

## **KONSTRUKTIONSGRUNDSÄTZE FÜR DAS MEHRGESCHOSSIGE BAUEN MIT HOLZ - ABGELEITET AUS DEM FORSCHUNGSPROJEKT TIMPULS - EIN AUSZUG**

Christoph Kurzer, Thomas Engel, Norman Werther, Stefan Winter  
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München

Projektpartner im Vorhaben: Sven Brunkhorst, Jochen Zehfuß - Technische Universität Braunschweig  
Felix Steeger, Björn Kampmeier - Hochschule Magdeburg-Stendal  
Daniel Butscher, Michael Neske - Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge

### **EINLEITUNG TIMPULS**

Das Verbundforschungsvorhaben TIMpuls [1] der Technischen Universität München, der Technischen Universität Braunschweig, der Hochschule Magdeburg-Stendal und dem Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge hat die Erarbeitung des wissenschaftlich begründeten Nachweises zum Ziel, die unbedenkliche Verwendbarkeit tragender und raumabschließender Holzbaukonstruktionen in mehrgeschossigen Gebäuden bis zur Hochhausgrenze zu ermöglichen. Auf Basis umfangreicher experimenteller und numerischer Untersuchungen werden die erforderlichen Grundlagen zur Fortschreibung bauaufsichtlicher Brandschutzregelungen für eine erweiterte Anwendung des mehrgeschossigen Holzbaus erarbeitet.

Dieser Beitrag stellt einen ersten Auszug der relevantesten Grundlagen und abgeleiteter Ergebnisse für die brandschutztechnische Planung von Holzgebäuden dar. Den gesamten Abschlussbericht des Verbundforschungsvorhabens TIMpuls [1] finden Sie unter <https://doi.org/10.14459/2022md1661419>.

### **SCHUTZWIRKUNG VON BRANDSCHUTZBEKLEIDUNGEN**

In der brandschutztechnischen Bewertung von Holzbauteilen und Konstruktionen nimmt das Bekleiden der Holzbauteile einen wichtigen Stellenwert ein. Neben dem Erscheinungsbild der Bauteiloberflächen wird über Bekleidungen das brandschutztechnische Verhalten der Bauteile positiv beeinflusst. Die Schutzwirkung der Bekleidungen ermöglicht eine Optimierung der Bemessung von Holzbauteile oder schließt sogar die Beteiligung der Holzbauteile am Brandgeschehen aus. Üblicherweise werden hierzu nichtbrennbare Plattenwerkstoffe, wie Gipskarton-, Gipsfaser-, Kalziumsilikat-, - oder Lehm- oder Lehmplatten als Bekleidungen eingesetzt. Je nach Anwendungsbereich oder Quelle werden bisher in der Praxis zur Benennung entsprechender Bekleidungen unterschiedliche Begriffe genutzt, was auf die bisher unterschiedlichen Schutzziele oder auch Unkenntnis des Anwenders zurück zu führen ist. So finden

sich unter anderem Begriffe, wie Brandschutzbekleidung, brandschutztechnisch wirksame Bekleidung, Kapselbekleidung oder Schutzbekleidung wieder.

Besonders für die Anwendung im mehrgeschossigen Holzbau spielt die genaue Definition und einheitliche Benennung der eingesetzten Bekleidung eine entscheidende Rolle, um die gewünschte Schutzfunktion für die Holzbauteile sicherzustellen. Das Schutzvermögen entsprechender Bekleidungssysteme ist eine Eigenschaft, die durch die Materialität der Bekleidung und deren konstruktiven Aufbau (Dicke, Befestigung, Ausbildung der Fugen, Hinterlegungsmaterial) definiert wird.

Hinsichtlich der Schutzwirkung kann zwischen zwei Arten von Bekleidungen differenziert werden. Neben Bekleidungen mit klassifizierter Brandschutzfunktion (brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung) auf Basis der DIN EN 13501-2 [2] wird weiterhin in Schutzbekleidungen nach DIN EN 1995-1-2 [3] unterschieden. Beide Arten von Bekleidungen werden nachfolgend hinsichtlich ihrer Eigenschaften beschrieben.

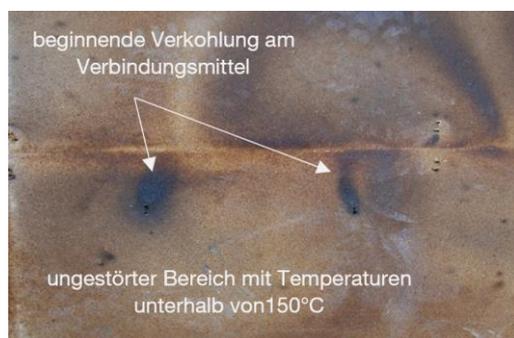
- a) Wand- und Deckenbekleidungen mit klassifizierter Brandschutzfunktion (brandschutztechnisch wirksame Bekleidung - „Kapselung“)

Zielsetzung einer solchen Bekleidung ist es, dahinterliegende Holz- und Holzwerkstoffe vor Schäden, wie Entzündung oder Verkohlung, vollständig zu schützen. Jedweder Beitrag der Holzbauteile am Brandgeschehen soll so für eine festgelegte Zeit ausgeschlossen werden. Grundlage hierzu sind die sogenannten „Kapselklassen“ z.B. K<sub>230</sub> oder K<sub>260</sub> nach DIN EN 13501-2 [2] auf Basis einer Prüfung nach DIN EN 14135 [4]. Neben der flächigen Schutzwirkung wird hierbei auch der Einfluss von Verbindungsmitteln bewertet, die zu einer vorzeitigen lokalen Verkohlung (Temperaturerhöhung) am zu schützenden Bauteil führen können. Versuchsergebnisse zeigen jedoch, dass bei Einsetzen einer Verkohlung an den Verbindungsmitteln die Temperaturen in der Fläche in der Regel um mehr als 100 K unterhalb der zulässigen Grenztemperaturerhöhung (250 K / 270 K) liegen, vgl. Bild 1. Für die meistverwendeten Bekleidungen aus Gipskartonfeuerschutz- und Gipsfaserplatten resultieren im Hinblick auf die Klasse K<sub>230</sub> typischerweise Bekleidungsstärken von 18 mm und für K<sub>260</sub> typischerweise Bekleidungsstärken von 2 × 18 mm, vgl. MHolzBauRL [24]. Wesentlich hierfür ist zudem, dass eine adäquate Befestigung vorliegt.

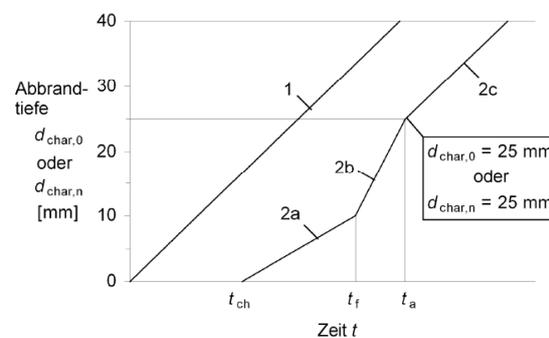
- b) Schutzbekleidungen im Sinn der DIN EN 1995-1-2

Mittels dieser Bekleidungen wird das globale Ziel verfolgt einen positiven Beitrag zum Feuerwiderstand des Holzbauteils zu leisten. Die Schutzwirkung der Bekleidung wird hierbei einerseits über den Wert  $t_{ch}$  (Zeit bis zum Beginn des Abbrandes hinter der Bekleidung) und andererseits durch den Werte  $t_f$  (Versagenszeit/Abfallen der Schutzbekleidung) beschrieben. Ein Nachweis der Schutzfunktion kann

aktuell für ausgewählte generische Produkte der DIN EN 1995-1-2 [3] entnommen werden. Produktspezifisch lassen sich entsprechende Kennwerte auf Basis einer Prüfung nach DIN EN 13381-7 [5] ableiten. Auf Basis der nächsten Generation der prEN 1995-1-2 [13] werden neben den Schutzzeiten  $t_{ch}$  für Gipsplatten auch Kennwerte für Lehmbauplatten als auch für die Schutzzeit  $t_f$  bis zum Abfallen der Bekleidungen angegeben, wodurch für den Zeitraum zwischen  $t_{ch}$  und  $t_f$  ein reduzierter Abbrand berücksichtigt werden kann, vgl. Bild 2. In der praktischen Anwendung zeigt sich, dass mit einer Bekleidung aus  $2 \times 18$  mm Gipskartonfeuerschutzplatten oder Gipsfaserplatten eine Schutzzeit  $t_{ch}$  von bis zu 90 Minuten erreicht werden kann. Vergleichbar dazu ergibt sich für die nach MHolzBauRL [24] geforderte einlagige 18 mm dicke Bekleidung auf Massivholzelementen eine rechnerische Schutzzeit [3] von mehr als 36 Minuten.



*Bild 1 Verfärbungsbild/Verkohlung im normativen Brandversuch auf der Trägerplatte*



*Bild 2 Abbrandmodell [3]*

Eine Gegenüberstellung der Schutzfunktionen der beiden Bekleidungstypen kann nachstehender Tabelle 1 entnommen werden.

*Tabelle 1 Vergleich der Schutzwirkungen von Bekleidungen nach DIN EN 1995-1-2 und DIN EN 13501-2*

<b>Beurteilungskriterium</b>	<b>Brandschutztechnisch wirksame Bekleidung nach DIN EN 13501-2</b>	<b>Schutzbekleidung nach DIN EN 1995-1-2</b>
Begrenzung der Temperatur(erhöhung) hinter der Bekleidung	Temperaturerhöhung über Ausgangstemperatur - im Mittel um nicht mehr als 250 K - im Maxima um nicht mehr als 270 K	als Grenztemperatur für $t_{ch}$ (Beginn des Abbrandes) gelten 300°C
Den Ausschluss von verbranntem oder verkohltem Material hinter der Bekleidung	Auch im Bereich von Befestigungsmitteln und Fugen (visuelle Wertung nach dem Versuchsende)	Nur in der Fläche (Fugen werden gesondert betrachtet, Befestigungsmittel bleiben unberücksichtigt)
Abfallen der Bekleidung	Ein Abfallen oder Zusammenbrechen (selbst von Teilen) ist unzulässig.	Zeitpunkt bis zum Abfallen der Bekleidung mit dahinter liegendem reduziertem Abbrand durch $t_f$ charakterisiert



*Bild 3 Verbindungsmittel nach Entfernen der Brandschutzbekleidung, V0*



*Bild 4 Verfärbungen an den Befestigungspunkten am Ständer einer Holztafelbauwand, V4*

Auch wenn beide Arten von Bekleidungen unterschiedliche spezifische Schutzziele verfolgen, kann ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich der flächigen Schutzwirkung und damit bezüglich des Ausschlusses der Holzbauteile am Brandgeschehen (Temperaturkriterium) als vergleichbar angesehen werden. Ein Einfluss resultierend aus der vorzeitigen Verfärbung und pyrolytischer Zersetzung an den Verbindungsmitteln auf die Branddynamik im Raum ließ sich innerhalb der im Rahmen des Forschungsprojektes TIMpuls durchgeführten Versuche nicht ableiten [1]. Verdeutlicht wird dies ebenso bereits durch den geringen Flächenanteil, den entsprechende Verbindungsstellen im Vergleich zur Gesamtfläche einnehmen, vgl. Bild 3 und Bild 4.

Ergänzend zu brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen „K“ können somit auch Schutzbekleidungen aus dem Anwendungsbereich der DIN EN 1995-1-2 [3] für den mehrgeschossigen Holzbau hinreichende Eigenschaften liefern, um einen flächigen Mitbrand der Holzbauteile und eine Beteiligung am Brandgeschehen im Raum auszuschließen. Neben dem Ausschluss des Mitbrandes der Holzbauteile kann über die entsprechende Charakterisierung der Schutzbekleidung auch der Beitrag der Bekleidung zum Feuerwiderstand der Gesamtkonstruktion und deren Abfallzeit benannt werden.

Auf Basis der Differenzierung und Beschreibung des thermischen Versagenskriteriums zur Beurteilung der Schutzbekleidung für Holzbauteile ( $t_{ch}$ ) wurde es im Rahmen des Forschungsprojektes TIMpuls möglich, die Leistungsfähigkeit von Schutzbekleidungen unter verschiedenen Brandszenarien miteinander zu vergleichen [1]. Der zugehörige technische Ansatz dieses Vergleichs zur Beschreibung der Schutzwirkung von Brandschutzbekleidung wird im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

Aus der so geschaffenen Möglichkeit zum Vergleich der üblicherweise unter ETK-Beanspruchung ermittelten Schutzwirkungen für Bekleidungen aus Gipsplatten mit der Schutzwirkung im Naturbrand (Naturbrand 1 TIMpuls) lässt sich erstmals ein Bezug herstellen, von welcher Schutzwirkung für die Holzbauteile in einem realen Vollbrand ausgegangen werden kann, ohne dass eine Beteiligung der geschützten Holzbauteile am Brandgeschehen erfolgt, vgl. Bild 5. Hierbei wurde exemplarisch die im Forschungsprojekt genutzte Naturbrandkurve I in Bezug genommen. Diese Kennwerte lassen sich wiederum in Bezug zu den Eingriffszeiten der Feuerwehr setzen und erlauben so eine leistungsbezogene Bemessung der Bekleidung.

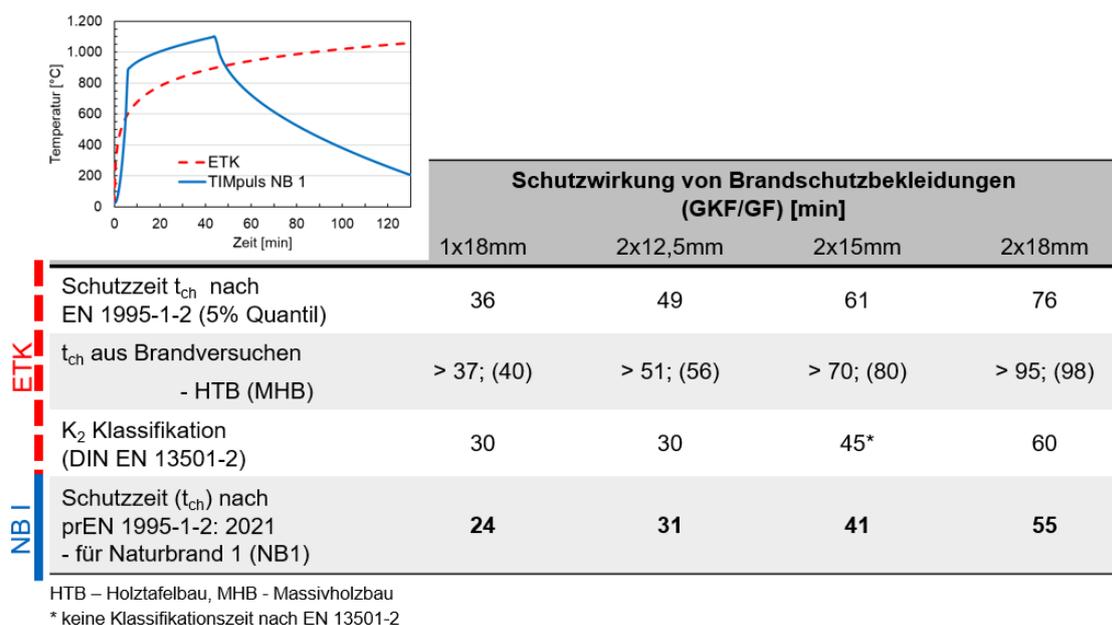


Bild 5 Schutzwirkung von Gipsbekleidungen bei verschiedenen Brandszenarien

## SCHUTZZEITEN VON GIPSBEKLEIDUNGEN BEI NATURBRAND

Im modernen, mehrgeschossigen Holzbau gehören Gipskartonfeuerschutz- und Gipsfaserplatten zu den meist eingesetzten Brandschutzbekleidungen, wie im vorherigen Kapitel erläutert. Die Gründe hierfür sind deren Brandverhalten, welches nach DIN 4102-1 „A2“ bzw. nach DIN EN 13501-1 „A2-s1, d0“ entspricht und somit ein Mitbrennen, eine wesentliche Rauchentwicklung und ein brennendes Abtropfen oder Abfallen der Bekleidung ausschließt, und deren Schutzwirkung für brennbare Baustoffe im Brandfall, die sich aus dem chemischen und physikalischen Brandeigenschaften des Gipses als Hauptbestandteil solcher Platten ergibt. Ab einem Temperaturbereich von circa 100 °C bis 150 °C löst sich nennenswert das kristallin gebundene Wasser aus dem Calciumsulfat-Dihydrat, die chemische Bezeichnung von Gips [6].

Im Rahmen von TIMpuls [1] wurde ein vereinfachter analytischer Ansatz zur Bestimmung der Schutzwirkung ( $t_{ch}$  – Beginn des Abbrandes) von Gipskartonfeuerschutz- und Gipsfaserplatten für beliebige Brandszenarien erforscht. Hierbei wurde zu Grunde gelegt, dass die Schutzwirkung der Gipsbekleidungen für Holzbauteile durch die Intensität der einwirkenden Brandbeanspruchung maßgebend beeinflusst wird. Für diese Untersuchung wurden Daten aus folgenden Quellen herangezogen.

- Prüfbericht „Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building“ [7]

- Prüfbericht „ Fire Safety Summary – Fire Research Conducted for the Project on Mid-Rise Wood Construction” [8]
- Prüfbericht „Natural Full-Scale Fire Test on a 3 Storey Xlam Timber Building” [9]
- Prüfbericht „Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise“ [10]
- Prüfbericht „Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests“ [11]
- Messdaten aus Kleinbrandversuchen vom Forschungspartner „TU Braunschweig“ [1]
- Messdaten aus Großbrandversuchen vom Forschungspartner „TU Braunschweig“ [1]

Für die Auswertung der Schutzwirkung von Gipsplatten wurden im ersten Schritt die maßgebenden Messstellen in den Brandversuchen hinter den Gipsplatten ermittelt. Hieraus wurde der Zeitpunkt des Erreichens von 300°C an der geschützten Holzoberfläche ausgewertet. Anhand dieses Zeitpunktes kann mittels der Brandraumtemperatur die bis dahin einwirkende Brandbeanspruchung bestimmt werden. Nach Schneider [12] bestimmt sich der Wärmestrom, mit dem die Umfassungsbauteile beansprucht werden aus folgender Gleichung.

$$\dot{h}_w = A_j \cdot (\alpha_j (T_g - T_{wj}) + \varepsilon_{res} \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_{wj}^4)) \quad \text{Gl. 1}$$

Hierbei sind:

$\dot{h}_w$     Energiefluss durch Konvektion und Strahlung an die Umfassungsbauteile

$A_j$     Fläche der Umfassungsbauteile

$\alpha_j$     Wärmeübergangszahl für Konvektion

$T_g$     Raumgastemperatur

$T_{wj}$     Oberflächentemperatur des Umfassungsbauteils

$\varepsilon_{res}$     resultierende Emission

$\sigma$     Strahlungskonstante des schwarzen Körpers

Weil die reale Oberflächentemperatur bei den betrachteten Prüfberichten meistens nicht bekannt war, konnte der tatsächliche Wärmestrom nicht ermittelt werden. Aus diesem Grund wurden Vereinfachungen für das weitere Vorgehen notwendig. Zugleich wurden untersucht, welcher Anteil resultierend aus

Konvektion oder Strahlung die Intensität des Wärmestromes bestimmt (siehe Tabelle 2). Diese Auswertung zeigt, dass besonders bei hohen Temperaturen der Strahlungsanteil den Großteil des Wärmestroms ausmacht.

*Tabelle 2 Vergleich der Anteile von Konvektion und Strahlung am Wärmestrom auf die Umfassungsbauteile im Brandfall*

Raumgastemperatur	200 °C	600 °C	600 °C	1000 °C	1000 °C	1000 °C
Oberflächentemperatur	20 °C	20 °C	400 °C	20 °C	400 °C	800 °C
Konvektionsanteil	75%	43%	28%	22%	15%	10%
Strahlungsanteil	25%	57%	72%	78%	85%	90%

Als hinreichende Möglichkeit zur Beschreibung der Schutzwirkungen von Gipsbekleidungen wurde somit ein Ansatz identifiziert, der sich auf den Strahlungsanteil des Gesamtwärmestroms im Brandfall fokussiert. Hierbei wurde auch die reale Oberflächentemperatur der Bekleidung innerhalb der Strahlungsbilanz vernachlässigt, welche zur Bestimmung der von der Oberfläche ausgehenden Strahlung dient. Bild 6 zeigt, dass dieser Ansatz hinreichende Ergebnisse liefert. Besonders für den Aufbau von zweilagigen Gipsplatten konnte eine gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen erzielt werden. Die erkennbaren Ausreißer (Unterschreitung der Grenzkurve) sind US-amerikanischen Gipskartonfeuerschutzplatten des Typ X zuzuschreiben. Für diese führt die im Vergleich zu nationalen Gipskartonfeuerschutzplatten (nach DIN 18180 in Verbindung mit DIN EN 520) deutlich geringere Rohdichte zu einer verringerten Energieabsorption und damit zu einer schnelleren Durchwärmung der Bekleidung. Die hierbei angegebene Grenzkurve der Schutzwirkung ergibt sich aus der Umrechnung der nach DIN EN 1995-1-2 bekannten Kennwerte für  $t_{ch}$  unter ETK-Normbeanspruchung.

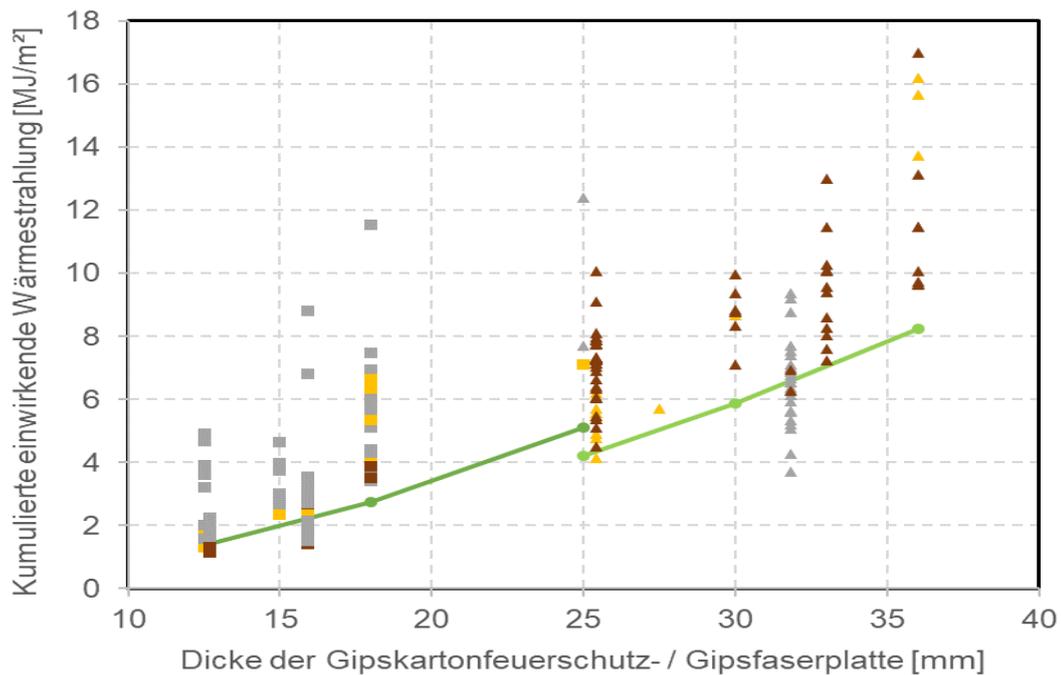


Bild 6 Summe des Energieäquivalents (Strahlungsanteil) bis zum Erreichen von 300 °C auf der Bekleidungsrückseite

Die Mindestdicke ( $h_p$ ) für Gipskartonfeuerschutzplatten (nach DIN 18180 in Verbindung mit DIN EN 520) oder Gipsfaserplatten (nach DIN EN 15283-2) zum Ausschluss des Mitbrandes der Holzbauteile ergibt sich damit zu.

$$\text{einlagige Bekleidung: } h_{p,\min} = 1,45E^{0,53} \quad \text{Gl. 2}$$

$$\text{zweilagige Bekleidung: } h_{p,\min} = 1,53E^{0,54} \quad \text{Gl. 3}$$

mit:

$$E \quad \text{kumulierte einwirkende Wärmestrahlung, in MJ/m}^2 \quad \text{Gl. 4}$$

$$E = \varepsilon\sigma \int_0^t (T^4) dt \cdot 10^{-6}$$

$$\sigma \quad \text{Stefan-Boltzmann Konstante, } \sigma = 5,76 \cdot 10^{-8}, \text{ in } \frac{W}{m^2 K^4};$$

$$\varepsilon \quad \text{Emissionsgrad, } \varepsilon = 1;$$

$$T \quad \text{Temperatur im Brandraum, in K;}$$

$$t \quad \text{Zeit, in s.}$$

$$h_{p,\min} \quad \text{Minimale Plattendicke zum Erreichen der Schutzwirkung, in mm.}$$

Zugehörige Gleichungen wurde bereits in die Überarbeitung der prEN 1995-1-2 [13] übernommen, um eine leistungsbezogenen Bemessung von Holzbauteilen und Holzkonstruktionen für Naturbrandszenarien zu ermöglichen.

## EINFLUSS UNGESCHÜTZTER HOLZOBERFLÄCHEN AUF DIE BRANDRAUMDYNAMIK UND DIE BRANDEINWIRKUNG AUF DIE FASSADE

Ungeschützte bzw. nur anfänglich durch eine Brandschutzbekleidung geschützte Holzoberflächen stellen eine zusätzliche immobile Brandlast dar. Sie haben in Abhängigkeit ihrer Masse, ihrer geometrischen Anordnung, des Öffnungsfaktors der Räume (Ventilationsbedingungen) und der Raumgröße Einfluss auf die Branddynamik, wie z.B. Zeitpunkt des Flashovers, die Branddauer und die Brandeinwirkung außen entlang der Fassade. [1]

Für die Untersuchung der Brandraumdynamik in Räumen mit ungeschützten bzw. nur anfänglich geschützten Holzoberflächen wurden innerhalb des Verbundforschungsvorhabens mehre Versuchsreihen durchgeführt.

Ein Beispiel hierfür sind die in Braunschweig realisierten mittelmaßstäblichen Brandversuche im Room Corner-Versuchsstand nach ISO 9705-1 [14]. Aus den durchgeführten Room Corner Versuchen ist ersichtlich, dass ein Vorhandensein von struktureller Brandlast eine Änderung der Brandraumdynamik bei sonst ausschließlich mobiler Brandlast zur Folge hat. [1], [15], [16]

Mit den experimentellen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich durch die strukturelle Brandlast eine kürzere Brandentwicklungsdauer bis zum Eintritt des Flashovers und eine Steigerung der Wärmefreisetzungsrates ergibt. Zudem kann durch die zusätzliche strukturelle Brandlast früher ein ventilationsgesteuertes Brandregime im Brandverlauf erreicht werden, was wiederum eine geringere maximale Wärmefreisetzungsrates aber eine längere Branddauer zur Folge hat. Die strukturelle Brandlast verursacht ergänzend die Verlängerung der Abkühlphase eines Raumbrandes. Zudem erhöht sich das Ausmaß der aus der Öffnung schlagenden Flammen mit zunehmender ungeschützter Holzoberfläche, da die freigesetzten Pyrolysegase erst mit dem Sauerstoff außerhalb des Brandraumes oxidieren können. [1], [15], [16]

In der Versuchsreihe konnte ein Selbstverlöschen massiver Holzbauteile beim Verlöschen der mobilen Brandlast (Stützfeuer) zuverlässig beobachtet werden, sofern nur die Decke oder eine Wand als ungeschützte Holzoberfläche ausgeführt wurde. [1], [15], [16]

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde im Rahmen der fünf Belegversuche (Realbrandversuche) der Einfluss der immobilen Brandlast auf die Brandraumdynamik im Raum weiter untersucht. Die Versuche wurden mit einer sehr hohen, mobilen Brandlastdichte ( $1085 \text{ MJ/m}^2$ / 90%-Quantil gemäß [20])

durchgeführt. Während der erste Versuch in einem vollständig gekapselten (nicht brennbaren) Raum durchgeführt wurde, wurde die Menge der freiliegenden Holzflächen anschließend vergrößert. [1], [18], [19] Eine Überblick über die Versuchskonfigurationen gibt Tabelle 3.

*Tabelle 3: Versuchsübersicht der abschließenden Realbrandversuchsreihe (Belegversuche)*

Versuch	V0	V1	V2	V3	V4
Raumgröße (B x L x H)	4,5 m x 4,5 m x 2,4 m			4,5 m x 9,0 m x 2,4 m	
Grundfläche	20,25 m <sup>2</sup>			40,5 m <sup>2</sup>	
Öffnungsgröße (B x H)	2,4 m x 2,2 m			4,2 m x 2,2 m	
Öffnungsfaktor	0,094 m <sup>0.5</sup>				
Brandlastdichte	1085 MJ/m <sup>2</sup>				
Wand 1	100 mm BSP 2x25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	150 mm BSP	140 mm HTB 2x12,5 mm GF	150 mm BSP
Wand 2	100 mm BSP 2x25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	140 mm HTB 2x18 mm GF	140 mm HTB 2x18 mm GF	140 mm HTB 2x18 mm GF
Wand 3	100 mm BSP 2x25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	150 mm BSP	140 mm HTB 2x18 mm GKF	140 mm HTB 2x18 mm GKF
Wand 4	100 mm BSP 2x25 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	140 mm HTB 2x18 mm GF	140 mm HTB 2x18 mm GF	140 mm HTB 2x18 mm GF
Decke	180 mm BSH 2x25 mm GKF	180 mm BSH	220 mm HTB 2x18mm GF	180 mm BSH	180 mm BSH
Lineare Bauteile	-	-	-	-	2x Stütze 1x Unterzug
Sichtbare Holzoberfläche*	-	35 %	37 %	42 %	58 %

BSP – Brettsperholz; HTB – Holztafelbau mit Steinwolle gedämmt; BSH – Brettschichtholz; GKF – Gipskartonfeuerschutzplatte; GF – Gipsfaserplatte; Stütze – 300x300 mm<sup>2</sup> BSH; Unterzug – 300x320 mm<sup>2</sup> BSH

\* bezogen auf alle vorhandenen Wand und Deckenflächen ohne Öffnung

Anhand dieser Versuchsreihe wird deutlich, dass die Brandraumtemperaturen in der Brandentwicklungsphase infolge identischer mobiler Brandlastdichte und identischem Zündvorgang fast keine Unterschiede aufwiesen. Die ab ca. der 10. Versuchsminute einsetzende Vollbrandphase zeigte bis zur 40. Versuchsminute ebenso nur geringfügige Unterschiede im Temperaturverlauf ( $\Delta T < 150$  K). Der Einfluss der ungeschützten bzw. anfänglich geschützten Holzbauteile war erst nach der 40. Versuchsminute sichtbar. Zusammenfassend können bei der Betrachtung der Temperatur-Zeit-Verläufe folgende Ergebnisse festgehalten werden [1], [18], [19]:

Der Anteil an sichtbaren Holzoberflächen hatte in diesen Versuchen keinen messbaren Einfluss auf die Verläufe der Brandraumtemperaturen in der Aufheizphase.

Bei allen Versuchen waren die höchsten Temperaturen im Bereich von 1.200 °C.

Die Brandentwicklung (u.a. Zeit bis Flashover) ist bei allen Versuchen ähnlich schnell verlaufen, lediglich die Erhöhung der Raumgröße hatte einen geringen, aber erkennbaren Einfluss.

Grund für dieses Verhalten in der Brandentwicklungsphase im Raum ist die zuvor erwähnte und für diese Versuche gewählte sehr hohe mobile Brandlastdichte. Damit ein Einfluss der zusätzlichen brennbaren Oberflächen (immobiler Brandlast) zum Tragen kommen könnte, wären mehr Sauerstoff bzw. eine noch größere Öffnungsfläche erforderlich gewesen. [1], [18], [19] Auch bei einer Reduktion der mobilen Brandlast würde ein entsprechender Einfluss der Holzoberflächen deutlich mehr hervortreten.

Bei der Abkühlphase der Brandversuche ist hingegen ein deutlicher Einfluss der sichtbaren bzw. lediglich anfänglich geschützten Holzoberflächen erkennbar. Die zusätzlich vorhandenen Brandlasten (immobiler Brandlast) tragen dazu bei, dass die Abkühlphase länger anhält, die Brandraumtemperaturen also langsamer sinken oder sogar leicht ansteigen. [1], [18], [19]

Ein weiteres Ziel der TIMpuls Studie war die Untersuchung der Veränderung der Brandeinwirkung durch ungeschützte Holzoberflächen oder nur anfänglich geschützte Holzbauteile auf die Fassade. [17]

Grundlage für die Untersuchung stellen ebenfalls die fünf Belegversuche als Realbrandversuche dar [1], [18], [19]. Der Einfluss von freiliegenden bzw. nur anfangs geschützten Holzoberflächen auf die Brandeinwirkung auf die Fassade wurde anhand der gemessenen Gastemperatur, Wärmefreisetzungsrate, Temperatur an der Fassade, Flammenhöhen, Wärmestrom und Geschwindigkeiten entlang der Fassade untersucht.

In der Wachstumsphase des Brandes gibt es fast keine Unterschiede bei den Gastemperaturen und in der Vollbrandphase entstehen bezogen auf das Gesamt-Temperaturniveau geringe Unterschiede in den Temperaturkurven. Der wesentliche Einfluss der immobilen Brandlast wurde ebenso wie im Raum erst in der Abkühlphase sichtbar. Der Verlauf der Gastemperatur in der Abkühlphase wird also in erster Linie durch die freiliegenden bzw. nur anfangs geschützten Holzoberflächen bestimmt, die sich am Brand beteiligen (strukturelle Brandlast). [17]

Die vorbenannten geringen Unterschiede der Temperaturen an der Fassade in der Vollbrandphase bei zusätzlicher immobilier Brandlast lassen sich im Vergleich zum Raum mit vollständig geschützter Oberfläche mit ca. 120 - 200 °C benennen. Eine freiliegende Holzmassivdecke hat hier offensichtlich jedoch einen größeren Einfluss auf die Fassade als freiliegende Holzmassivwände. Der spezifische Einfluss einer exponierten Decke auf die Brandbeanspruchung der Fassade sollte daher weiter untersucht werden. [17]

Es gibt keinen signifikanten Unterschied in der Flammenhöhe zwischen den Versuchen. Aufgrund der zusätzlichen strukturellen Brandlast verlängert sich der Brandverlauf jedoch zeitlich. Der verlängerte Brand verursacht länger anhaltend höhere Flammen an der Fassade. [17]

Eine freiliegende Massivholzdecke führt zu höheren Wärmeströmen an der Fassade als eine freiliegende Massivholzwand. Ergebnisse anderer Versuche zum einwirkenden Wärmestrom auf die Fassade zeigten etwa dreifache Werte für eine Holzmassivdecke gegenüber einer nicht brennbaren Decke [17], [22]. Entsprechende Größenordnungen konnten in dieser Versuchsreihe nicht bestätigt werden. Der Grund hierfür kann wiederum in den sehr hohen Brandlastdichten innerhalb der TIMpuls Versuche und der großen Breite der Öffnung gesucht werden. [17]

Darüber hinaus stützen die Ergebnisse der Strömungsmessungen an der Fassade die Hypothese, dass die Gasgeschwindigkeiten mit zunehmender immobiler Brandlast ansteigen. [17]

Insgesamt zeigt sich, dass die national und international vorliegenden Erkenntnisse aus Großbrandversuchen derzeit noch nicht ausreichen, um den Einfluss der strukturellen Brandlast auf das Brandgeschehen an der Fassade abschließend zu beschreiben. Da viele Faktoren, wie Geometrie, Öffnungsfläche, Anordnung der Holzoberflächen, Brandlastdichte, Raumgröße, Schutzzeiten von Bekleidungen etc. eine entscheidende Rolle spielen, können derzeit keine generellen Aussagen getroffen werden. Um dieses wichtige Thema weiter zu untersuchen und zu quantifizieren, sind zusätzliche Versuche in Originalgröße notwendig. [17]. Ablesbar ist jedoch, dass je mehr bewegliche Brandlast vorhanden ist, desto geringer wird der Einfluss der baulichen Brandlast in der Brandentwicklungs- und Vollbrandphase auf die Fassade. [17]

## GRUNDSÄTZLICHE ANWENDBARKEIT VON DECKEN UND WÄNDEN IN HOLZTAFELBAUWEISE IN MEHRGESCHOSSIGEN GEBÄUDEN

Die aktuelle Nichtberücksichtigung der Holztafel-/Holzrahmenbauweise für Bauteile abweichend zu feuerbeständig aus brennbaren Baustoffen ist mit Blick auf die Ergebnisse des Verbundforschungsvorhabens TIMpuls [1] aus brandschutztechnischer Sicht nicht weiter begründbar. Es bestehen keine Bedenken, entsprechende Bauteile und Anschlüsse für einen Feuerwiderstand von 90 Minuten auszubilden, sofern die bewährten Ausführungsregeln der M-HFHolzR [23] bzw. die der MHolzBauRL [24] adaptiv für die Gebäudeklasse 5 bis zur Hochhausgrenze in gleicher Weise übernommen werden.

Holztafelbauwände und -decken sind gemäß M-HFHolzR [23] bzw. die der MHolzBauRL [24] mit mineralischer, nichtbrennbarer formstabiler Dämmung (Schmelzpunkt  $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ) mit Übermaß voll ausgedämmt herzustellen, vgl. Bild 7. Die raumseitig aufgebrachte brandschutztechnisch wirksame Bekleidung mit der Klassifizierung K<sub>2</sub>60 verhindert eine Brandbeanspruchung der Holzkonstruktion von mindestens 60 Minuten. Bezüglich der flächigen Schutzwirkung werden bei entsprechender Ausführung der Brandschutzbekleidungen aus 2x18 mm Gipskartonfeuerschutz- oder

Gipsfaserplatten jedoch sogar Überkapazitäten der Schutzzeiten ( $t_{ch}$ ) bei ETK-Normbrandbeanspruchung, mit bis zu 90 Minuten erreicht. Eine Beteiligung der Holzrippen (Schwelle, Ständer, Rähm) am Brandgeschehen und Hohlraumbrände werden so ausgeschlossen. Nach dem Versagen der Brandschutzbekleidung werden die Holzrippen im Holztafel-/Holzrahmenbau innerhalb der Gefache durch den Gefachdämmstoff (nicht brennbare Dämmung mit einem Schmelzpunkt  $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ) geschützt, wodurch nur ein einseitiger Abbrand an der Schmalseite stattfinden kann und ein seitlicher Einbrand bzw. Hohlraumbrände verhindert werden, vgl. Bild 8. [1]



*Bild 7 Holztafelbauwand  
Steinwolldämmstoff im  
Gefach – vor dem Aufbringen  
der Bekleidung*



*Bild 8 Schutzwirkung der  
Steinwolldämmung für die  
Gefache, V2*

Der mögliche Beitrag der Tragkonstruktion von Holztafelbauteilen nach Versagen der Brandschutzbekleidung zur Branddynamik im Raum ist gegenüber Massivholzbauteilen als gering anzusehen, was durch die Versuchsbeobachtungen in [1] verdeutlicht wird. Dies lässt sich bereits auch aus dem Vergleich der Flächenanteile ableiten, da die typischerweise 60 mm breiten Holzrippen nur in einem Abstand von 625 mm vorliegen. In Folge der nichtbrennbaren formstabilen Dämmung ist nur von einem Abbrand der Schmalseiten der Konstruktionshölzer auszugehen. Bei Verwendung von Holzwerkstoffen zur Aussteifung hinter der Brandschutzbekleidung kann sich der Einfluss auf die Brandraumdynamik zwar erhöhen, bleibt aber im direkten Vergleich zur Massivholzbauweise nach wie vor gering, da die geringe Dicke der

Holzwerkstoffplatten nur einen zeitlich sehr begrenzten Beitrag zur Wärmefreisetzung liefert. [1]

Basierend aus den durchgeführten Versuchen [1] war ebenso ersichtlich, dass Anschlüsse im Holztafelbau und Massivholzanschlüsse prinzipielle gleichwertig angesehen werden könne. Entsprechend brandschutztechnisch sichere Anschlüsse können somit auch für den Holztafelbau erreicht werden. Hierauf wird im nachfolgenden Abschnitt spezifischer eingegangen.

## VERIFIZIERUNG VON TYPISCHEN ANSCHLUSSPRINZIPIEN UNTER REALBRANDBEANSPRUCHUNG

Bauteilanschlüsse und Elementfüugungen gehören brandschutztechnisch mit zu den kritischsten Übertragungswegen und bedürfen somit einer eingehenden Planung oder Ausführung, um eine vorzeitige Brandausbreitung auszuschließen. Hierbei muss sichergestellt werden, dass im Anschlussbereich der Bauteile der gleiche Feuerwiderstand wie an den flächigen Wand- oder Deckenbauteilen erreicht wird. Besonders im Bereich des mehrgeschossigen Holzbaus hat dieser Aspekt in den letzten Jahren immer wieder zu Diskussionen und Bedenken geführt, wodurch zugehörige Untersuchungen zu dieser Thematik auch in das Forschungsprojekt TIMpuls [1] einfließen. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus früheren Forschungsvorhaben, wie beispielsweise dataholz [25] oder aus dem Projekt HolzbauRLBW [26] wurden in den TIMpuls Versuchen entsprechende Bauteilanschlüsse und Elementfüugungen integriert. Infolgedessen konnte die entwickelte und bisher unter ETK Beanspruchung untersuchte Systematik [27] auch unter Realbrandbeanspruchungen hinsichtlich ihrer Gültigkeit überprüft werden.

In Bild 10, 11 und 12 ist eine Auswahl von Wand-Decken-Anschlüsse aus den Belegversuchen dargestellt. Es wird immer die geplante Ausführung und das dokumentierte Endresultat beim Rückbau gezeigt.

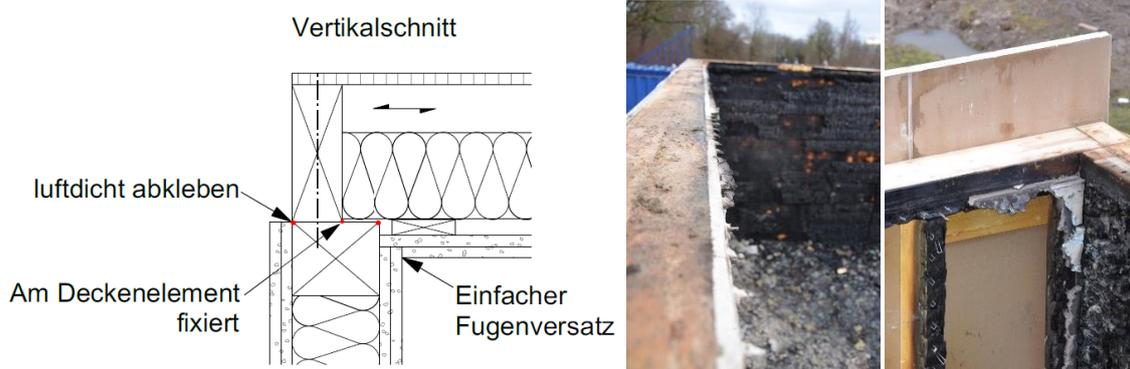


Bild 9 V2 – Bauteilanschluss - Decke an Wand 2 (links) und Wand 4 (rechts)

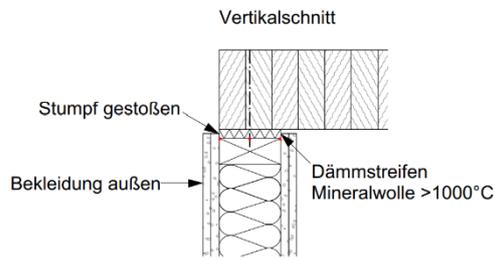


Bild 10 V4 - Bauteilanschluss – Decke an Wand 3

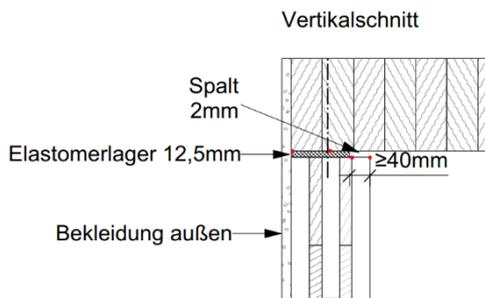


Bild 11 V4 - Bauteilanschluss – Decke an Wand 1

Bei den Belegversuchen konnte kein Versagen, der nach den bekannten Konstruktionsregeln [25] - [27], handwerklich einwandfrei ausgeführten Bauteilanschlüsse und Elementfügungen während der Versuchsdauer beobachtet werden. Ebenso trat bei entsprechender Ausführung kein zusätzlicher Abbrand größer als der der flächigen Bauteile auf. Einzig gezielt mangelhaft ausgeführte Anschlüsse mit z.B. fehlender kraftschlüssiger Verbindung oder mit konvektiver Durchströmung im Fugenspalt führten zu kritischen Zuständen. [1] Die Ergebnisse bestätigen nochmals, dass brandschutztechnisch sichere Bauteilanschlüsse in Holztafel- und Massivholzbauweise auf Basis bekannter Konstruktionsregeln erreicht werden und so die Brandausbreitung (Feuer und Rauch) sowie ein negativer Einfluss auf die Standsicherheit ausgeschlossen sind.

## FAZIT

Aus den Untersuchungen im Forschungsprojekt TIMpuls [1] wird ersichtlich, dass eine brandschutztechnisch sicheres Bauen mit Holz bis zur

Hochhausgrenze möglich ist und die bisherigen Regelungen der MHolzBauRL [24] in Teilbereichen holzbaufreundlich weiterentwickelt werden könnten.

Dies umfasst neben dem Anwendungsbereich und der zu berücksichtigenden Bauteile im Hinblick auf die Bewertung der zulässigen Holzoberfläche, vor allem konstruktive Lösungen. Hieraus folgt die Empfehlung, dass auch Holztafelkonstruktionen die Eignung für das mehrgeschossige Bauen mit Holz bis zur Hochhausgrenze aufweisen. Ebenso kann bestätigt werden, dass brandschutztechnisch sichere Anschlüsse, die bisher unter ETK-Normbrand hinsichtlich der Brandausbreitung (Feuer und Rauch) bewertet wurde auch unter Realbrandbedingungen voll funktionsfähig sind.

## AUSBLICK

Für den Holzbau konnten mittels dem Verbundforschungsvorhaben TIMpuls [1] bereits förderliche Erkenntnisse gewonnen werden, jedoch übersteigen die gewonnenen Daten die im Projekt vorhandenen Kapazitäten der Forschungspartner, so dass eine weiterführende Auswertung vorgesehen ist. Ein zugehöriges Folgeprojekt wird hierbei ebenso auf die Ergebnisvermittlung und das Schaffen eines ganzheitlichen Verständnisses bezüglich der Möglichkeiten und Grenzen des Bauens mit Holz eingehen.

## DANKSAGUNG

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

## LITERATUR

- [1] Engel, T.; Brunkhorst, S.; Steeger, F.; Butscher, D.; Kurzer, C.; Werther, N.; Winter, S.; Zehfuß, J.; Kampmeier, B.; Neske, M. (2022) Schlussbericht zum Verbundvorhaben TIMpuls - Brandschutztechnische Grundlagenuntersuchung zur Fortschreibung bauaufsichtlicher Regelungen im Hinblick auf eine erweiterte Anwendung des Holzbaus. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe; Gülzow-Prüzen <https://doi.org/10.14459/2022md1661419>
- [2] DIN EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 13501-2:2003; 2003-12 – aktuelle Fassung 2016-12

- [3] DIN EN 1995-1-2:2012-12 (2012) Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Beuth, Berlin.
- [4] DIN EN 14135: Brandschutzbekleidungen - Bestimmung der Brandschutzwirkung; Deutsche Fassung EN 14135:2004-11
- [5] DIN EN 13381-7: Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen - Teil 7: Brandschutzmaßnahmen für Holzbauteile; Deutsche Fassung EN 13381-7:2019-09
- [6] Bundesverband der Gipsindustrie e.V.: GIPS-Datenbuch, Berlin, 2013.
- [7] Zelinka, S.; Hasburgh, L.; Bourne, K. et al. (2018): Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building – General Technical Report FPL-GTR-247. USDA, Madison, 2018.
- [8] Su, J.; Loughheed, G.D. (2014): Fire safety summary: Fire research conducted for the project on midrise wood construction – CLIENT REPORT: A1-004377.1. NRC CNRC, 2014.
- [9] Frangi, A.; Bochicchio, G.; Ceccotti, A. et al.: Natural Full-Scale Fire Test on a 3 Storey XLam Timber Building, 2008
- [10] Maag, T.; Fontana, M.: Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise. Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 2000.
- [11] Su, J.; Lafrance, P.-S.; Hoehler, M. et al.: Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests. NFPA, Gaithersburg, 2018
- [12] Schneider, U.: Grundlagen der Ingenieurmethoden im Brandschutz. Werner, Düsseldorf, 2002
- [13] prEN 1995-1-2: 2020 (E) Eurocode 5 – Design of timber structures Part 1-2: Structural fire design, Final draft September 5, 2021 for informal Enquiry
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_28)

- [17] Engel, T.; Werther, N. (2022) Impact of mass timber compartment fires on the façade fire exposure; Fire Technology [Manuscript submitted for publication]
- [18] Engel, T.; Kurzer, C.; Werther, N.; Brunkhorst, S.; Winter, S.: Aus der Forschung: TIMpuls - mehrgeschossige Holzbauten unter Feuer. FeuerTrutz Brandschutzkongress 2021.
- [19] Brunkhorst, S.; Zehfuß, J.; Engel, T.; Kurzer, C.; Werther, N.; Steeger, F.; Butscher, D.: TIMpuls Grossversuche an Holzbauten. In: Tagungsband der Braunschweiger Brandschutz-Tage 2021 in Braunschweig.
- [20] 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
- [21] Épernon Fire Tests Programme (2020) Synthesis Report; Report n° EFTP-2020/01; October 13, 2020. <http://www.epernon-fire-tests.eu/>
- [22] Bartlett, A.; Law, A.; McNamee, R. J.; Zehfuss, J.; Mohaine, S.; Tessier, C.; Bisby, L. (2019) Heat fluxes to a façade resulting from compartment fires with combustible and non-combustible ceilings. FSF 2019 - 3rd International Symposium on Fire Safety of Façades, Paris
- [23] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFH HolzR); Fassung Juli 2004
- [24] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL); Fassung Oktober 2020
- [25] Rauch, M.; Werther, N.; Kurzer, C.; Winter, S.; Kaufmann, H.; et al (2019) dataholz.de - Abschlussbericht zum Forschungsprojekt dataholz.de. München, 2019
- [26] Dederich, L.; Sudhoff, P.; Kampmeier, B.; Rüter, N.; Winter, S.; Suttner, E.; Werther, N.: HolzbauRLBW - Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Rottenburg, 2020
- [27] Dederich, L.; Rüter, N.; Sudhoff, P.; Kampmeier, B.; Suttner, E. Werther, N.; Winter, S. (2021): Leitdetails für Bauteilanschlüsse in den Gebäudeklassen 4 und 5; Informationsdienst Holz.