

Hohe Häuser aus Holz – von der Forschung zur Praxis

Stefan Winter mit Beiträgen von Thomas Engel, Norman Werther, Christoph Kurzer, Michael Merk

Zusammenfassung

Auf der Grundlage jahrzehntelanger Forschung, hunderter Gespräche mit den Bauaufsichten aller Länder, Vorreitern wie der Schweiz und Norwegen, der Weiterentwicklung der Holzbauwerkstoffe und -technologien und auf Grund der gesellschaftlichen Diskussionen zum nachhaltigeren Bauen, sind im letzten Jahrzehnt zunehmend vielgeschossige Häuser aus Holz entstanden. Der Artikel verweist auf einige besondere Beispiele echter Hochhäuser aus Holz, befasst sich aber vorrangig mit dem „Brot und Butter“-Geschäft der mehrgeschossigen Holzbauten bis zur Hochhausgrenze. Durch die erneut überarbeitete Muster-Holzbau-Richtlinie (MHolzBauRL:2024) und die Anpassungen der Technischen Baubestimmungen wird das Bauen mit Holz bis zur Hochhausgrenze in Deutschland geregelt und abweichungsfrei ermöglicht. Die entsprechenden Regeln und Hintergründe werden dargestellt. Abschließend wird auf mögliche Weiterentwicklungen, wie den Einsatz biogener Dämmstoffe oder Treppenträume aus Holz, hingewiesen.

Stichworte mehrgeschossiger Holzbau, Muster-Holzbau-Richtlinie, technische Baubestimmungen, hybride Holz-Hochhäuser

1 Einleitung

Hohe Gebäude aus Holz sind vor allen Dingen durch die im wahrsten Sinne des Wortes herausragenden Beispiele im internationalen Raum ins Gespräch gekommen. Gemeint sind echte Hochhäuser aus Holz mit einer Höhe des obersten Geschoßfußbodens von mehr als 22m über der mittleren, festgelegten Geländehöhe. Als besondere Beispiele sind in den folgenden Abbildungen „Mjøstårnet“ in Norwegen, das „HoHo“ in Wien oder „Sara Kulturhuset“ in Schweden gezeigt. Das erste deutsche Holz-Hochhaus ist das „Skaio“ in Heilbronn, anlässlich der Bundesgartenschau vollendet.



Abb. 1: Mjøstårnet in Norwegen, Brummundal, Höhe 85m, 2019 (Daniel Schmidt, Lauterbach)

Natürlich sind alle Hochhäuser gesprinkelt. In den Gebäudebereichen unterhalb der Hochhausgrenze, will man dies insbesondere in den D-A-CH Ländern vermeiden, während die nordischen Länder durchaus auch in niedrigeren mehrgeschossigen Gebäuden und nicht nur im Holzbau auf Sprinklerungen zur Schadensbegrenzung setzen.



Abb. 2: HoHo in Österreich, Wien, Höhe 84m, 2019



Abb. 3: Sara kulturhus in Schweden, Skellefteå, Höhe 80m, 2019

Die meisten der Hochhäuser aus Holz sind in Mitteleuropa hybride Konstruktionen, die Kerne bestehen oft aus brandschutztechnischen Gründen und zur Unterstützung der Aussteifungskonstruktion aus Beton. In den nordischen Ländern wird teilweise auf Fachwerkkonstruktionen zur Aussteifung zurückgegriffen (Mjøstårnet), teilweise auf Brettsperrholzkerne (Sara kulturhus).



Abb. 4: Skaio in Deutschland, Heilbronn, Höhe 34m, 2019
(© Foto: Häfele, bauart)

Bei der Höhe gibt es Nachholbedarf in Deutschland, wenn man das Ganze denn als Wettbewerb sehen will. Aber die Chancen stehen gut, schließlich ist in Karlsruhe das hybride Holzhochhaus der Kreisverwaltung im Bau, welches mit 98 m Höhe sicher zur Spitze zählen wird. Natürlich sind diese Hochhausbauten – und es gibt in Europa und der Welt noch eine ganze Menge mehr – so etwas wie die „Formel 1“ des Holzbaus. Sie weisen nach, dass aus technisch-konstruktiver Sicht und unter Beibehaltung des brandschutztechnischen Sicherheits- und Risikoniveaus der Länder diese Bauwerke auch in Holz möglich sind. Sie stellen wie alle Holzbauwerke durch ihren Kohlenstoffspeicher und den verhältnismäßig geringen Primärenergiebedarf bei der Errichtung einen wesentlichen Beitrag zur Dämpfung des Klimawandels dar und sie erfreuen die Nutzer, man kann gerne mal auf die Bewertungen der Hoteleinheiten in den Hochhäusern der **Abb. 1** bis **3** schauen.

In der großen Breite aber sind (hybride) Holz-Hochhäuser sicher die Ausnahme. Eine viel größere Bau-masse wird in den darunter liegenden, mehrgeschossigen Bauwerken der Gebäudeklasse 4 und 5 geschaffen. Und hier will man ohne große Abweichungen, ohne intensive Diskussionen um Brandschutzkonzepte, möglicherweise erforderliche materielle Abweichungen vom Baurecht oder komplizierte Nachweise der Bauprodukte und Bauarten bis hin zu Zustimmungen im Einzelfall oder vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen einfach planen und bauen können. Um dies in Zukunft auch in Deutschland ermöglichen zu können, wurde weiter

intensiv geforscht und auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse noch intensiver mit den Vertretern der Bauaufsicht, der Feuerwehren und der anderen interessierten Kreise diskutiert.

Die Ergebnisse dieser Forschungen und der aus den vielfältigen Diskussionen resultierende Stand zur Fortschreibung des Baurechts wird nachfolgend dargestellt.



Abb. 5: „Brot und Butter“ Mehrgeschossige Holzbauten unter der Hochhausgrenze in Deutschland, München – Prinz Eugen Park, Höhe bis 27m, 2019

Eines der Forschungsvorhaben war das Verbundforschungsvorhaben TIMpuls [1] der Technischen Universität München, der Technischen Universität Braunschweig, der Hochschule Magdeburg-Stendal und dem Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge. Es hatte 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 wurden die erforderlichen Grundlagen zur Fortschreibung bauaufsichtlicher Brandschutzregelungen für eine erweiterte Anwendung des mehrgeschossigen Holzbaus erarbeitet.

Den gesamten Schlussbericht des Verbundforschungsvorhabens TIMpuls [1] finden Sie unter <https://doi.org/10.14459/2022md1661419>.

2 Grundlagen I – das Abbrandverhalten von Holz

2.1 Vorbemerkungen

Das Holz brennt, ist eines der Ur-Erkenntnisse der Menschheit. Das Brennen und der Abbrand folgen sehr gut beschreibbaren Gesetzen und das Holz kann vor dem unmittelbaren Mitbrennen durch Bekleidungen geschützt werden. Beide Fälle, also geschützte und ungeschützte Oberflächen liegen in den mehrgeschossigen Holzbauweisen vor. Ungeschützte Oberflächen tragen allerdings zur Brandentwicklung bei, was im Gesamtkontext zu beachten ist. Nachfolgend werden die Gesetzmäßigkeiten zum Abbrand dargestellt, die Besonderheiten bei verklebten Bauprodukten wie Brettsperrholz dargestellt und auf die neue, angepasste Betrachtung der Schutzzeiten von Bekleidungen hingewiesen.

2.2 Abbrandverhalten von Holz

Mit dem Baustoff Holz sind alle gewünschten Feuerwiderstandsdauern durch Dimensionierung erreichbar. Die maßgebende Größe für die Bestimmung ist der Abbrand. Holz bildet unter Brandeinwirkung eine Holzkohleschicht, die sich wie eine Schutzschicht verhält. Der Verkohlungsbereich verzögert den Abbrand des Restquerschnitts, weil dieser die thermische Zersetzung nach innen langsamer fortschreiten lässt. Dies liegt u. a. an der geringen Wärmeleitfähigkeit der Holzkohle und des Holzes. Normativ wird die Grenztemperatur zwischen Holzkohleschicht und nicht verbranntem Querschnitt (Abbrandgrenze) durch die DIN EN 1995-1-2 [2] mit 300 °C festgelegt. Als Abbrandgrenze wird dabei der Bereich benannt, der keine Verkohlung mehr aufweist, jedoch braun verfärbt ist, vgl. **Abb. 6**. [3]. Die wesentliche Kenngrößen bei der normativen Bemessung der Tragfähigkeit von brandbeanspruchten Holzbauteilen ist die Abbrandrate. Als Abbrandrate β wird die Geschwindigkeit der Umwandlung von Holz zu Holzkohle bezeichnet. Aus der Abbrandrate lässt sich unter Beachtung der auftretenden Abbrandphasen der verbleibende Restquerschnitt zu jeder Branddauer bestimmen.

Der normative Bemessungsansatz der DIN EN 1995-1-2 [2] für Vollholz entspricht einer konstanten Abbrandrate, die je nach Beanspruchungsszenario und

Holzart zwischen 0,65 und 0,8 mm/min liegt. Dieses Modell kann für Vollholz, Brettstapelbauteile und üblicherweise auch für Brettschichtholz herangezogen werden.

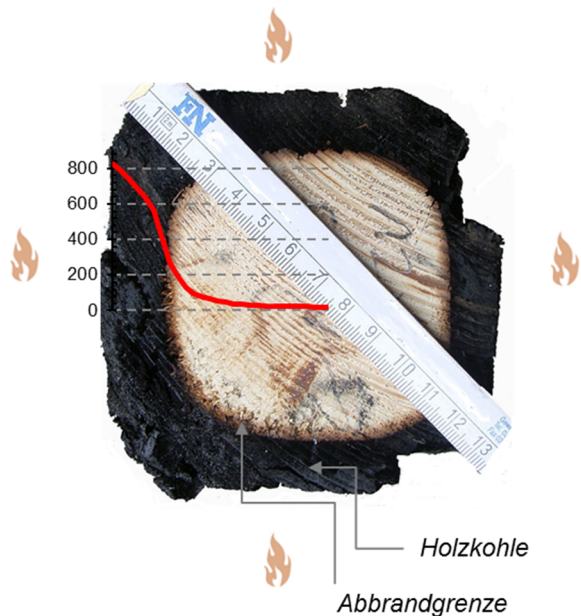


Abb. 6: Darstellung der Abbrandgrenze mit zugehörigem Temperaturgradienten

Das Abbrandmodell von Brettsperrholz kann dagegen von dem zuvor beschriebenen linearen Ansatz abweichen und durch produktspezifische Eigenschaften und die Einbaubedingungen beeinflusst werden. Brettsperrholz besteht aus mehreren kreuzweise flach miteinander verklebten Brettlagen. Anders als bei liegend eingebautem Brettschichtholz und Vollholz liegen die Klebefugen parallel zum Abbrand und folglich parallel zur Ausbildung der Kohleschicht, vgl. **Abb. 7**.

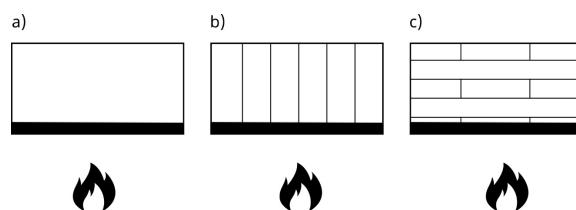


Abb. 7: Darstellung des jeweiligen Abbrandes von a) Vollholz, b) Brettschichtholz, liegend, c) Brettsperrholz mit Ausbildung einer Holzkohleschicht (schwarz)

Das thermische Verhalten der Flächenverklebung, die Abmessung der Brettlamellen, der Aufbau der Elemente, die unterschiedlichen Schwindmaße sowie die Ausrichtung der Bauteile bestimmen das Abbrandverhalten des Brettspertholzes. Eine allgemeingültige Anwendung des bekannten Konzepts einer konstanten Abbrandrate ist damit nicht grundsätzlich gegeben und nur für Brettspertholz möglich, bei dem das thermische Verhalten der Flächenverklebung äquivalent zu Vollholz bewertet werden kann. [4]

Hintergrund sind Erkenntnisse aus Brandversuchen, die zeigen, dass verkohlende Brettlamellen abfallen können und damit die schützende Funktion der Holzkohle („Schutzschicht“) für den dahinterliegenden Querschnitt verloren geht (**Abb. 8**). Dies führt so lange zu einer erhöhten Abbrandrate (Phase 3 nach **Abb. 8b**), bis wieder eine ausreichend dicke Holzkohleschicht (25 mm) gebildet ist [2]. Ein wesentlicher Grund für ein Abfallen der schützenden Holzkohleschichten ist die eingeschränkte thermische Beständigkeit der Flächenverklebung zwischen den einzelnen Brettlamellen im Brandfall. Aufgrund der Bauteilorientierung und der Schwerkraft ist dieses Abfallverhalten bei Brettspertholz-Deckenbauteilen ausgeprägter als bei Brettspertholz-Wänden mit gleicher Konfiguration. [4]

Diesem Verhalten wird über einen Bemessungsansatz (Stufenmodell) Rechnung getragen. **Abb. 8** stellt den linearen Ansatz bzw. das Stufenmodell dar. Hier wird entweder auf eine lineare Abbrandrate (**Abb. 8a**) oder auf einen stufenförmigen Abbrand (**Abb. 8b**), der die erhöhte Abbrandrate direkt nach dem Abfallen der Holzkohleschicht einer Brettlamelle berücksichtigt, zurückgegriffen. Im letztgenannten Fall kombiniert das Stufenmodell [5] einen Bemessungswert der Abbrandrate von $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$ (Normalwert) mit einem Erhöhungsfaktor, um nach dem Abfallen der verkohlten Brettlamelle die beschleunigte Abbrandrate bis zum erneuten Erreichen einer Dicke der Holzkohleschicht von 25 mm abzubilden (Phase 3 nach **Abb. 8b**). Anschließend verlangsamt sich die Abbrandrate bis zum Erreichen der nächsten Klebstoffuge wieder auf den Normalwert. Für Brettspertholz-Decken resultiert in der Phase des erhöhten Abbrands eine Abbrandrate von $1,3 \text{ mm/min}$. Für Brettspertholz-Wände, bei denen es zum Abfallen von verkohlenden Schichten kommt,

liegt im Stufenmodell in der Phase des erhöhten Abbrands eine Abbrandrate von $0,85 \text{ mm/min}$ vor. [4], [6]

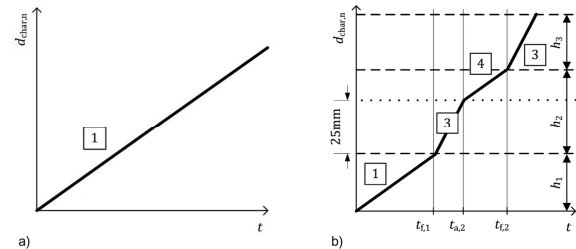


Abb. 8: Phasen des Abbrands (d = Abbrand, t = Zeit) für ungeschützte Brettspertholzbauteile, wenn a) die Klebefuge keinen Einfluss auf das Abbrandverhalten hat, b) die Klebefuge einen Einfluss auf das Abbrandverhalten hat. Phase 1 = normaler Abbrand, Phase 3 = erhöhter Abbrand, Phase 4 = konsolidierter Abbrand nachdem die Holzkohleschicht eine Dicke von 25 mm erreicht hat [4]

Je nach verwendetem Produkt und entsprechend der technischen Spezifikationen und Nachweise für das Produkt (abZ, aBG, DoP/ETA) erfolgt die Bemessung des Abbrands bei Brettspertholz damit entweder äquivalent zu Vollholz oder als lagenartiges zusammengesetztes Holzbauteil, sofern im Brandfall ein Abfallen der verkohlenden Brettlamellen zu erwarten ist.

3 Grundlagen II – Schutzwirkung von Brandschutzbekleidungen

3.1 Vorbemerkungen

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 Holzbauteilen oder schließt sogar die Beteiligung der Holzbauteile am Brandgeschehen aus. Üblicherweise werden hierzu nichtbrennbare Plattenwerkstoffe, wie Gipskarton-, Gipsfaser-, Kalziumsilikat-, - oder Lehmboaplatten als Bekleidungen eingesetzt. Je nach Anwendungsbe- reich oder Quelle werden bisher in der Praxis zur Benennung entsprechender Bekleidungen unter-

schiedliche Begriffe genutzt, was auf die bisher unterschiedlichen Schutzziele oder die Unschärfen im Sprachgebrauch der Anwender zurück zu führen ist. So finden sich unter anderem Begriffe, wie Brandschutzbekleidung, brandschutztechnisch wirksame Bekleidung, Kapselbekleidung oder Schutzbekleidung. 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 Bekleidungs-systeme 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 [7] wird weiterhin in Schutzbekleidungen nach DIN EN 1995-1-2 [2] unterschieden. Beide Arten von Bekleidungen werden nachfolgend hinsichtlich ihrer Eigenschaften beschrieben.

3.2 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. K₂30 (30 Minuten) oder K₂60 (60 Minuten) nach DIN EN 13501-2 [7] auf Basis einer Prüfung nach DIN EN 14135 [8]. 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. **Abb. 9**. Für die

meistverwendeten Bekleidungen aus Gipskartonfeuerschutz- und Gipsfaserplatten resultieren auf dieser Basis für die Klasse K₂30 typischerweise Bekleidungs-dicken von 18 mm und für K₂60 typischerweise Bekleidungs-dicken von 2 × 18 mm, vgl. MHolzBauRL [9]. Wesentlich für die Erreichung der Schutzzeiten ist eine adäquate Befestigung.

3.3 Schutzbekleidungen im Sinn der DIN EN 1995-1-2

Mit diesen Bekleidungen wird das globale Ziel verfolgt, einen positiven Beitrag zum Feuerwiderstand des Holzbauteils zu leisten. Die Schutzwirkung der Bekleidung wird 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 [2] entnommen werden. Produktspezifisch lassen sich entsprechende Kennwerte auf Basis einer Prüfung nach DIN EN 13381-7 [10] ableiten. Auf Basis der nächsten Generation der prEN 1995-1-2 [5] werden neben den Schutzzeiten t_{ch} für Gipsplatten auch Kennwerte für Lehmbauplatten und 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. **Abb. 10**. In der praktischen Anwendung zeigt sich, dass mit einer Bekleidung aus 2 × 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 [9] geforderte einlagige 18 mm dicke Bekleidung auf Massivholzelementen eine rechnerische Schutzzeit nach [2] von mehr als 36 Minuten.

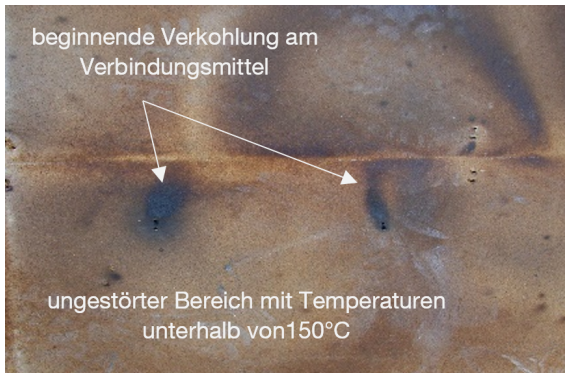


Abb. 9: Verfärbungs- und Verkohlungsbild im normativen Brandversuch auf der Trägerplatte

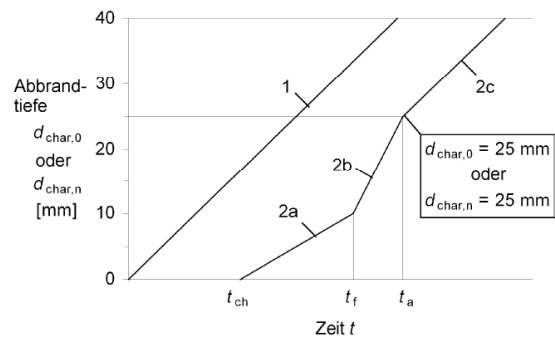


Abb. 10: Abbrandmodell [2] mit 1 = Abbrand ungeschütztes Bauteil, t_{ch} = Schutzzeit der Bekleidung, 2a = verminderter Abbrand bis zum Zeitpunkt t_f auf Grund der teilweise noch vorhandenen Teile der Bekleidung, 2b = kurzzeitig erhöhter Abbrand, 2c = „normaler“ Abbrand wie ungeschütztes Bauteil

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

Auch wenn für beide Arten von Bekleidungen unterschiedliche spezifische Schutzziele definiert sind, 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. **Abb. 11** und **Abb. 12**.

Ergänzend zu brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen „K“ können somit auch Schutzbekleidungen aus dem Anwendungsbereich der DIN EN 1995-1-2 [2] 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]

Tab. 1: Vergleich der Schutzwirkungen von Bekleidungen nach DIN EN 1995-1-2 und DIN EN 13501-2

Beurteilungskriterium	Brandschutztechnisch wirksame Bekleidung nach DIN EN 13501-2	Schutzbekleidung nach DIN EN 1995-1-2
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
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

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 [1]) 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. **Abb. 13**. Hierbei wurde exemplarisch die im Forschungsprojekt genutzte Naturbrandkurve 1 in Bezug genommen. Diese Kennwerte lassen sich wiederum in Bezug zu den Eingriffszeiten der Feuerwehr setzen und erlauben so eine leistungsbezogene Bemessung der Bekleidung.



Abb. 11: Verbindungsmittel nach Entfernen der Brandschutzbekleidung, Versuch V0 aus TIMpuls



Abb. 12: Verfärbungen an den Befestigungspunkten am Ständer einer Holztafelbauwand, Versuch V4 aus TIMpuls

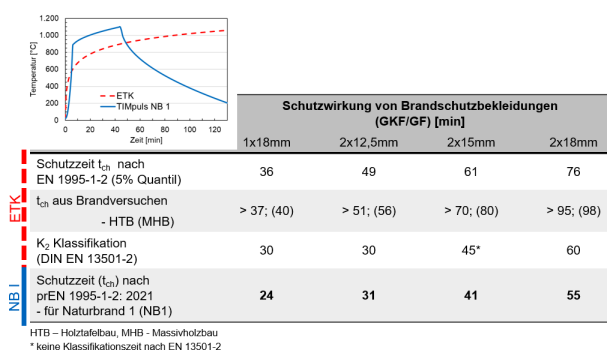


Abb. 13: Schutzwirkung von Gipsbekleidungen bei verschiedenen Brandszenarien

4 Grundlagen III – 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 (Brandlast aus der Konstruktion) 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 mehrere Versuchsreihen durchgeführt.

Ein Beispiel hierfür sind die in Braunschweig realisierten mittelmaßstäblichen Brandversuche im Room Corner-Versuchsstand nach ISO 9705-1 [11]. Aus den durchgeführten Room Corner Versuchen ist ersichtlich, dass ein Vorhandensein von immobiler Brandlast eine Änderung der Brandraumdynamik bei sonst ausschließlich mobiler Brandlast (Brandlast aus Einrichtung und Ausstattung z.B. Schrank, Bücher etc.) zur Folge hat. [1], [12]

Mit den experimentellen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich durch die immobile Brandlast eine kürzere Brandentwicklungsdauer bis zum Eintritt des Flashovers und eine Steigerung der Wärmefreisetzungsrate ergibt. Zudem kann durch die zusätzliche immobile Brandlast früher ein ventilationsgesteuertes Brandregime im Brandverlauf erreicht werden, was wiederum eine geringere maximale Wärmefreisetzungsrate aber eine längere Branddauer im Brandraum zur Folge hat. Die immobile 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], [12]

In der TIMpuls Versuchsreihe konnte jedoch 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], [12]

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde im Rahmen der fünf abschließenden Realbrandversuche (Belegversuche) der Einfluss der immobilen Brandlast auf die Brandraumdynamik im Raum weiter untersucht. Die Versuche wurden mit einer sehr hohen, mobilen Brandlastdichte (1085 MJ/m^2 / 90%-Quantil gemäß [13]) durchgeführt. Während der erste Versuch in ei-

nem vollständig gekapselten (nicht brennbaren äquivalent Stahlbeton, Mauerwerk) Raum durchgeführt wurde, wurde die Menge der freiliegenden Holzflächen anschließend vergrößert [1], [14], [15]. Einen Überblick über die Versuchskonfigurationen gibt

Tab. 2.

Tab. 2: Versuchsübersicht der abschließenden Realbrandversuchsreihe (Belegversuche TIMpuls)

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 m²			40,5 m²	
Öffnungsgröße (B x H)	2,4 m x 2,2 m			4,2 m x 2,2 m	
Öffnungsfaktor	0,094 m ²				
Brandlastdichte	1085 MJ/m ²				
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 GF	140 mm HTB 2x18 mm GF
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 – Brettspertholz; HTB – Holztafelbau mit Steinwolle gedämmt; BSH – Brettschichtholz; GKF – Gipskartonfeuerschutzplatte; GF – Gipsfaserplatte; Stütze – 300x300 mm² BSH; Unterzug – 300x200 mm² 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 ($\Delta T < 150 \text{ K}$), vgl. **Abb. 10**. 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], [14], [15]:

- 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 $1.200 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 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], [14], [15]. Auch bei einer Reduktion der mobilen Brandlast würde ein entsprechender Einfluss der Holzoberflächen deutlich mehr hervortreten.

- Bei der Abkühlphase der Realbrandversuche 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], [14], [15]

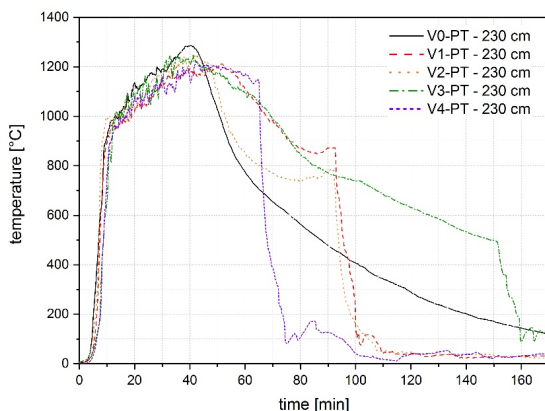


Abb. 14: Darstellung der Temperaturen im Brandraum gemessen an einem Plate-Thermoelement in 230 cm Höhe [16]

Ein weiteres Ziel der TIMpuls Studie war die Untersuchung der Veränderung der Brandeinwirkung durch ungeschützte Holzoberflächen oder nur anfänglich geschützte Holzbauteile auf die Fassade. [16]

Grundlage für die Untersuchung stellen ebenfalls die fünf Realbrandversuche dar [14], [15], [16]. 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 Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Fassade untersucht, siehe auszugsweise **Abb. 15** und **Abb. 16**.

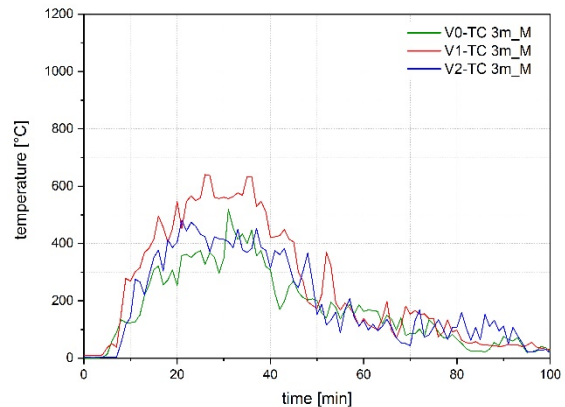


Abb. 15: Temperaturen an der Fassade 3 m über Sturz der Öffnung für Versuche V0, V1, V2 [16]

In der Wachstumsphase (Brandentwicklung bis Vollbrand Peak) 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 (immobiler Brandlast). [16]

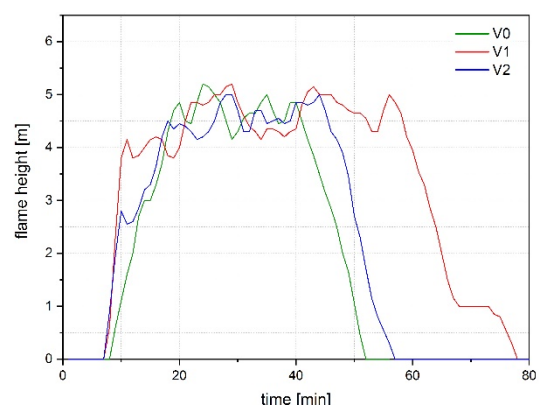


Abb. 16: Flammenhöhen an der Fassade über Sturz der Öffnung für Versuche V0, V1, V2 [16]

Die vorgenannten geringen Unterschiede der Temperaturen an der Fassade in der Vollbrandphase bei zusätzlicher immobiler Brandlast lassen sich im Vergleich zum Raum mit vollständig geschützter Oberfläche mit ca. 120 - 200 °C benennen, vgl. **Abb. 15**. Eine freiliegende Holzmassivdecke hat hier augenscheinlich 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. [16]

Es gibt keinen signifikanten Unterschied in der Flammenhöhe zwischen den Versuchen. Aufgrund der zusätzlichen immobilen Brandlast verlängert sich der Brandverlauf jedoch zeitlich. Der verlängerte Brand verursacht länger anhaltend höhere Flammen an der Fassade, vgl. **Abb. 16**. [16]

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 [16], [17]. 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. [16]

Darüber hinaus stützen die Ergebnisse der Strömungsmessungen an der Fassade die Hypothese, dass die Gasgeschwindigkeiten mit zunehmender immobiler Brandlast ansteigen. [16]

Insgesamt zeigt sich, dass die national und international vorliegenden Erkenntnisse aus Realbrandversuchen derzeit noch nicht ausreichen, um den Einfluss der immobilen Brandlast auf das Brandgeschehen im Raum und 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. Ablesbar ist jedoch, dass je

mehr mobile Brandlast vorhanden ist, desto geringer wird der Einfluss der baulichen Brandlast in der Brandentwicklungs- und Vollbrandphase. [16]

5 Grundsätzliche Anwendbarkeit von Decken und Wänden in Holztafelbauweise in der Gebäudeklasse 5 unterhalb der Hochhausgrenze

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-HFH-HolzR [18] bzw. die der MHolzBauRL [9] adaptiv für die Gebäudeklasse 5 bis zur Hochhausgrenze in gleicher Weise übernommen werden.

Holztafelbauwände und -decken sind gemäß MHolzBauRL [9] mit mineralischer, nichtbrennbarer formstabiler Dämmung (Schmelzpunkt $\geq 1000^\circ\text{C}$) mit Übermaß voll ausgedämmt herzustellen, vgl. **Abb. 17**. Die raumseitig aufgebraute brandschutztechnisch wirksame Bekleidung mit der Klassifizierung K₂60 verhindert eine Brandbeanspruchung der Holzkonstruktion von mindestens 60 Minuten. Bezüglich der flächigen Schutzwirkung werden bei entsprechender Ausführung der Brandschutzbekleidungen aus 2 x 18 mm Gipskartonfeuerschutz- oder Gipsfaserplatten jedoch sogar Überkapazitäten der Schutzzeiten (t_{ch}) bei ETK-Normbrandbeanspruchung, mit bis zu 90 Minuten erreicht, vgl. **Abb. 13**. 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. **Abb. 18.** [1]



Abb. 17: Holztafelbauwand Steinwolldämmstoff im Gefach – vor dem Aufbringen der Bekleidung



Abb. 18: Schutzwirkung der Steinwolldämmung für die Gefache, V2 aus TIMpuls

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 Massivholzbauteile nach wie vor gering, da die geringe Dicke der Holzwerkstoffplatten nur einen zeitlich sehr begrenzten Beitrag zur Wärmefreisetzung liefert. [1]

Basierend auf den durchgeführten Versuchen [1] war ebenso ersichtlich, dass Anschlüsse im Holztafelbau und Massivholzanschlüsse prinzipiell als gleichwertig angesehen werden können. Entsprechend brandschutztechnisch sichere Anschlüsse können somit auch für den Holztafelbau erreicht werden.

6 Verifizierung von 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 [19] oder aus dem Projekt HolzbauRLBW [20] wurden in den TIMpuls Versuchen entsprechende Bauteilanschlüsse und Elementfüugungen integriert. Infolgedessen konnte die entwickelte und bisher unter ETK-Beanspruchung untersuchte Systematik [21] auch unter Realbrandbeanspruchungen hinsichtlich ihrer Gültigkeit überprüft werden.

In **Abb. 19**, **Abb. 20** und **Abb. 21** ist eine Auswahl von Wand-Decken-Anschlüsse aus den Belegversuchen dargestellt. Es wird immer die geplante Ausführung und das dokumentierte Endresultat beim Rückbau gezeigt.

Bei den Realbrandversuchen konnte kein Versagen, der nach den bekannten Konstruktionsregeln [19], [29], [21] 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.

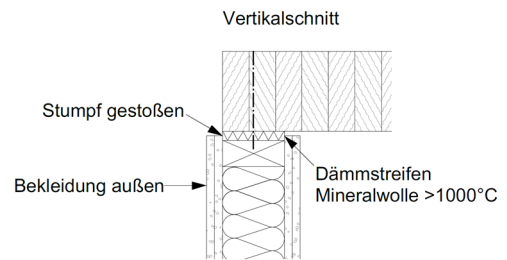


Abb. 20: Bauteilanschluss Decke-Wand 3, V4 aus TIMpuls

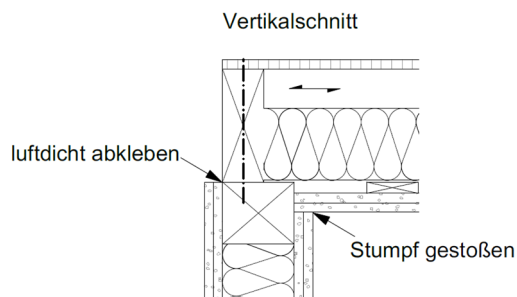


Abb. 19: Bauteilanschluss Decke-Wand 4, V2 aus TIMpuls

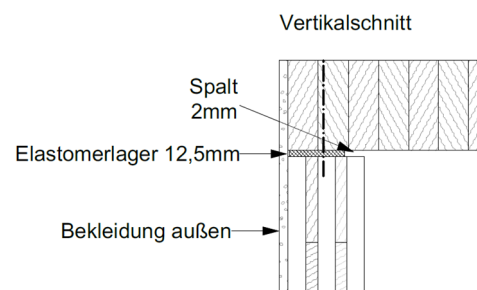


Abb. 21: Bauteilanschluss Decke-Wand 3, V4 aus TIMpuls

Die zur Verfügung stehenden Anschlussprinzipien der MHolzBauRL [9] sind aktuell noch sehr begrenzt. So ist beispielweise kein Prinzip für die Ausbildung eines Schallschuttlagers (Elastomer) im Wand-Decken-Anschluss dargestellt. Das Informationsdienst Holz Heft „Leitdetails für Bauteilanschlüsse in den Gebäudeklassen 4 und 5 Holz“ [21] bietet für abweichende Anschlüsse eine gute Orientierungshilfe für brandschutztechnisch sichere Prinzipien. Zu beachten bleibt jedoch der Abschnitt 3.1 MHolzBauRL(2020) „Soweit Anschlüsse nicht in dieser Richtlinie beschrieben sind, bedarf es eines Anwendbarkeitsnachweises gemäß § 16a MBO“. [9] Der Weg über vorhabenbezogene Bauartgenehmigungen ist daher so lange anzuwenden, bis neue technische Baubestimmungen hierfür vorliegen, siehe nachfolgende Kapitel.

7 Holzfassaden – Weiterentwicklungen

Zwar nicht im Rahmen von TIMpuls aber in anderen Vorhaben und Studienarbeiten wurden weitere Erkenntnisse zu brandsicheren Fassaden aus Holz gewonnen. Im Grundsatz bleiben bis auf wenige Modifikationen die Grundregeln auch in der neuen MHolzBauR bestehen, siehe nachstehend, einige Sonderfragen tauchen aber immer wieder auf.

Im Rahmen der Planungen von diversen Bauvorhaben und den daraus resultierenden Anfragen zeigte sich, dass die Kombination von Regenfallrohren und den horizontalen Brandsperren aktuell nicht abschließend geklärt ist, vgl. **Abb. 22**. Der Einbau eines brennbaren Regenfallrohrs (z.B. Polyethylen) oder beispielsweise eines Kupfer- oder Aluminium-Regenfallrohrs innerhalb der Brandsperre stellt keine brandschutztechnisch sichere Lösung dar.

Als brandschutztechnisch sichere Lösung wird angesehen:

- Regenfallrohr aus Stahlblech mit einem Blechdurchmesser $\geq 1,5$ mm
- Abstand des Regenfallrohrs und der Durchführung von ≥ 50 mm zur Holzschalung
- Ringspalt zwischen Regenfallrohr und Brandsperre ≤ 2 mm

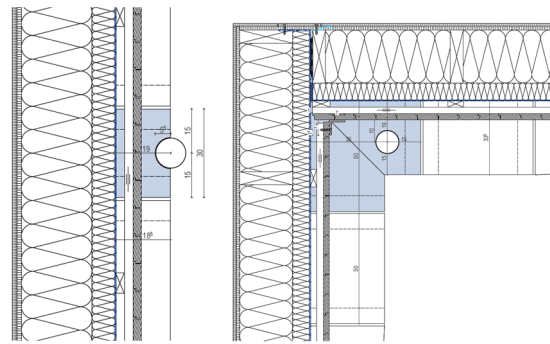


Abb. 22: Horizontalschnitt mit Verlauf eines Regenfallrohrs durch eine horizontale Brandsperre entlang des Gebäudes und in der Innenecke

Holzfassade - Brandsperre - Aluminium

Ein weiterer immer wieder auftretender Punkt ist die Ausführung von Brandsperren oder Fassadenkonstruktionen wie Rollschienen oder Befestigungen von Fassaden aus Aluminium. Aluminium besitzt einen Schmelzpunkt von ca. 660°C und ist daher kein geeigneter Baustoff für Brandsperren. Auch die Verwendung von Aluminium-Rollschienen für Teile der Holzfassade oder von Aluminium-Befestigungselementen für Holzfassade können durch das frühzeitige Herabfallen von Fassadenteilen im Brandfall zu brandschutztechnisch kritischen Ereignissen führen. Aluminium sollte daher im Bereich von Holzfassaden nicht für maßgebende baukonstruktive Maßnahmen herangezogen werden.

8 Fortschreibung der MusterHolzbauRichtlinie (MHolzBauR)

8.1 Grundlagen und Verfahren der Fortschreibung

Die oben beschriebenen Untersuchungen bilden zusammen mit den laufenden internationalen Arbeiten und normativen Fortschreibungen des Brandschutzteiles des Eurocodes 5 (DIN EN 1995-1-2) und von DIN 4102-4 (A1-Papier) die Grundlagen für die Modifikation der Muster-HolzbauRichtlinie (MHolzBauRL). Aus den Untersuchungen im Verbundforschungsvorhaben TIMpuls [1] wird ersichtlich, dass ein brandschutztechnisch sicheres Bauen mit Holz bis zur Hochhausgrenze möglich ist und die bisherigen Regelungen der MHolzBauRL [9] in Teilbereichen unter

Berücksichtigung des Sicherheitsniveaus weiterentwickelt werden könnten. Darüber hinaus sei auch die »Holzbauoffensive Baden-Württemberg« genannt, die mit ihren beauftragten Forschungsvorhaben zur Entwicklung einer Richtlinie für Konstruktionen in Holzbauweise, insbesondere [20] und [21], großen Input liefern konnte.

Eine der wesentlichen Empfehlungen ist, dass die Holztafelbauweise für das mehrgeschossige Bauen mit Holz bis zur Hochhausgrenze geeignet ist. Ebenso kann bestätigt werden, dass brandschutztechnisch sichere Anschlüsse, die bisher unter ETK-Normbrand hinsichtlich der Brandausbreitung (Feuer und Rauch) bewertet wurden auch unter Realbrandbedingungen voll funktionsfähig sind.

Nachdem Im Herbst 2019 die MBO 2002 erneut in Bezug auf die Verwendung brennbarer Baustoffe erweitert wurde, erfolgte die bauordnungsrechtliche Öffnung für den Holzbau in die Gebäudeklasse 5 bis zur Hochhausgrenze (bis 22 Meter bzw. rund acht Geschosse). Nahezu gleichzeitig wurde eine dahingehend erweiterte »Holzbaurichtlinie«, jetzt MHolzBauRL [9], veröffentlicht. Diese enthielt insbesondere die Konkretisierung von Bauteilen, die anstelle der feuerbeständigen Bauweise, auch unter Verwendung von brennbaren Baustoffen in den wesentlichen Bestandteilen zum Einsatz kommen dürfen. Dabei wurde für abweichend feuerbeständige Bauteile als einzige Bauweise die Massivholzbauweise (Brettsperrholz oder Brettschichtholz) zugelassen.

Um die neuen Erkenntnisse in eine Überarbeitung einfließen zu lassen, wurde Anfang 2021 im Auftrag der Bauministerkonferenz eine »Projektgruppe MHolzBauRL« (PG MHolzBauRL) ins Leben gerufen. Als Ergebnis ihrer Richtlinienarbeit hat diese 2023 den jetzt vorliegenden Entwurf veröffentlicht. Die überarbeitete Richtlinie wurde im Mai 2024 an den Auftraggeber übergeben. Zum Zeitpunkt des Entstehens dieser Veröffentlichung laufen letzte Abstimmungen, anschließend soll das Europäische Notifizierungsverfahren eingeleitet werden. Ab Herbst 2024 könnte die Richtlinie seitens des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) veröffentlicht und als Muster den Bundesländern zur Verfügung gestellt. Wie schnell dann die einzelnen Bundesländer

die Richtlinie umsetzen, wird unterschiedlich sein. Grundsätzlich erfolgt die Einführung in jedem Bundesland durch die jeweiligen Technischen Baubestimmungen, die üblicherweise einmal jährlich veröffentlicht werden. Es ist vorstellbar, dass unabhängig davon Bauvorhaben bereits nach der neuen Richtlinie im Rahmen von Abweichungsanträgen geplant und ausgeführt werden können. Auch ist eine Vorablegitimierung im Rahmen von Vollzugshinweisen (wie z.B. in Bayern bereits 2021 im Zuge der MHolzBauRL 2020 vorgenommen) denkbar, bis dann über die Technischen Baubestimmung die endgültige Einführung erfolgt.

8.2 Fortgeschriebene Inhalte der Richtlinie

Die fortgeschriebene Richtlinie bietet nun vollständige Regelungen für den Umgang mit dem brennbaren Baustoff Holz bis zur Hochhausgrenze, also in der Regel bis zu acht Geschossen an. Dies gilt neu nun vollumfänglich für den Holztafelbau und wie schon in der Vorgängerversion für die verschiedenen Massivholzbauweisen. An vielen Stellen sollte damit das »Holzbauerleben« deutlich leichter gemacht werden.

Neben dem reinen Neubau können mit der Holzbaurichtlinie Aufstockungen zur Nachverdichtung und Holzaußenwandbekleidungen auf Außenwandbauteilen zur energetischen Sanierung realisiert werden, auch auf mineralischen Außenwänden. Die nun weit aus umfangreichere Anwendbarkeit dieses Regelwerks lässt sich bereits am Inhaltsverzeichnis und der Beschreibung des Anwendungsbereiches erkennen.

Sonderbauten sind grundsätzlich nicht mehr ausgeschlossen. Ausgenommen werden nach derzeitigem Stand im Anwendungsbereich nur Gebäude mit Räumen oder Raumgruppen über 400 m² sowie Nutzungen, bei denen sich bestimmungsgemäß Personen mit eingeschränkter Selbstrettungsfähigkeit aufhalten (z.B. Schulen, Kindergärten, Pflegeeinheiten, etc.). Hier ist die Richtlinie zunächst nicht anwendbar, gut begründbare Ausnahmefälle sind aber durchaus im Rahmen von Brandschutznachweisen mit entsprechenden Abweichungsanträgen (materielle Abweichung nach § 67 MBO) denkbar und somit grundsätzlich nicht ausgeschlossen.

Neben den technischen Beschreibungen für die beiden Holzbauweisen Holztafelbau und Massivholzbau wurden erweiterte Regelungen für die Anordnung von Installationen aufgenommen.

Um ressourcenschonende und wirtschaftliche Konstruktionen zu ermöglichen, wurden Regelungen für reduzierte Brandschutzbekleidungen, insbesondere für die Holztafelbauweise aufgenommen. Dies bedeutet, dass der Holztafelbau unter definierten Rahmenbedingungen in der Gebäudeklasse 4 anstelle der bisher ausschließlich bekannten 2 x 18 mm mineralischen Gipsbekleidungen (Gipskartonfeuerschutz- und Gipsfaserplatten) jetzt auch reduziert mit 2 x 15 mm Gips- bzw. mit einer Holzwerkstoffplatte und einer Gipsplatte mit 1 x 18 mm auskommt. In der Gebäudeklasse 5 ist für den Holztafelbau eine Bekleidung mit 2 x 18 mm erforderlich.

Die Reduktion wurde durch die oben beschriebene Umstellung auf ein alternatives t_{ch} -Verfahren ermöglicht. Dadurch können vor allem vorhandene und bisher nicht genutzte Leistungsreserven bei den Gipsbekleidungen genutzt werden. Gleichzeitig bietet das t_{ch} -Verfahren die Möglichkeit, alternative Bekleidungswerkstoffe für die Holzbauweisen anwendbar zu machen. Die Umstellung der Beurteilung von einer K_2 -Leistung auf eine t_{ch} -Leistung kommt insbesondere dem ökologischen und nachhaltigen Bauen zugute. Hier ist zum Beispiel die künftige Möglichkeit der Beurteilung von Lehmbauplatten als Brandschutzbekleidung zu nennen. Auch andere, ggf. neuartige Bau- und Werkstoffe sind für eine Brandschutzbekleidung denkbar.

Für die Verwendung biogener Dämmstoffe in tragenden und/oder raumabschließenden Bauteilen nach der Richtlinie konnte noch keine Lösung gefunden werden. Auch wenn dazu in Baden-Württemberg bereits eine eingeschränkte Anwendung möglich ist, war auf Grund der negativen Erfahrungen aus Brandereignissen, insbesondere hinsichtlich der Löschbarkeit solcher Konstruktionen eine generelle Öffnung innerhalb der Richtlinienarbeit noch nicht möglich. Hier müssen weitere Erkenntnisse und Konstruktionsregelungen zum Umgang mit dieser Art der Dämmstoffe erarbeitet werden. Bei Vorliegen entsprechender Erkenntnisse besteht Konsens zu einer

weiteren Fortschreibung der MHolzBauRL, die diese Bauweisen zukünftig beinhalten kann.

Grundsätzlich ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass der Einsatz von biogenen bzw. normalentflammbaren Dämmstoffen in nichttragenden Außenwänden und Dachkonstruktionen (REI30 oder REI 0 bzw. F30-B oder ohne brandschutztechnische Anforderungen) bauordnungsrechtlich nicht ausgeschlossen ist! Durch intelligentes Planen kann der Einsatz biogener Dämmstoffe für Gebäude bis zur Hochhausgrenze abweichungsfrei zulässig sein. Der Ausschluss beschränkt sich lediglich auf die durch die Holzbaurichtlinie geregelten Bauteile, die tragend und/oder raumabschließend hochfeuerhemmend, abweichend zu hochfeuerhemmend oder abweichend feuerbeständig sein müssen. Nichttragende Außenwände sind beispielsweise von der Richtlinie nicht erfasst, ihr Feuerwiderstand muss nur 30 Minuten betragen und sie dürfen aus brennbaren Baustoffen sein (§28 (2), MBO 2022).

Die bereits seit der MHolzBauRL Fassung 2020 bewährten Regelungen zum Umgang mit brennbaren Bauteiloberflächen bleiben unverändert: In Nutzungseinheiten bzw. brandschutztechnisch abgetrennten Räumen oder Raumgruppen bis 200 m² dürfen Deckenuntersichten oder 25% aller Wandoberflächen holzsichtig bleiben. Sowohl die quantifizierbaren Auswirkungen dieser zusätzlichen immobilen Brandlasten auf die Brandausbreitungsgeschwindigkeiten als auch der negative Einfluss auf die Fassade über dem Brandgeschoss haben eine weitere Öffnung auf Basis des derzeitigen Wissensstandes nicht erlaubt.

Bezüglich der Ausbildung von Außenwandbekleidungen in Holz bis zur Hochhausgrenze wurden kleinere Konkretisierungen und Anpassungen vorgenommen. Zum Beispiel wurden Korrekturen bei Brettdicken (Zollschalung) oder der Tiefe der Hinterlüftungsebene vorgenommen. Damit stimmen die Regelungen der Holzbaurichtlinie nun auch mit den Fachregeln des Zimmererhandwerks überein.

Die Anforderungen an die geschossweise Unterbrechung der brennbaren Außenwandbekleidung bleiben unverändert. Neu hinzugekommen ist die Forderung, dass bei hohen, fensterlosen Gebäuden

(z.B. Kletterhallen), ein maximaler Abstand zwischen Brandsperren von 4 Meter eingehalten werden muss. Darüber hinaus wurden weitere Planungsgrundsätze, wie zum Beispiel die Regelung der Integration von Regenfallrohren mit aufgenommen, s.o.

Ein letzter Punkt in diesem Regelungsabschnitt ist die Konkretisierung der direkten Erreichbarkeit von Außenwandbekleidungen aus Holz für die Brandbekämpfung. Damit wird die Möglichkeit geschaffen, bei «niedrigeren» Mehrgeschossern (Gebäudeklasse 4) auch eine bodengestützte Brandbekämpfung zu ermöglichen. Das bringt den Verzicht auf notwendige Zufahrten und Bewegungsflächen für Einsatzfahrzeuge, z.B. für rückwärtige Gebäudeseiten, mit sich. Ergänzende Unterlagen wurden hierzu bereits durch die Vertreter der Feuerwehren (AGBF, DFV) [26] erarbeitet.

Als große Weiterentwicklung kann die Aufnahme von systematischen Regelungen zu Fügungen und Anschlüssen in dieser Richtlinie gewertet werden. Hier konnte das vorherige System, bestehend aus Prinzipskizzen für einzelne wenige Anschlüsse, auf allgemeingültige Konstruktionsregeln, mit denen nun jegliche Fügungen und Anschlüsse abbildbar sind, abgeändert werden. Die Veröffentlichung des INFORMATIONSDIENST HOLZ «Leitdetails für Bauteilanschlüsse in den Gebäudeklassen 4 und 5» [21] ist als zu Grunde liegendes Leitdokument zu verstehen.

Die Richtlinie bietet nun für die Bauarten des mehrgeschossigen Holzbaus ein vollständiges «Baukastensystem», welches grundsätzlich ermöglichen sollte, die unzähligen Einzelnachweise im Rahmen von Bauartgenehmigungen mehr oder minder auf ein Minimum zu reduzieren.

9 Leistungsnachweis von Bauteilen und brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen

Zu den neuen Anforderungen aus der MHolzBauR müssen die Regelungen auf der Nachweiseite für die Bauprodukte und Bauarten passen. Mit Einführung der MHolzBauRL im Jahr 2020 wurde seitens der Bauaufsicht angenommen, dass die Richtlinie als übergeordneter Rahmen für die Bauarten gilt und sich über

die eingeführten Technischen Baubestimmungen DIN 4102-4 [27] und DIN EN 1995-1-2 [2] aus brandschutztechnischer Sicht alle Nachweise erbringen lassen. Demzufolge wurden aus der Muster Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) sowohl die zuvor über die Zeit der M-HFHolzR genutzten Prüfzeugnisse (für hochfeuerhemmende Bauprodukte) nach Punkt C 3.21 gestrichen, als auch die «normalen» Prüfzeugnisse für Bauarten nach Punkt C 4.1 für die Bauteile im Geltungsbereich der MHolzBauRL ausgenommen. Diese Annahme war jedoch unzutreffend, für die Bauarten sind allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse auch weiterhin sinnvoll und erforderlich.

In der Praxis führt die Streichung zu erheblichen Problemen in der Nachweisführung der Bauteile. Mit einer Laufzeit von fünf Jahren sind aktuell nahezu alle Prüfzeugnisse abgelaufen und können wegen des Ausschlusses auch nicht mehr verlängert werden. Dies hat zu einer vermehrten Anwendung von vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen (vBG) und Zustimmung im Einzelfall (ZiE) geführt, welche ursprünglich als in seltenen Fällen anzuwendende Nachweisformen für innovative bzw. außergewöhnliche Bauweisen vorgesehen sind. Dieser Umstand hat zu einer hohen Belastung für die Obersten Baubehörden der Länder geführt und für erhöhten Aufwand und Verzögerungen in der Bauvorpraxis geführt. Die Obersten Bauaufsichtsbehörden waren und sind derzeit bemüht, dafür eine Lösung zu finden. Eine Änderung der M-VVTB zur Wiedereinführung der allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisse ist vorgesehen.

Grundsätzlich stellt auch die Fortschreibung der Holzbaurichtlinie, sobald sie eingeführt ist, die Grundlage für den Nachweis der Bauart nach § 85a (1) Satz 1 MBO dar (vgl. **Abb. 23**).

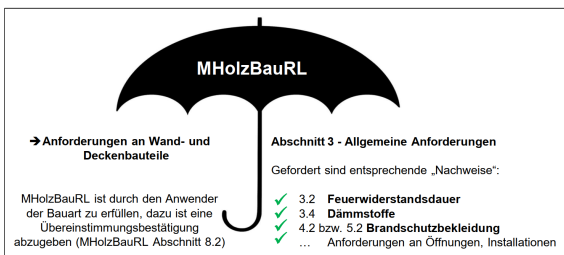


Abb. 23: Bauteilnachweis nach Technischer Baubestimmung MHOlzBauRL

Für Holzbauelemente sind die Feuerwiderstandsdauer zur Standsicherheit im Brandfall und/oder der Raumabschluss über den je nach Gebäudeklasse erforderlichen Zeitraum von 60 oder 90 Minuten sowie der ausreichende Schutzzeitraum gegen Entzündung der brennbaren Konstruktionselemente nachzuweisen.

Dies kann beispielsweise durch Bauteilaufbauten nach DIN 4102-4, nach DIN EN 1995-1-2 oder in Zukunft wieder nach abPs erfolgen. Sofern die gewählten Konstruktionen den erforderlichen Feuerwiderstand bereits mit geringeren Bekleidungsstärken im Vergleich zu den Mindestanforderungen der Bekleidungsstärken der MHOlzBauRL erreichen, ist die Bekleidungsstärke an die Mindestanforderungen der MHOlzBauRL anzupassen. Bezüglich der Bekleidungsstärken gilt also jeweils die „schärfere“ Anforderung, eine Addition ist jedoch keinesfalls erforderlich.

Neben dem Nachweis über die Technische Baubestimmung, d.h. DIN EN 1995-1-2 oder DIN 4102-4, bietet die Holzbaurichtlinie die Möglichkeit des Nachweises über § 16a bzw. §16c MBO an, siehe Abb. 24. Der Nachweis des Raumabschlusses kann unter bestimmten Randbedingungen zudem auch vereinfacht über Vorgaben nach Anhang 1 der Holzbaurichtlinie geführt werden. Lässt man den zuletzt erwähnten vereinfachten Nachweis außer Acht, stehen damit theoretisch zunächst drei Nachweisformen zur Verfügung (**Abb. 24**):

- Technische Baubestimmung – DIN EN 1995-1-2 oder DIN 4102-4
- Allgemein bauaufsichtliches Prüfzeugnis – MVV TB C 4.1 (sofern wieder zulässig)

- Leistungsnachweis über CE-gekennzeichnetes Bauprodukt

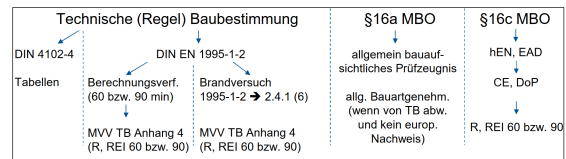


Abb. 24: Übersicht möglicher (sinnvoller) Nachweisformen zur Feuerwiderstandsdauer nach Anpassung der eingeführten Technischen Baubestimmungen in den Ländern

Allerdings stellen sich bis auf das Europäische Bauprodukt alle anderen Nachweisformen als problembehaftet dar. Während die aktuell als Technische Baubestimmung eingeführte DIN 4102-4 nur bedingt geeignete Konstruktionen erhält (wenig Varianten und nur eingeschränkte Ausnutzungsgrade bezüglich der Standsicherheit im Brandfall), sind im Eurocode 5 die rechnerischen Nachweise überwiegend auf maximal 60 Minuten begrenzt und damit für Konstruktionen zum Einsatz in der Gebäudeklasse 5 nicht brauchbar. Eine Änderung steht mit der Neufassung auf Grundlage des Forschungsvorhabens FREI-90 in Aussicht [5], [6].

Eine zusätzliche Nachweisvariante über Brandversuche wird in DIN EN 1995-1-2 Abschnitt 2.4.1 (6) aufgeführt. Diese ist aus Sicht der Autoren dieses Beitrages und anderer Experten bereits abschließend geregelt, da sie seitens MVV TB im Gegensatz zu anderen Bauweisen / Baustoffen nicht ausgeschlossen ist. Jedoch wird sie in Teilen der Obersten Bauaufsichten derzeit intensiv und kritisch diskutiert. Ein Ergebnis hierzu ist noch offen, die allgemeine Akzeptanz dieses Nachweisweges würde jedoch den Weg in Richtung Europa weiter öffnen und die aktuell bestehenden Problemstellungen, insbesondere in Kombination mit dem nachbeschriebenen Nachweisweg der Brandschutzbekleidung, vollumfänglich lösen können.

Für den Nachweis der erforderlichen Bekleidung zum Schutz vor Entzündung der brennbaren Konstruktionsbestandteile ergibt sich ein ähnliches Bild. Hier stehen ebenfalls prinzipiell drei Möglichkeiten zur Verfügung (**Abb. 25**):

- MHolzBauRL Tabellen 1 bis 5 zur Bekleidung inkl. Verbindungsmittel
- DIN EN 1995-1-2 rechnerische oder versuchstechnische Ermittlung nach DIN EN 13381-7 der Leistung t_{ch}
- DIN EN 14135 [10] versuchstechnischen Ermittlung der Leistung K_2

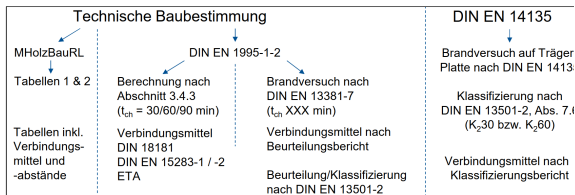


Abb. 25: Übersicht in Diskussion befindlicher Nachweisformen zur Brandschutzbekleidung

Als Herausforderung stellt sich für die Lösung über das bauaufsichtliche Prüfzeugnis die Kombination aus einer nationalen F-Klassifizierung zum Feuerwiderstand mit der europäischen Klasse zur Brandschutzbekleidung dar. Dieser Umstand spricht für einen konsequenten Wechsel auf das europäische Klassifizierungssystem für alle nachzuweisenden Leistungen.

Bezüglich des Ansatzes der früher verwendeten K_2 -Klassifizierung von Brandschutzbekleidung konnte festgestellt werden, dass diese Leistung mindestens gleichwertig zur künftigen t_{ch} -Leistung ist und deshalb bei gleicher Minutenanzahl gegen eine Anwendung kein Einwand bestehen darf ($K_2 XX$ entspricht $t_{ch} = XX \text{ min}$). Welche Nachweisformen sich schlussendlich für die Festlegung in der MVV TB ergeben werden, wird sich im Laufe der weiteren Diskussionen zeigen. Zu hoffen bleibt, dass sich die Bauaufsicht weiter den europäischen Nachweismöglichkeiten öffnet.

10 Fazit und Ausblick

Die Forschungsarbeiten und der mittlerweile dreijährige Einsatz der Projektgruppe MHolzBauRL haben sich gelohnt!

Die Fortschreibung der Richtlinie wird den mehrgeschossigen Holzbau und damit das klimagerechte Bauen wieder einen entscheidenden Schritt nach vorne bringen.

Die Richtlinie ist als Grundlage für alle «Holzbauer» anzusehen, da sie nicht nur die Lösungen für einen Neubau enthält, sondern auch die Vorgaben für Teilmaßnahmen, wie der Aufstockung von Gebäuden oder der energetischen Sanierung bietet.

Um das Paket vollständig umsetz- und anwendbar zu machen, wurden neben der reinen Richtlinienarbeit auch die tangierenden Regelwerke, wie die relevanten Teile der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen durch die Projektgruppe mit bearbeitet. Zudem erfolgt auch parallel die Überarbeitung der Technischen Baubestimmung, der DIN 4102-4 (A1-Papier) und des Brandschutzteils des Eurocode 5 – DIN EN 1995-1-2, sodass hier weitere Nachweismöglichkeiten für den Feuerwiderstand von Holzbauteilen zur Verfügung gestellt werden.

Bewährte Hilfestellungen für die Fachplaner sind weiterhin gültig, abschließend sei hier nochmals auf folgende Quellen verwiesen, die regelmäßig angepasst werden:

<https://www.brandschutznavigator.de>

<https://www.dataholz.eu>

<https://informationsdienst-holz.de/publikationen/leitdetails-fuer-bauteilanschluesse-gebaeude-klasse-4-und-5>

11 Literaturverzeichnis

- [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 1995-1-2:2010-12 (2010) Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1–2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010
- [3] Werther, N. (2016) Einflussgrößen auf das Abbrandverhalten von Holzbauteilen und deren Berücksichtigung in empirischen und numerischen Beurteilungsverfahren [Dissertation]. Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München
- [4] Werther, N.; Schmid, J.; Fahrni, R.; Klippel, M. (2022) Hintergründe und Nachweisgrundlagen zur Brandschutzbemessung von Brettsperrholzkonstruktionen – Teil 1. Bautechnik 99, H. 8, S. 587–593.
<https://doi.org/10.1002/bate.202200041>
- [5] prEN 1995-1-2:2020 (E) (2021) Eurocode 5 – Design of timber structures Part 1-2: Structural fire design. Final draft Sep. 5, 2021 for informal Enquiry
- [6] Rauch, M.; Suttner, E.; Werther, N. (2022) F-REI 90 – Ein analytisches Berechnungsverfahren für Holzrahmen- und Holzmassivbauteile bis zu einer Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten. BBSR-Online-Publikation 2/2022
- [7] 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
- [8] DIN EN 14135: Brandschutzbekleidungen - Bestimmung der Brandschutzwirkung; Deutsche Fassung EN 14135:2004-11
- [9] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL); Fassung Oktober 2020
- [10] 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
- [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] 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
- [13] 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
- [14] Engel, T.; Kurzer, C.; Werther, N.; Brunkhorst, S.; Winter, S.: Aus der Forschung: TIMpuls - mehrgeschossige Holzbauten unter Feuer. FeuerTrutz Brandschutzkongress 2021.
- [15] 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.

- [16] Engel, T.; Werther, N. (2022) Impact of mass timber compartment fires on the façade fire exposure; Fire Technology [Manuscript submitted for publication]
- [17] Épernon Fire Tests Programme (2020) Synthesis Report; Report n° EFTP-2020/01; October 13, 2020. <http://www.epernon-fire-tests.eu/>
- [18] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (MHFHolzR); Fassung Juli 2004
- [19] Rauch, M.; Werther, N.; Kurzer, C.; Winter, S.; Kaufmann, H.; et al (2019) dataholz.de - Abschlussbericht zum Forschungsprojekt dataholz.de. München, 2019
- [20] Dederich, L.; Sudhoff, P.; Kampmeier, B.; Rüther, N.; Winter, S.; Suttner, E.; Werther, N.: HolzbauRLBW - Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Rottenburg, 2020
- [21] Dederich, L.; Rüther, N.; Sudhoff, P.; Kampmeier, B.; Suttner, E. Werther, N.; Winter, S. (2021): Leitdetails für Bauteilanschlüsse in den Gebäudeklassen 4 und 5; Informationsdienst Holz
- [22] Engel, T. (2021) Aktuelle Erkenntnisse zur Planung von Holzfassaden. Tagungsband der EIPOS-Sachverständigentage Brandschutz 2021
- [23] Engel, T., Werther, N. (2021) Structural Means for Fire-Safe Wooden Façade Design. Fire Technol. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01174-2>
- [24] Dederich, L., et al.: Entwicklung einer Richtlinie für Konstruktionen in Holzbauweise in den Gebäudeklassen 4 und 5 gemäß der LBO B-W (HolzbauRLBW), Rottenburg / Neckar 2020
- [25] Suttner, E.; Werther, N.; Dumler, P.: Stand der Technik zur Qualität von Bauteil- und Elementfugen in Holzbaukonstruktionen im Hinblick auf den Durchtritt von Feuer und Rauch, Technische Universität München
- [26] Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiterinnen und Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehverbandes; Wirksame Löscharbeiten an Holzfassaden (2023-03)
- [27] DIN 4102-4:2016-05 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

Autor

Stefan Winter mit Beiträgen von Thomas Engel, Norman Werther, Christoph Kurzer, Michael Merk

Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen
Arcisstraße 21
80333 München

Kontakt:
hbb@tum.de

Danksagung

Das Vorhaben TIMpuls 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.