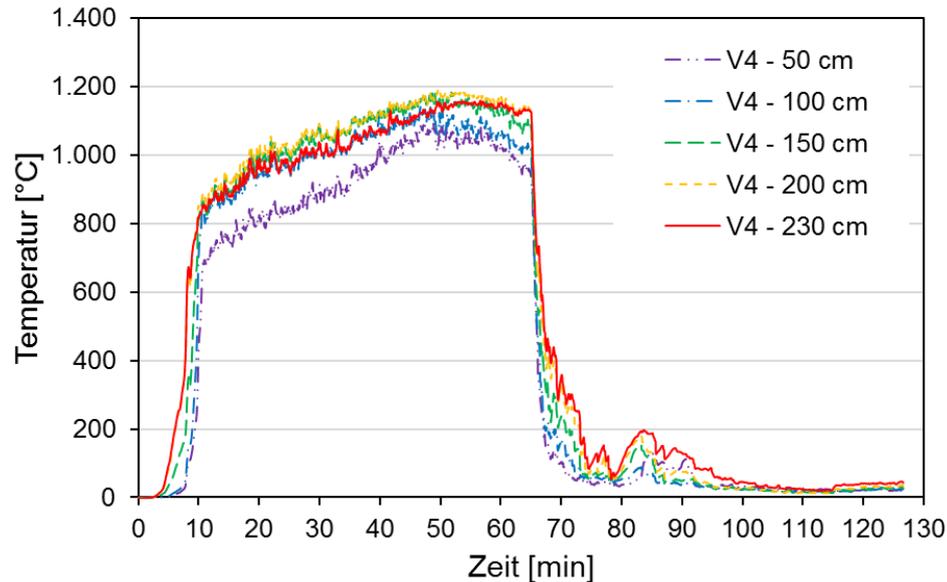


Bild 22: Temperatur-Zeit-Verläufe V4 im Brandraum in verschiedenen Höhen (Mittelwert)

5. Vorläufiges Fazit und Zusammenfassung

Die abschließenden Realbrandversuche dienen als «Beleg» der innerhalb des Forschungsvorhabens TIMpuls gewonnenen Erkenntnisse für mehrgeschossige Holzgebäude. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Klein- und Großbrandversuchen sollen diese Realbrandversuche - im Vorhaben Belegversuche genannt - zum Ende des Vorhabens die Ergebnisse abschließend unter realen Randbedingungen und natürlichen Brandlasten nachweisen. Dabei werden bautypische, im mehrgeschossigen Holzbau übliche Kombinationen aus verschiedenen Konstruktionsformen (z.B. Brettsperrholz, Brettschichtholz und Holztafelbau) berücksichtigt. Es werden sowohl Decken und Wände mit bekleideten als auch mit sichtbaren Holzoberflächen berücksichtigt. Die Versuche sollen für alle Interessenvertreter/innen ein klareres Bild liefern, wie sich die gesamte Holzkonstruktion im Brandfall und während des Löschvorgangs durch die Feuerwehr verhält. Dies unter ganz realen Bedingungen, also praxisnah, so wie es am Ende wirklich brennt. Mit den gewonnenen Erkenntnissen soll die bauordnungsrechtliche Öffnung der Gebäudeklasse 4 und 5 für den mehrgeschossigen Holzbau bekräftigt werden. Bezogen auf die sehr hoch angesetzte mobile Brandlast sind diese Versuche zum aktuellen Zeitpunkt einzigartig.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Tagungsbandes werden die Ergebnisse dieser Versuche noch intensiv ausgewertet. Als vorläufiges Fazit mit Blick auf erste Auswertungen lassen sich folgende Punkte festhalten:

- Unter Berücksichtigung des hier gewählten «kritischen Falls» (große Öffnung, hohe Brandlast) lässt sich kein signifikanter Einfluss des Baustoffes Holz auf die Brandentwicklung erkennen, vgl. Bild 23.

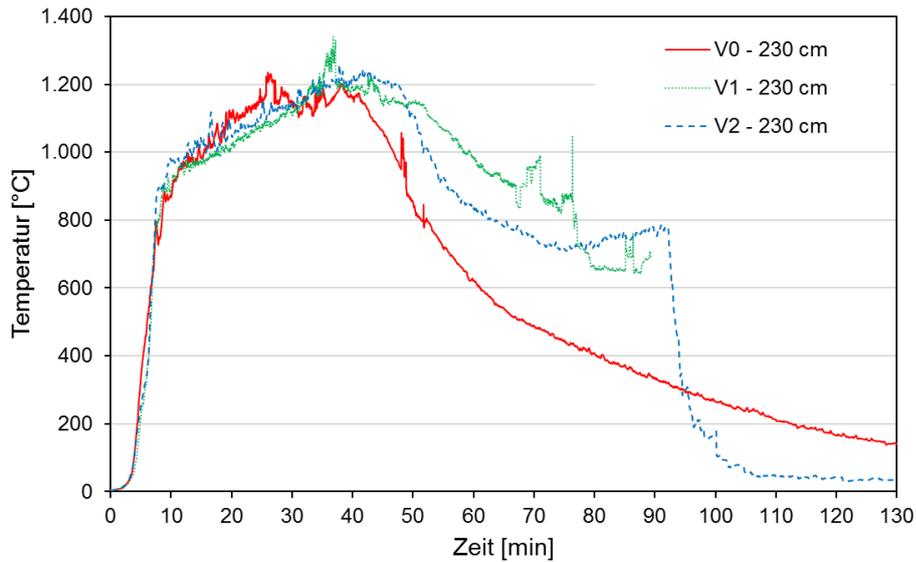


Bild 23: Vergleich Temperatur-Zeit-Verläufe V0, V1, V2 im Brandraum in 230 cm Höhe (Mittelwert)

- Das Vorhandensein zusätzlicher immobilter Brandlast führt bei einem Brand zu einer zusätzlichen Einwirkung auf die Fassade. Diese ist nach aktuellem Stand der Auswertung bei hoher mobiler Brandlast nicht stark ausgeprägt. Hier sind jedoch weitere Auswertungen und Betrachtungen vor einer finalen Aussage notwendig, vgl. Bild 24.

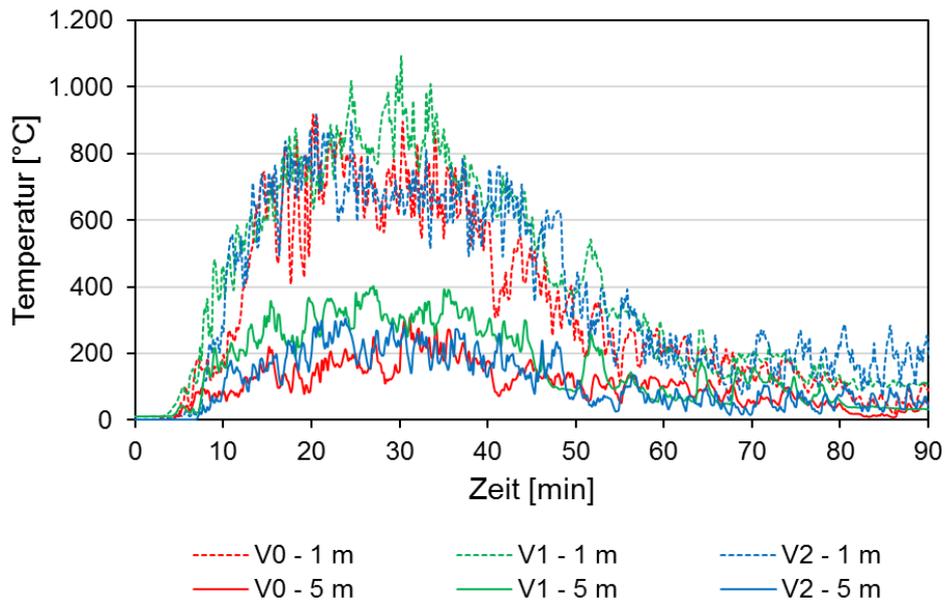


Bild 24: Vergleich der Temperatur-Zeit-Verläufe in der Mitte des Fassadenschildes in den Höhe 1 m und 5 m über die Brandraumöffnung für die Versuche V0, V1, V2

- Wirksame Löscharbeiten waren bei allen Versuchen und Konstruktionen zielführend und ohne besondere Maßnahmen möglich.
- Die Stoß- und Fügungsbereiche von Bauteilen und Elementen erzielten unter Naturbrandbeanspruchung raumabschließende Wirkung und verhinderten eine Übertragung von Feuer und Rauch wirkungsvoll.

6. Ausblick

Nachdem zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Tagungsbandes noch Ergebnisse intensiv ausgewertet werden müssen, beschränkt sich dieser Artikel auf ein vorläufiges Fazit für die abschließenden Realbrandversuche.

Unter www.timpuls.tum.de [1] können unter dem Reiter - Aktuelles - die Videoaufzeichnungen der Versuche abgerufen werden. Unter Berücksichtigung der Versuchsbeschreibung zuvor können diese Interessierten weitere Aufschlüsse liefern. Des Weiteren wird auf der gemeinsamen Projektseite regelmäßig auf neue Ergebnisse und Veröffentlichungen der Forschergruppe verwiesen.

7. Fördernachweis

Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über den Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) gefördert. Eine Kofinanzierung der Holzwirtschaft erfolgt koordinierend über den Landesinnungsverband des Bayerischen Zimmererhandwerks.

8. Literatur

- [1] Technische Universität München (2021) *Forschungsvorhaben TIMpuls* [online]. München: <https://www.timpuls.tum.de>
- [2] Engel, T.; Lechner, M. (2020) *Baurechtskonformes Planen und Bauen mit Holz - Verwendbarkeitsnachweise und technische Regeln für den Brandfall im Holzbau*. Version 1 März 2020; Technische Universität München. <https://doi.org/10.14459/2020md1543153>
- [3] Winter, S., Zehfuß, J.; Engel, T.; Brunkhorst, S., Werther, N. (2019) *Brandschutz-technische Grundlagenuntersuchung für eine erweiterte Anwendung des Holzbaus*. In: Tagungsband der Braunschweiger Brandschutz-Tage vom 25. – 26. September 2019 in Braunschweig.
- [4] Su, J. et al. (2018) *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 2 & 3 – Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests*. National Research Council of Canada, Report number: FPRF-2018-01, Ottawa, Ontario, Kanada.
- [5] Zelinka, S. et al. (2018) *Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building. General Technical Report FPL-GTR-247*, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [6] Robert, F. et al. (2019) *ÉPERNON FIRE TESTS PROGRAMME - Test report n° 010617: CLT slab (Natural Fire Test – Scenario 1)*, CERiB Fire Testing Centre, Frankreich. <http://www.epernon-fire-tests.eu>
- [7] Robert, F. et al. (2019) *ÉPERNON FIRE TESTS PROGRAMME - Test report n° 013597: CLT slab (Natural Fire Test, Scenario 2)*, CERiB Fire Testing Centre, Frankreich. <http://www.epernon-fire-tests.eu>
- [8] Engel, T.; Brunkhorst, S.; Steeger, F.; Winter, S.; Zehfuß, J.; Kampmeier, B.; Werther, N. (2020) *TIMpuls Grundlagenforschung zum Brandschutz im Holzbau – Abbrandraten, Schutzzeiten von Bekleidungen und Nachbrandverhalten von Holz*. Bautechnik. <https://doi.org/10.1002/bate.202000043>
- [9] Brunkhorst, S.; Zehfuß, J. (2019) *Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Brandverlauf von Raumbränden mit immobilen Brandlasten*. Tagungsband des SYMPOSIUM 2019 Heißbemessung -Structural Fire Engineering am 24. September 2019 in Braunschweig.
- [10] Brunkhorst, S.; Zehfuß, J. (2020) *Experimental and Numerical Analysis of Fire Development in Compartment Fires with Immobile Fire Load*. International Scientific Conference on Woods & Fire Safety. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_28

- [11] ISO 9705-1:2016-02 (2016) *Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method for a small room configuration.*
- [12] Engel, T.; Moosmüller, K.; Werther, N. (2020) *Brandgefahr durch Elektroinstallationen in modernen mehrgeschossigen Holzgebäuden.* Bautechnik.
<https://doi.org/10.1002/bate.202000076>
- [13] Engel, T.; Butscher, D. (2019) *Fortschreibung bauaufsichtlicher Regelungen für das Bauen mit Holz;* BRANDSchutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung; Ausgabe 5/2019
- [14] Suttner, E.; Werther, N.; Dumler, P. (2020) *Stand der Technik zur Qualität von Bauteil- und Elementfugen in Holzbaukonstruktionen im Hinblick auf den Durchtritt von Feuer und Rauch;* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20566.80964>
- [15] DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke.* Berlin: Beuth. Ausgabe Sept. 2015.
- [16] Werther, N. (2016) *Einflussgrößen auf das Abbrandverhalten von Holzbauteilen und deren Berücksichtigung in empirischen und numerischen Beurteilungsverfahren* [Dissertation]. Technische Universität München.
- [17] Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz (2021) *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL).* Fassung Oktober 2020. Ausgabe 4, 21.06.2021.