

## **BRANDSCHUTZTECHNISCHE GRUNDLAGENUNTERSUCHUNGEN FÜR EINE ERWEITERTE ANWENDUNG DES HOLZBAUS**

Stefan Winter  
Thomas Engel  
Norman Werther  
Technische Universität München, München

Jochen Zehfuß  
Sven Brunkhorst  
Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

### **EINLEITUNG**

Das Bauen mit Holz erfreut sich steigender Beliebtheit. Holz ist einer der wichtigsten nachwachsenden Rohstoffe der Zukunft und kann für die notwendige Dekarbonisierung der Erde einen wesentlichen Beitrag leisten. Mit der Entwicklung und stetigen Optimierung von modernen Holzbausystemen in Verbindung mit den gesellschaftlichen und politischen Initiativen zum ressourcenbewussten Planen und Bauen wurde in den letzten Jahren ein wesentlicher Grundstein für die Anwendung von biogenen Baustoffen, vertreten durch den Leitbaustoff Holz, gelegt.

Stellvertretend hierfür kann die Verwendung von Holz für mehrgeschossige Gebäude gesehen werden, die in den europäischen und außereuropäischen Ländern in den letzten Jahren rasant anwächst. Dieser Prozess wird aktuell in Deutschland von den limitierenden Regelwerken und bauordnungsrechtlichen Einschränkungen für den Baustoff Holz behindert.

Im Verbund-Forschungsvorhaben TIMpuls [1] der Technischen Universität München, Technischen Universität Braunschweig, Hochschule Magdeburg-Stendal und dem Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge erfolgt die Erarbeitung eines wissenschaftlich begründeten Nachweises, um die unbedenkliche Verwendbarkeit tragender und raumabschließender Holzbaukonstruktionen in mehrgeschossigen Gebäuden bis zur Hochhausgrenze nachzuweisen bzw. zu ermöglichen. Die erforderlichen Grundlagen zur Fortschreibung bauaufsichtlicher Brandschutz-Regelungen für die erweiterte Anwendung des Holzbaus werden auf Basis experimenteller und numerischer Untersuchungen erarbeitet.

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

## AUSGANGSSITUATION

Für die brandschutztechnische Beurteilung von tragenden und raumabschließenden Konstruktionen in Holzbauweise gelten, in Bezug auf den Feuerwiderstand, grundsätzlich die gleichen Prüfkriterien wie für mineralische Konstruktionen. Feuerwiderstandsdauern für Elemente und Konstruktionen in Holzbauweise von 30, 60, 90 und mehr Minuten bis hin zur Brandwandersatzkonstruktion mit Stoßbeanspruchung sind entsprechend nachweisbar. Der Unterschied der Holzbauweise zu mineralischen Bauweisen ist jedoch, dass sich der i.d.R. normalentflammbare Baustoff Holz am Brand beteiligt.

Die bauordnungsrechtlichen Anforderungen (Bauordnungen und deren mitgeltenden Richtlinien) fordern für einige Bauteile jedoch die Umsetzung in nichtbrennbaren Baustoffen. Über die Anforderung der Nichtbrennbarkeit der Bauteile wird angestrebt, dass die Standsicherheit der Tragkonstruktion im Brandfall auch ohne Eingriff der Feuerwehr sichergestellt bleibt. Durch konstruktive Maßnahmen lassen sich entsprechend dazu auch Gebäude in Holzbauweise realisieren. Für Holzbauteile ist hier exemplarisch vor allem die hochfeuerhemmende Bauweise von Bedeutung, bei der brennbare Bauteile möglich sind:

Hochfeuerhemmende Bauteile können entweder aus nichtbrennbaren Baustoffen oder aus brennbaren Baustoffen mit allseitig brandschutztechnisch wirksamer Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung) und nichtbrennbaren Dämmstoffen bestehen [2]. Letztere sind national nach DIN 4102-2 [4] nicht klassifizierbar. Sie würden in die Klasse F-60 B fallen und wären daher denen aus brennbaren Baustoffen ohne Brandschutzbekleidung gleichgesetzt. Hochfeuerhemmende Bauteile können nur europäisch klassifiziert werden. Die Brandschutzfunktion der Brandschutzbekleidung muss zusätzlich zur Feuerwiderstandsfähigkeit des Bauteils nach DIN EN 13501-2 [5] mit K<sub>2</sub>60 klassifiziert sein. Durch die Brandschutzbekleidung K<sub>2</sub>60 wird die brennbare Konstruktion für eine geprüfte Dauer von 60 Minuten (nach Einheits-Temperaturzeitkurve, ETK) geschützt. Die brennbaren Bauteile beteiligen sich demzufolge über 60 min. nicht am Brandereignis. Zum Zeitpunkt der Einführung des Begriffes „hochfeuerhemmend“ wurden dadurch zu mineralischen Bauteilen (z. B. Mauerwerk oder Stahlbeton) äquivalente Konstruktionen geschaffen.

Ausnahmen stellen aktuell die Bauordnungen der Länder Baden-Württemberg, Berlin, Hamburg, Hessen und Nordrhein-Westfalen dar. Hier sind teilweise unter der Voraussetzung zusätzlicher Anforderungen und Maßnahmen Bauteile aus brennbaren Baustoffen abweichend anstelle von hochfeuerhemmenden und feuerbeständigen Bauteilen zulässig. Die Betonung liegt auf dem entscheidenden Wort abweichend. Folglich werden auch in diesen Landesbauordnungen die Begrifflichkeiten hochfeuerhemmend und feuerbeständig nicht anderslautend definiert.

Neben den Definitionen und Festlegungen in den Bauordnungen existieren zusätzliche Regelwerke für Bauteile in Holzbauweise. Mit Einführung der

Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen [3] wurde die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) [6] inzwischen in allen Bundesländern als eingeführte technische Regel aufgeführt.

Durch die Novellierung der Bauordnungen einiger Bundesländer (s.o.) können dort auch Gebäude der Gebäudeklasse 5 geregelt in Holzbauweise errichtet werden. Auf der TIMpuls Projekthomepage ([www.timpuls.tum.de](http://www.timpuls.tum.de)) ist eine entsprechende Übersicht zur bauordnungsrechtlichen Verwendbarkeit von brennbaren Baustoffen in Abhängigkeit der Gebäudeklasse in Deutschland zu finden.

Die M-HFHHolzR führt jedoch aktuell keine technischen Regeln für die Verwendung von Bauteilen aus brennbaren Baustoffen anstelle hochfeuerhemmender oder feuerbeständiger Bauteile auf. Dieser Sachverhalt und die zum Teil zusätzlich in den Bauordnungen definierte Leistungsanforderungen, wie beispielsweise in Nordrhein-Westfalen, dass Bauteile aus brennbaren Baustoffen „so hergestellt und eingebaut werden müssen, dass Feuer und Rauch nicht über Grenzen von Brand- oder Rauchabschnitten, insbesondere Geschosstrennungen, hinweg übertragen werden können“, führen zu Unsicherheiten auf Seiten der Planer, Errichter, sowie der Bauaufsichtsbehörden. Durch die grundsätzlich ermöglichte Verwendung brennbarer Baustoffe werden in NRW auch biogene Dämmstoffe (normalentflammbar) nicht ausgeschlossen. Die derzeitigen technischen Regeln und Verwendbarkeitsnachweise bilden diese Möglichkeit jedoch nicht vollständig ab.

Eine den aktuellen Gegebenheiten angepasste und in den Bundesländern eingeführte Muster-Holzbaurichtlinie existiert noch nicht. Während der Projektlaufzeit des Forschungsvorhabens TIMpuls [1] wurde von der Fachkommission Bauaufsicht im Juni 2019 ein Entwurf der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 – MHolzBauRL [7] im Rahmen eines Anhörungsverfahrens veröffentlicht. In diesem Entwurf werden erstmals die Anforderungen an Holzbauteile für die Gebäudeklasse 5 bauordnungsrechtlich aufgeführt und um die Verwendung der Massivholzbauweise (Brettsperrholz, Brettschichtholz, usw.) erweitert. Die Richtlinie kann grundsätzlich als gutes Ausgangsdokument für einen zukünftig sinnvollen Einsatz des Baustoffes Holz dienen. Die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vorliegende Version bedarf für einen einheitlich zielgerichteten und sicheren Einsatz jedoch noch weiterer Optimierung und Anpassung. Die Grundlagen für eine zukünftige Anpassung stellen insbesondere die innerhalb des Forschungsvorhabens TIMpuls angesetzten Großbrand- und Belegversuche zur Verfügung.

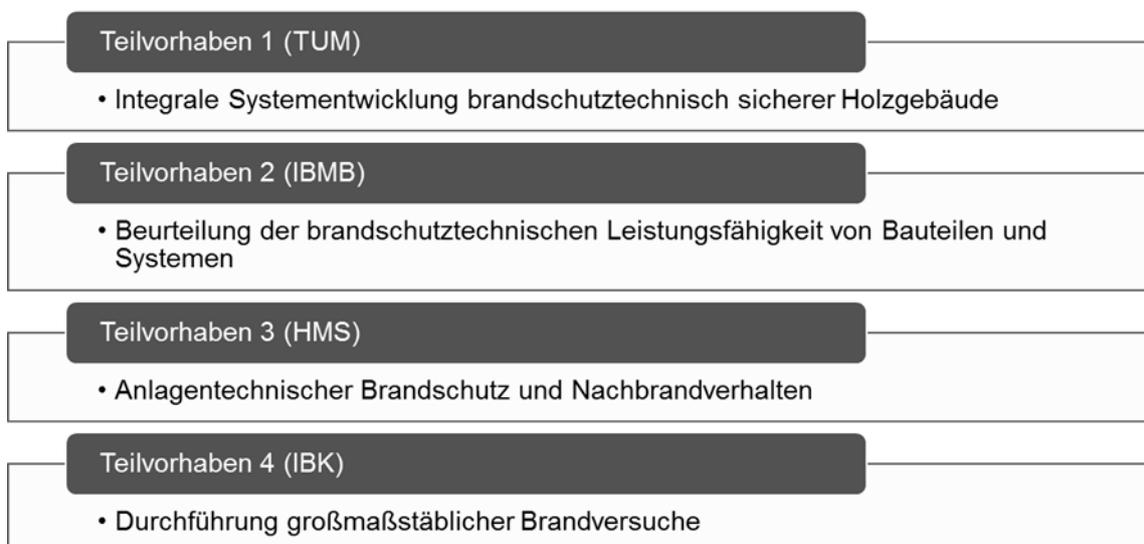
Einzelne Bundesländer versuchen bis zur Veröffentlichung einer finalen Richtlinienversion übergangsweise über jeweils eigene Konkretisierungen erste Grundlagen zu schaffen. Ein Beispiel hierfür ist der Bauprüfdienst (BPD) 2018-3 Bauen in Massivholzbauweise (BPD Massivholzbau) [8] in Hamburg.

## FORSCHUNGSVORHABEN TIMPULS

Das Forschungsvorhaben beschäftigt sich insbesondere mit den Auswirkungen der Brennbarkeit des Baustoffes Holz auf die Erfüllung des bauordnungsrechtlichen Schutzniveaus. Es soll gezeigt werden, dass bei geeigneter Ausführung und Dimensionierung sowie Anordnung konstruktiver und ggf. anlagentechnischer Maßnahmen eine Gleichwertigkeit in Bezug auf das Schutzniveau für Holzbauwerke im Vergleich zu Bauwerken aus nichtbrennbaren Baustoffen (Mauerwerk, Stahlbeton oder Stahlleichtbau) erreicht werden kann. Das in den Bauordnungen definierte Schutzziel des Brandschutzes soll dabei ohne eine wesentliche Veränderung des Sicherheitsniveaus sichergestellt bleiben.

Die im Laufe des Vorhabens gewonnen Erkenntnisse sollen helfen die bauordnungsrechtlichen Regelungen für den mehrgeschossigen Holzbau an den aktuellen Stand der Forschung anzupassen. Ziel ist die Bereitstellung eines Konzepts, um die Verwendbarkeit von Holzbaukonstruktionen in mehrgeschossigen Gebäuden, auch unter teilweiser Verwendung sichtbarer Bauteiloberflächen, bis zur Hochhausgrenze in ganz Deutschland geregelt zu ermöglichen.

Das Forschungsvorhaben ist in vier Teilprojekte gegliedert, siehe Bild 1.



*Bild 1 Teilprojekte des Forschungsvorhabens TIMpuls*

### Teilvorhaben 1 – Integrale Systementwicklung brandschutztechnisch sicherer Holzgebäude

Das themenübergreifende Teilprojekt der Technischen Universität München umfasst, neben der Gesamtkoordination des Verbundforschungsvorhabens, ebenso die Bewertung der Leistungsfähigkeit aktueller abwehrender Brandschutzmaßnahmen und die Zusammenführung der Teilergebnisse innerhalb einer Leitlinie für brandschutztechnisch sichere mehrgeschossige Holzgebäude bis zur Hochhausgrenze unter Berücksichtigung ganzheitlicher Planungsparameter.

## Teilvorhaben 2 – Beurteilung der brandschutztechnischen Leistungsfähigkeit von Bauteilen und Systemen

Mit dem Teilprojekt des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig werden wesentliche Informationen zum Feuerwiderstand von Holzbauteilen mittels Bauteilversuchen und numerischer Analyse erarbeitet. Diese Ergebnisse werden in Kombination, mit den im Verbundprojekt bereitgestellten Informationen zum anlagentechnischen und abwehrenden Brandschutz, in eine ganzheitliche Risikobetrachtung für mehrgeschossige Holzgebäude integriert.

## Teilvorhaben 3 – Anlagentechnischer Brandschutz und Nachbrandverhalten

Das Teilprojekt der Hochschule Magdeburg-Stendal verknüpft potentielle anlagentechnische Schutzmaßnahmen für mehrgeschossige Holzgebäude - als kompensatorische Maßnahmen mit den Untersuchungen zum Nachbrand- und Löschverhalten sowie der Bewertung des Schadensausmaßes und wirtschaftlichen Sanierbarkeit nach einem Brandereignis.

## Teilvorhaben 4 – Durchführung großmaßstäblicher Brandversuche

Im Rahmen des Teilprojekts des Instituts für Brand- und Katastrophenschutz (IBK) Heyrothsberge werden Belegversuche im Großmaßstab durchgeführt, um die Brandsicherheit der verwendeten Holzkonstruktionen nachzuweisen. Ergänzend dazu werden wesentliche Informationen zu feuerwehrtechnischen Einsatztaktiken bereitgestellt und ein Meinungsbild der deutschen Feuerwehren abgefragt.

## Arbeitspakete

Die innerhalb des Vorhabens durchzuführenden theoretischen und praktischen Untersuchungen werden durch die Kooperationspartner institutsübergreifend in neun Arbeitspaketen (AP) bearbeitet, siehe Bild 2.

AP 0 Koordination TUM								
AP 1 Theoretische Grundlagen- ermittlung  TUM	AP 2 Brandversuche und numerische Untersuchung- en  TUBS	AP 3 Nachbrand und Löschverhalten  HMS	AP 4 Abwehrender Brandschutz  TUM	AP 5 Anlagentechnische Schutzmaßnahmen  HMS	AP 6 Risikoanalyse und Bewertung  TUBS	AP 7 Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit, Sanierung  HMS	AP 8 Zusammenführung der Ergebnisse in einer Leitlinie Entwicklung von Bauteilaufbauten  TUM	AP 9 Dissemination, Wissens und Technologie- transfer  TUM

Bild 2 Die neun Arbeitspakete des Vorhabens TIMpuls

Nach einer Grundlagenermittlung zum Stand der Technik (AP 1) werden Brandversuche und numerische Untersuchungen zu Brandszenarien und Brandverläufen in Holzkonstruktionen, zum Feuerwiderstandsverhalten von Holzbauteilen und zur Beherrschbarkeit der Brandereignisse durchgeführt (AP 2). Ergänzt werden diese Betrachtungen durch eine Risikoanalyse (AP 6) unter Einbezug des abwehrenden Brandschutzes (AP 4) und anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen (AP 5). Auch die Möglichkeiten zur Entwicklung von Holzbaukonstruktionen mit selbstverlöschenden Eigenschaften (AP 3) unter Zuhilfenahme von Brandversuchen sollen untersucht werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Untersuchung von Brandweiterleitungspfaden und der Löschbarkeit von Holzbaukonstruktionen sowie die Möglichkeiten zur Optimierung und Integration haustechnischer Installationen im Holzbau. Zudem sind die Regelungen zur Ausführung von nichtbrennbarer Kapselbekleidung zu hinterfragen und Optimierungsansätze zu erarbeiten.

Neben den eigentlichen Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes ist der Einfluss der veränderten Bauweise auf die taktischen Maßnahmen des abwehrenden Brandschutzes zu evaluieren, um gegebenenfalls Empfehlungen für das taktische Vorgehen bei Einsätzen in Holzgebäuden auszusprechen.

In diesem Zusammenhang wird ergänzend untersucht, in welchem Umfang sich Lösch- und Alarmierungsanlagen eignen oder erforderlich sind, um die Verwendung brennbarer Konstruktionsbaustoffe zu kompensieren (AP 6). Im Hinblick auf die ganzheitliche Betrachtung und Auftritt eines Brandereignisses sollen auch die Aspekte der Nachhaltigkeit und Sanierbarkeit nicht vernachlässigt werden (AP 7).

Die Ergebnisse des Vorhabens werden bereits projektbegleitend mit Vertretern aus Bauaufsicht, Feuerwehr, Versicherung, Wissenschaft, Wirtschaft und Ingenieurbüros diskutiert, um eine nachfolgende praxisnahe und gemeinschaftlich getragene Integration in die bauaufsichtlichen Vorschriften bestmöglich vorzubereiten.

#### KONKRETE ZIELE DES FORSCHUNGSVORHABENS TIMPULS

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist die Bereitstellung einer vollständigen, wissenschaftlich begründeten Systematik, um die Verwendbarkeit tragender und raumabschließender Holzbaukonstruktionen in mehrgeschossigen Gebäuden bis zur Hochhausgrenze geregelt zu ermöglichen. Die fünf wesentlichen Themenschwerpunkte für die zu erreichenden Ziele sind in Bild 3 dargestellt.



*Bild 3 Übersicht mit Kategorisierung der Ziele*

Im nachfolgenden Kapitel werden die fünf Themenschwerpunkte (TS) mit entsprechend konkreten Zielsetzungen verknüpft und angestrebte Ergebnisse definiert.

### 1. Ingenieurmethoden des Brandschutzes

TS 1 umfasst die Untersuchung und Ermittlung von Naturbrandverläufen in Holzkonstruktionen für Raumbrände unter Berücksichtigung

- von Realbrandlast,
- von ungeschützten Bauteiloberflächen und
- eines Versagens der Brandschutzbekleidung während des Brandverlaufes.

Die Untersuchung von Raumbränden mit ungeschützten bzw. anfänglich geschützten Bauteiloberflächen aus Holz (verschiedene Materialien, Konstruktionen bzw. Aufbauten) und der Vergleich zwischen Norm- und Naturbrandbeanspruchung bezüglich

- Rauchgaskonzentration,
- Brandraumtemperaturen,
- Zeitpunkt des Flashovers,
- Nachbrandverhalten,
- Abbrandverhalten von Holz,
- Brandschutzbekleidung und deren Schutzzeit und

- möglichen Abweichungen gegenüber der ETK

stellen hierbei ein weiteres Ziel dar, um die die Verwendung von Holz als normal-entflammbarer Baustoff in diesen Konstruktionen zu beurteilen.

Angestrebte Ergebnisse sind:

- die Erweiterung der Naturbrandmodelle für leistungsorientierte Nachweismethoden bei Holzgebäuden,
- die Bereitstellung von Datensätzen (thermischen und mechanischen Materialkennwerten) für die ingenieurmäßige Beurteilung von Holzbauteilen,
- Aussagen zum Brandverlauf in Holzbauweise vergleichend zu konventionellen Bauweisen.

## 2. Bauordnungsrechtliche Verwendbarkeit

Unter diesem TS ist als Ziel der Nachweis definiert, dass bei der Verwendung von Konstruktionen aus Holz brandschutztechnisch äquivalente Lösungen im Vergleich zu Konstruktionen aus Mauerwerk, Stahlbeton, Trockenbau oder Stahlleichtbau erreicht bzw. dass die allgemeinen Schutzziele erfüllt werden können. Im Einzelnen werden die nachfolgenden Punkte bearbeitet:

- Untersuchung eines möglichen Einflusses des Baustoffes Holz auf die Schutzziele des vorbeugenden Brandschutzes,
- Vergleich von Versuchen unter Naturbrandbeanspruchung und ETK, insbesondere unter Berücksichtigung von sichtbaren Holzoberflächen im Vergleich zu nichtbrennbaren mineralischen Bauteiloberflächen im Hinblick auf die Beurteilung des Feuerwiderstandes,
- Einfluss von holzbautypischen Bauteilanschlüssen auf den Raumabschluss und die Rauchdichtigkeit,
- Bewertung der Brandweiterleitungswege,
- Bewertung des Nachbrandverhaltens bzw. eines möglichen Selbstverlöschens von Holzbauteilen nach Abbrand der mobilen Brandlast,
- Untersuchung des Glimm- bzw. Schwelverhaltens von Holzwerkstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Hohlraumbränden,
- Definition des allgemein erforderlichen Sicherheitsniveaus für Gebäude unabhängig von den verwendeten Baustoffen auf Basis des gesellschaftlich akzeptierten Risikos.

Weiterhin sollen die bisherigen Erkenntnisse und Regelungen für Fassaden mit Bekleidungen aus Holz in diese Untersuchungen und Bewertungen integriert werden.

Ebenso wird der Einfluss von anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen für Gebäude aus Holz auf die Erfüllung der Schutzziele bewertet.

Angestrebte Ergebnisse sind:

- Ermöglichung einer baurechtlich geregelten und leistungsoptimierten Verwendung von Holzbauweisen bis zur Hochhausgrenze.
- Nachweis, dass keine Reduktion des Sicherheitsniveaus bei Berücksichtigung der erzielten Lösungen für Holzgebäude erfolgt, bzw. Quantifizierung / Einordnung einer möglichen Reduzierung.
- Überarbeitung der baurechtlichen Regeln z. B. Musterbauordnung (MBO) und der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 (MHolz-BauRL).
- Festlegung von Konstruktionsprinzipien und Regeldetails für einen sicheren Einsatz des Baustoffes Holz.

### 3. Abwehrender Brandschutz

In diesem TS wird die Wechselwirkung zwischen einem vermehrten Einsatz von Holz sowie Holzwerkstoffen und dem abwehrenden Brandschutz untersucht. Dabei werden folgende Punkte berücksichtigt:

- Untersuchung der Löschbarkeit von Raumbränden in Holzgebäuden,
- Vergleich der Einsatztaktik der Feuerwehr bezogen auf Brandereignisse in Holzkonstruktionen,
- Erfassung eines Meinungsbildes des abwehrenden Brandschutzes in Deutschland zum mehrgeschossigen Holzbau,
- Untersuchung des Einfluss eines vermehrten Einsatzes von brennbaren Baustoffen auf den abwehrenden Brandschutz.

### 4. Sanierbarkeit

Im Fokus steht die Untersuchung der Sanierbarkeit von Holzgebäuden nach einem Brandereignis.

Angestrebtes Ergebnis ist die Entwicklung von Konstruktionsprinzipien zur Verringerung von Brandschäden bzw. zur zielgerichteten Sanierung von Brandschäden in Holzbauwerken.

### 5. Haustechnik

Im letzten TS wird die brandschutztechnisch sichere Ausführung von haustechnischen Anlagen und Installationen in Holzbauteilen betrachtet. Hierbei wird auch der Einfluss von Installationen auf das Brandentstehungsrisiko und die Brandweiterleitungswege untersucht.

Angestrebte Ergebnisse sind:

- Darstellung / Einordnung der tatsächlichen Gefahr von Elektrobränden in Holzgebäuden,
- Entwicklung von Konstruktionsprinzipien für haustechnische Anlagen und Installationen in Holzbauteilen.

## STRATEGIEN DES FORSCHUNGSVORHABENS

### Allgemeines

Für die bauordnungsrechtliche Anwendbarkeit der Holzbauweise in der Gebäudeklasse 5 werden verschiedene Strategien zum Nachweis der Erfüllung des brandschutztechnischen Sicherheitsniveaus verfolgt. Einhergehend mit dem erweiterten Einsatz der Holzbauweise in der Gebäudeklasse 5 ist nachzuweisen, dass, durch die zusätzliche Brandlast aus der tragenden und aussteifenden Gebäudestruktur, das bauaufsichtlich geforderte Sicherheitsniveau im Hinblick auf den Brandschutz nicht bzw. allenfalls auf ein gesellschaftlich akzeptierbares Niveau verringert wird. Eine Form des Nachweises kann über die Gleichwertigkeit der Holzbauweise gegenüber den konventionellen, nichtbrennbaren Bauweisen erbracht werden. Hierbei werden unterschiedliche Lösungswege verfolgt die nachfolgend diskutiert werden. Des Weiteren ist über eine Äquivalenzbetrachtung zu bewerten, ob die Notwendigkeit besteht die Holzkonstruktion auch für den Fall auszulegen, dass ein erfolgreicher Löschangriff durch die Feuerwehr ausbleibt. Alternativ ist ein der Einsatz von anlagentechnischen Kompensationsmaßnahmen denkbar.

### Naturbrandbeanspruchung (Selbstverlöschen)

Eine leistungsorientierte Nachweisform für die Gleichwertigkeit ist die Naturbrandbemessung gemäß der bauaufsichtlich eingeführten Brandschutzteile der Eurocodes. Mit den in DIN EN 1991-1-2 [9], zusammen mit den im Nationalen Anwendungsdokument [10], aufgeführten Anwendungsregeln ist es in Deutschland möglich die bauaufsichtlich geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen mittels Bemessungsbrandszenarien und Bemessungsbrände nachzuweisen. Der einwirkende Temperaturzeitverlauf wird hierbei in Abhängigkeit der vorliegenden Brandlasten, der Ventilationsöffnungen und der Brandraumgeometrie sowie der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile berechnet. Diese kann über vereinfachte Brandmodelle, wie z. B. das vereinfachte Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände gemäß DIN EN 1991-1-2/NA – Anhang AA [10] erfolgen. Außerdem ist nach DIN EN 1991-1-2 die Verwendung allgemeiner Brandmodelle wie Ein- bzw. Zwei-Zonenmodelle oder Feldmodelle zur Ermittlung der zeitabhängigen Temperaturverteilung im Brandabschnitt möglich.

Für das betrachtete Bauteil ist über den gesamten Verlauf der Naturbrandkurve der Nachweis der Tragfähigkeit und / oder des Raumabschlusses zu erbringen [10]. Vergleichend dazu kann für konventionelle, nichtbrennbare Bauteile, die der ETK über 90 Minuten ausgesetzt sind, ebenfalls ein ingenieurmäßiger Nachweis der Tragfähigkeit und / oder des Raumabschlusses entsprechend der Eurocode Teile erfolgen. Das konventionelle, nichtbrennbare Bauteil darf somit eine nationale (gemäß [4]) oder europäische (gemäß [5]) Klassifizierung tragen. Bedingt durch die ingenieurmäßige Bemessung der Bauteile unter Naturbrandbeanspruchung, welche eine der ETK abweichende Brandbeanspruchung darstellt, darf dieses Bauteil keine Klassifizierung tragen.

Beim Nachweis mit einem Naturbrandmodell ist zu beachten, dass sich Holzbauteile am Brandgeschehen beteiligen und der Brand erst endet, wenn die Brandlasten aus der Nutzung (mobile Brandlast) und aus der Konstruktion (immobiler Brandlast) aufgebraucht sind bzw. ein Selbstverlöschen der immobilen Brandlast eintritt [11].

#### Kapselung der Bauteile

Einen weiteren Lösungsweg stellt die durch die bauaufsichtlichen Regelungen (MBO [2] und M-HolzBauRL [7]) für die Gebäudeklasse 4 gegebene Ausbildung einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung (Brandschutzbekleidung) dar. Die Brandschutzbekleidung verhindert über eine Klassifizierungsdauer das Entzünden als auch das Auftreten von Verkohlungen sowie eine thermische Verfärbungen der tragenden und aussteifenden Holzbauteile. Entsprechend der M-HolzBauRL [7] muss die Brandschutzbekleidung über einen Zeitraum von mindestens 60 Minuten für die Brandschutzfunktion K<sub>2</sub> nach [5] klassifiziert sein.

Bei einem leistungsorientierten Nachweis mittels Naturbrand ist über die gesamte Dauer der Naturbrandkurve die Tragfähigkeit und der Raumabschluss für das bekleidete Bauteil nachzuweisen. Das durch die Brandschutzbekleidung geschützte Holzbauteil darf somit hinter der Brandschutzbekleidung eine Verkohlung bzw. thermische Verfärbung aufweisen. Die Voraussetzung für diesen Lösungsweg ist, dass nach der thermischen Umsetzung der mobilen Brandlast der Brand von selbst verlöscht.

Des Weiteren wird für den präskriptiven Nachweis untersucht, welche Auswirkungen sich für das Auftreten von Verkohlungen sowie thermischen Verfärbungen an Holzbauteilen bis zu einem Grenzwert der Verfärbung ergeben, mit dem Ziel dies zukünftig zuzulassen. Damit kann ein Verschieben der Kapselklassen gegenüber der Feuerwiderstandsklassen, wie z. B. REI60 + K<sub>2</sub>45 oder REI90 + K<sub>2</sub>60, ermöglicht werden. Eine Entzündung und selbstständiges Mitbrennen der tragenden und aussteifenden Holzbauteile sowie das Auftreten eines Hohlraumbrandes soll weiterhin verhindert werden.

## Entwicklung selbstverlöschender Bauteile

Um das in den Lösungswegen vorausgesetzte Selbstverlöschender der Holzbauteile zu erzwingen wird die Entwicklung selbstverlöschender Holzbauteile angestrebt. Beispielsweise kann dieses durch eine im Inneren der Bauteile angeordnete nichtbrennbare Schicht umgesetzt werden. Ebenso ist die Verwendung von Hybridbauteilen, wie die im mehrgeschossigen Holzbau bereits stark verbreitete Holz-Beton-Verbunddecke, denkbar. Eine Modifikation dieser Deckensysteme durch das Einlegen einer zusätzlichen Bewehrung sowie veränderte Auflagerbedingungen ermöglichen, dass der Brand spätestens nach Erreichen der Betonschicht zum Erliegen kommt [12]. Der verbleibende Stahlbetonrestquerschnitt muss in der Lage sein die im Brandfall deutlich reduzierten Lasten abzutragen.

Unter bestimmten Voraussetzungen konnte ein Selbstverlöschender bei massiven Holzquerschnitten beobachtet werden wenn ein Großteil der mobilen Brandlast umgesetzt wurde [13, 14, 15, 16]. Die Voraussetzungen und Randbedingungen für ein Selbstverlöschender der Bauteile sind weiter zu analysieren.

## Leistungsfähigkeit der abwehrenden Maßnahmen

Im Hinblick auf die Ermöglichung wirksamer Löschmaßnahmen ist bei der Ausbildung ungeschützter Oberflächen von Holzbauteilen sicherzustellen, dass das Brandszenario weiterhin für die Feuerwehren beherrschbar bleibt. Infolge der Ausführung von ungeschützten Holzoberflächen ist im Falle eines Brandes i. d. R. eine kürzere Brandentwicklungsdauer anzunehmen [19]. Beim Eintreten des Flashovers, welcher einhergeht mit dem Übergang in die Vollbrandphase, werden zusätzliche Pyrolysegase aus den ungeschützten Holzoberflächen freigesetzt. Bei der Betrachtung eines Raumbrandes führt die, im Vergleich zu einem Brand von Gebäuden in konventioneller Bauweise, höhere Wärmefreisetzungsrates auch zu einer stärkeren Brandbeanspruchung auf die Fassade aufgrund der aus dem Fenster schlagenden Flammen. Bei einer vergleichenden Betrachtung der Leistungsfähigkeit der Feuerwehren ergeben sich in Bezug auf Eingreifzeit, verfügbare Personalstärke und ggf. vorhandenen technischen Geräte teilweise deutliche Unterschiede zwischen einer Feuerwehr im städtischen bzw. urbanen Raum und einer Feuerwehr im ländlichen Raum. Die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Feuerwehren sollte als zusätzlicher Einflussfaktor für Lösungswege der leistungsorientierten Nachweise betrachtet werden. Eine quantitative Bewertung der Leistungsfähigkeit von Feuerwehren ist bereits normativ im Sicherheitskonzept des baulichen Brandschutz nach DIN EN 1991-1-2/NA – Anhang BB.2 [10] oder in der DIN 18232 Teil 2 [17] und Teil 5 [18] für die Ermittlung der Brandentwicklungsdauer zu finden.

## REPRÄSENTATIVE NATURBRANDKURVE FÜR RÄUME IN HOLZBAUWEISE

Für die experimentellen Untersuchungen in diesem Vorhaben, die im Wesentlichen von einer Naturbrandbeanspruchung ausgehen, wurden aus der Fülle möglicher Brandverläufe vereinfachend zwei repräsentative Naturbrandkurven für einen Raum in Holzbauweise abgeleitet, die einerseits ein thermisches Beanspruchungsniveau oberhalb der ETK und andererseits einen moderaten Temperatur-Zeitverlauf bei langer Beanspruchungsdauer darstellen. Beide Szenarien werden für die im Projekt durchgeführten Brandversuche genutzt und bilden damit die Grundlage für die Validierung entsprechender numerischer Modelle zur Beschreibung des Abbrandes und der Erwärmung im Bauteil unter abweichenden Naturbrandbeanspruchungen. Dies bildet eine Grundlage für die Feuerwiderstandsbemessung.

Zur Ermittlung repräsentativer Naturbrandkurven wird das vereinfachte Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände nach DIN EN 1991-1-2/NA [10] herangezogen und zur Berücksichtigung des Einflusses von ungeschützten Holzoberflächen erweitert. Infolge der zusätzlichen Wärmefreisetzung aus den ungeschützten Holzoberflächen müssen im entsprechenden Modell die Gleichungen für die Brandlastdichte sowie die maximale Wärmefreisetzungsrate des brandlastgesteuerten Brandfalls erweitert werden. Die Erweiterungen dieser Gleichungen, zur Berücksichtigung der immobilen Brandlast, erfolgt jeweils über den zweiten Term der nachstehenden Gleichungen.

Die Brandlastdichte aus der mobilen und immobilen Brandlast ergibt sich entsprechend Gleichung (1).

$$q_{f,tot} = q_{f,k} \cdot \chi + A_{tim} \cdot d_{char,t} \cdot h_{eff,tim} \cdot \rho_{tim} / A_f \quad (1)$$

Die maximale Wärmefreisetzungsrate des brandlastgesteuerten Brandes wird mittels Gleichung (2) berechnet, wobei  $HRR_{tim}$  mit 0,20 MW/m<sup>2</sup> angenommen werden kann.

$$Q_{max,f,k} = RHR_f \cdot A_f + RHR_{bb} \cdot A_{bb} \quad (2)$$

Basierend auf einer Literaturstudie zu Brandversuchen in Räumen in Holzbauweise mit ungeschützten oder anfänglich geschützten Oberflächen sowie der technischen Umsetzbarkeit von Naturbrandkurven in Brandöfen wurden Randbedingungen für die repräsentativen Naturbrandkurven festgelegt. In diesem Beitrag wird sich nur auf die Naturbrandkurve oberhalb der ETK bezogen. Die Randbedingungen für diese Naturbrandkurve (Naturbrand\_1), mit Temperaturniveau oberhalb der ETK umfassen:

- eine schnelle Brandentwicklungsdauer,
- Wohnraumnutzung mit sichtbarer Massivholzdecke,
- ein geringes Wärmespeichervermögen der Umfassungsbauteile und

- eine Maximaltemperatur von 1100 °C zur 45. Minute.

Die weiteren Eingangsparameter die der Naturbrandkurve (Naturbrand\_1) zugrunde liegen sind eine Brandraumgeometrie von 6,00 m x 4,00 m x 2,70 m (L x B x H) sowie eine Ventilationsöffnung von 3,40 m x 2,00 m (B x H). Für die Abbildung der Umfassungsbauteile aus Holz wurde das Wärmespeichervermögen mit einen Wert von  $950 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K})$  angenommen. Hierbei wird für die Decke und die vier Wände ein geringer Wärmeabfluss und für den Boden, welcher einen mineralischen Aufbau abbildet, ein mittlerer Wärmeabfluss angesetzt. Die ermittelte Naturbrandkurve\_1 ist in Bild 3 vergleichend zur ETK nach DIN EN 13501-2 [5] und zu experimentellen Temperaturzeitkurven aus internationalen Brandversuchen an Brandräumen in Holzbauweise mit teilweise ungeschützten Holzoberflächen dargestellt.

Das 90 %-Quantil der mobilen Brandlastdichte für eine Wohnnutzung beträgt nach [10]  $1085 \text{ MJ}/\text{m}^2$ . Bezüglich der immobilen Brandlast aus der ungeschützten Decke wird eine zusätzliche Brandlastdichte von  $165 \text{ MJ}/\text{m}^2$  angesetzt.

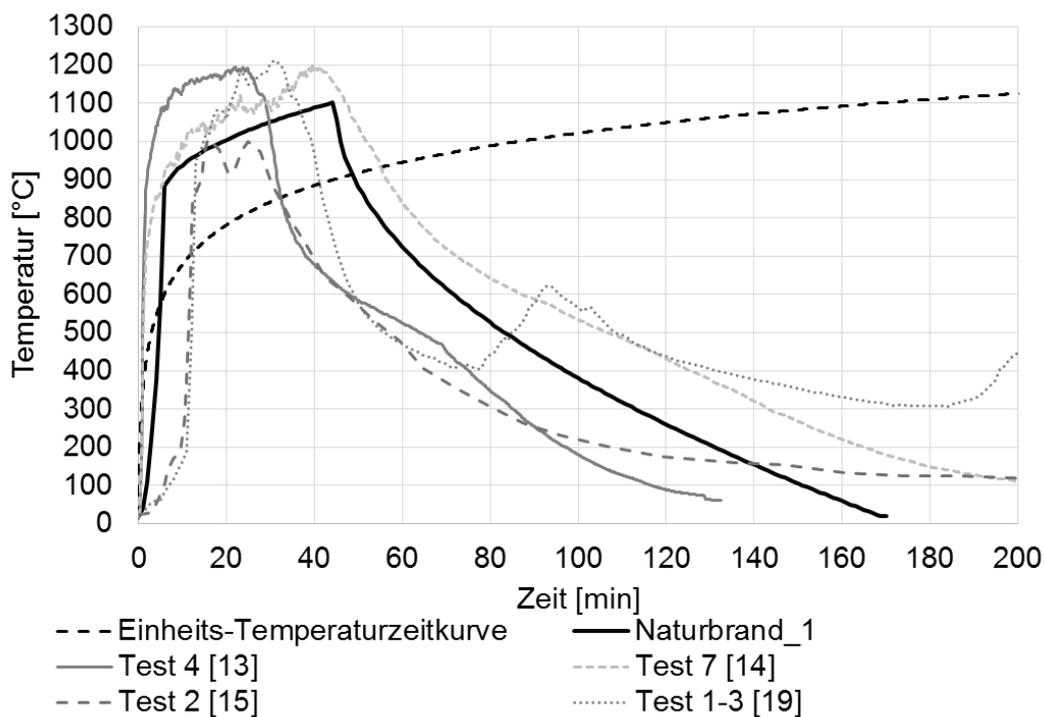


Bild 3 Repräsentative Naturbrandkurve im Vergleich zur ETK sowie zu experimentellen Brandkurven

Der Vergleich der Naturbrandkurve (Naturbrand\_1) mit der ETK zeigt die schnelle Brandentwicklungsdauer sowie die maximale Temperatur von 1100 °C zur 45. Minute. Anschließend folgt die Abklingphase bei der die Temperatur, einer quadratischen Funktion folgend, bis zum Ausgangswert von 20 °C zur 170. Minute abfällt.

## BRANDVERSUCHE

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens geplanten bzw. durchgeführten Brandversuche dienen dazu die Ansätze der verschiedenen Lösungswege durch experimentelle Untersuchungen zu belegen. Nachfolgend werden Auszüge der ersten Erkenntnisse aus durchgeführten Brandversuche zum Brandverhalten bei Raumbränden mit ungeschützten Holzoberflächen, zum Abbrandverhalten von massiven Holzbauteilen und zur Leistungsfähigkeit von Brandschutzbekleidungen vorgestellt.

### Versuche zum Brandverhalten bei ungeschützten Holzoberflächen

Eine Untersuchung zum Brandverlauf in Räumen mit ungeschützten und anfänglich geschützten Holzoberflächen erfolgte in einer Versuchsreihe von Raumbränden im Room Corner-Versuchsstand (Grundfläche = 3,60 m x 2,40 m, Höhe 2,40 m) nach ISO 9705-1 [20]. Die Holzflächen wurden vereinfacht mittels Massivholzplatten nach DIN EN 13353 [21] mit einer Dicke von 40 mm hergestellt [16]. Hierbei wurden u. a. der Einfluss der Ventilationsbedingungen sowie der Menge und Anordnung der ungeschützten Holzoberflächen auf den Brandverlauf untersucht. Zudem erfolgten auch Untersuchungen zum Nachbrandverhalten sowie zur Wirksamkeit durchgeführter Löschmaßnahmen. Auf Grundlage der erzielten Ergebnisse der Versuchsreihe sollen erste Lösungsansätze zur Beurteilung der Naturbrandbeanspruchung, des Versagens der Brandschutzbekleidung und zur Leistungsfähigkeit von Löschmaßnahmen erarbeitet werden.

Aus den experimentellen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich durch die Anordnung der immobilen Brandlast eine schnellere Brandentwicklungsdauer bis zum Eintritt des Flashovers ergibt. Eine Verkleinerung der Ventilationsöffnung führt zum früheren Übergang in ein ventilationsgesteuertes Brandregime, welches eine geringere maximale Wärmefreisetzungsrate aber eine längere Branddauer zur Folge hat (vgl. Bild 4). Dementsprechend zeigen die Raumtemperaturen, vergleichend zu einem identischen Aufbau mit größerer Ventilationsöffnung, eine höhere Maximaltemperatur sowie eine länger anhaltende Temperaturbeanspruchung.

Das in Bild 4 dargestellte Diagramm zeigt die über die Sauerstoffverbrauchsmethode bestimmte Wärmefreisetzungsrate sowie die mittig des Raumes in 2,1 m Höhe gemessene Temperaturentwicklung zweier Versuche. Die Versuchsaufbauten bestehen aus einer deckenseitig, ungeschützten Holzoberfläche sowie einem Stützfeuer mit einer 50 kg Holzkrippe. Die Versuchsaufbauten unterscheiden sich nur in den Ventilationsbedingungen, die in Bild 4 rechts dargestellt sind. Anhand berechneter Strömungsgeschwindigkeit kann für beide Versuche ein vergleichbares Strömungsprofil über die Ventilationshöhe festgestellt werden. Dadurch ergibt sich bezogen auf die Ventilationsfläche ein unterschiedlicher Volumenstrom und damit eine unterschiedliche Menge an ein- und ausströmenden Kalt- bzw. Heißgasen.

Mit zunehmender Menge an ungeschützten Holzoberflächen und in Abhängigkeit der Leistung der Brandquelle verkürzt sich die Dauer bis zum Eintritt des Flashovers. Die geometrische Anordnung der ungeschützten Holzoberflächen als Decken- oder Wandfläche besitzt in Bezug auf die Zeit bis zum Flashover in dieser Versuchsreihe nur eine untergeordnete Rolle. Zudem erhöht sich die Menge der aus der Öffnung schlagenden Flammen mit zunehmender ungeschützter Holzoberfläche, da die freigesetzten Pyrolysegase erst mit dem Sauerstoff außerhalb des Brandraumes oxidieren können.

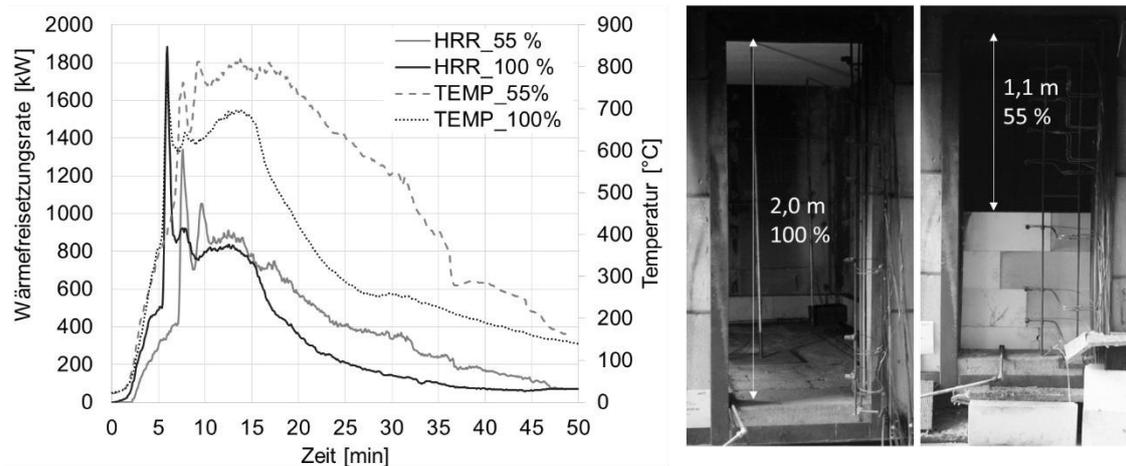


Bild 4 Vergleich der Wärmefreisetzungsraten und Temperaturentwicklung bei unterschiedlichen Ventilationsöffnungen

Die Ergebnisse der Raumbrandversuche hinsichtlich des Nachbrandverhaltens und des möglichen Eintretens eines Selbstverlöschens zeigen, dass ein Selbstverlöschens der immobilen Brandlast vorrangig von folgenden Randbedingungen beeinflusst wird:

- Menge und geometrische Anordnung der ungeschützten Holzoberflächen sowie
- Intensität und Branddauer der Brandquelle (Stützfeuer).

In der Versuchsreihe konnte ein Selbstverlöschens immer beim Verlöschens der mobilen Brandlast (Stützfeuer) beobachtet werden, sofern nur die Decke oder eine Wand als ungeschützte Holzoberfläche ausgeführt wurde.

In Bild 5 ist das Nachbrandverhalten von fünf Versuchen anhand der Temperaturentwicklung im Raum dargestellt. Der Nullpunkt der Zeitachse stellt den Zeitpunkt dar, an dem das Stützfeuer abgeschaltet wird (Kiesbettbrenner) oder die Brandleistung (Holzkrippe) signifikant abnimmt. Für die abgebildeten Versuche, bei denen jeweils nur die Decke als ungeschützte Holzoberfläche ausgeführt war, zeigt Tabelle 1 die Art des Stützfeuers sowie die Ventilationsöffnung. Entsprechend der Versuchsbeobachtungen sind die Flammen nach ca. 2-5 Minuten

(bezogen auf die Zeitachse in Bild 5) auf der ungeschützten Oberfläche erlösen. Dies erklärt den starken Temperaturabfall ab dem zeitlichen Nullpunkt. Infolge des geringeren Temperaturgradienten fallen die Temperaturen zwischen 300 °C und Umgebungstemperatur ( $\approx 20$  °C) nur sehr langsam. Wie RC\_V9 zeigt, führt die um 45 % verringerte Ventilationsöffnung bei den hier untersuchten Randbedingungen zu keinem signifikanten Einfluss auf die Temperaturentwicklung im Nachbrandverhalten.

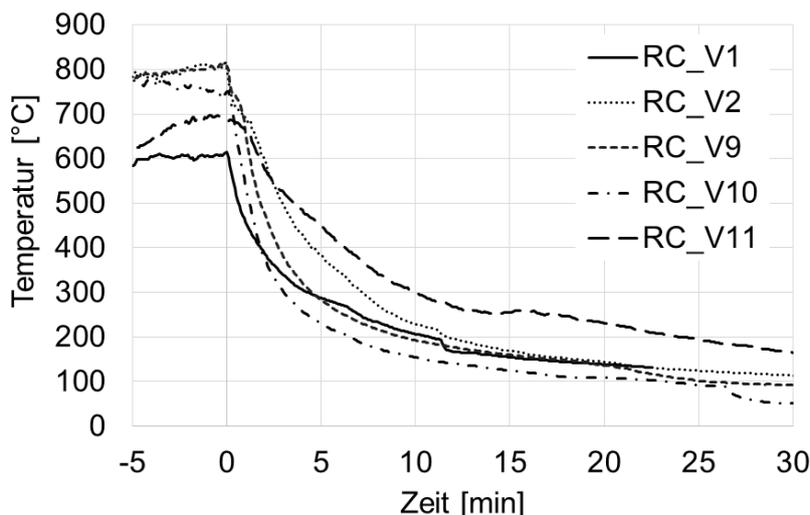


Bild 5 Temperaturen im Versuchsstand nach Verlöschen des Stützfeuers

Durch die Dauer der Brandbeanspruchung sowie die vergleichsweise geringe Maximaltemperatur im Brandraum konnte hinter der Brandschutzbekleidung lediglich eine lokale Verkohlung festgestellt werden. Ein Versagen der Brandschutzbekleidung mit Entzünden der geschützten Holzoberfläche und / oder Abfallen der Bekleidung wurde bei diesen Raumbrandversuchen (RC\_V9, RC\_V10 und RC\_V11) nicht beobachtet.

Bei einzelnen Brandversuchen erfolgte die Durchführung von kontrollierten Löschmaßnahmen durch eine Berufsfeuerwehr, wie in Bild 6 ersichtlich. Hierbei führten, beim Einsatz einer minimalen Löschmittelmenge, 3 – 4 Sprühstöße mit einem Sprühstrahl schnell zum Ablöschen des Vollbrandes. Der durchschnittliche Löschmittelbedarf (Wasser) zum Ablöschen des Vollbrandes wurde dabei mit  $< 10$  l gemessen. Dementsprechend zeigte sich ein, bezogen auf den Brandraum dieser Brandversuche, beherrschbares Brandszenario und unter den gegebenen Randbedingungen eine sehr gute Leistungsfähigkeit / Wirksamkeit der durchgeführten abwehrenden Maßnahmen.

Tabelle 1 Eckdaten der Brandversuche aus Bild 5 zum Selbstverlöschen

Versuch	Stützfeuer	Ventilation	Beschreibung
RC_V1	Kiesbettbrenner (350 kW)	100 %	Decke ungeschützt (40 mm Fichte); Wände mineralisch
RC_V2	Kiesbettbrenner (350 kW)	100 %	Decke ungeschützt (40 mm Buche); Wände mineralisch
RC_V9	Kiesbettbrenner (350 kW)	55 %	Decke ungeschützt (40 mm Buche); Wände geschützt (12,5 mm Gipsfaserplatte)
RC_V10	Kiesbettbrenner (350 kW)	100 %	Decke ungeschützt (40 mm Buche); Wände geschützt (12,5 mm Gipsplatte Typ A)
RC_V11	Holzkippe (50 kg)	100 %	Decke ungeschützt (40 mm Fichte); Wände geschützt (12,5 mm Gipsplatte Typ A)



Bild 6 Löschmaßnahmen durch eine Berufsfeuerwehr mit einem Hohlstrahlrohr

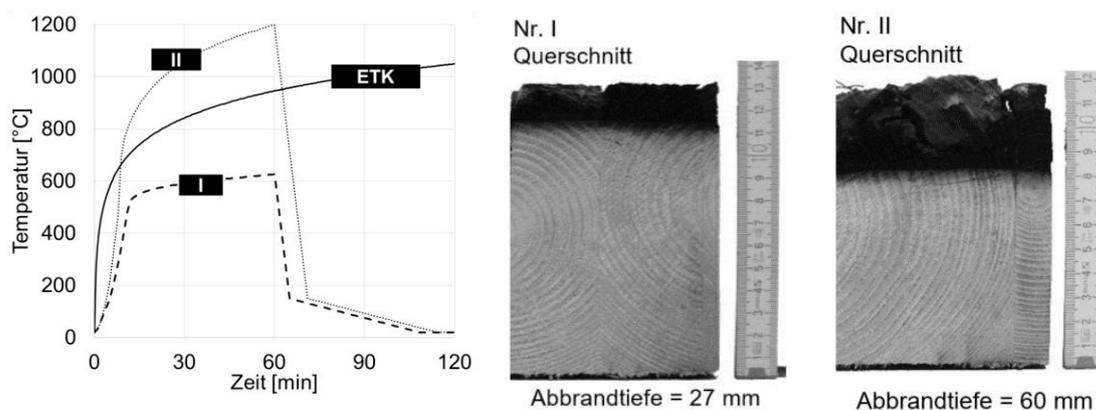
Eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse der Raumbrandversuche kann [16] entnommen werden.

## Abbrandverhalten von Holzbauteilen

Die Betrachtung jeder einzelnen Brandphase des Brandverlaufs zeigt, dass die Anwendung brennbarer Konstruktionsbaustoffe die Branddynamik sehr spezifisch beeinflussen kann. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse internationaler Untersuchungen wird in [22] gegeben.

Anfänglich geschützte Holzbauteile oder ungeschützte konstruktive Holzbauteile sind innerhalb der brandingenieurtechnischen Betrachtung als immobile Brandlast anzusehen, deren Beitrag in der Gesamtwärmefreisetzung eines Brandszenarios zu berücksichtigen ist. Als wesentliche ingenieurtechnische Hilfsgröße zur Beschreibung der zeitabhängigen pyrolytischen Zersetzung kann die Abbrandrate genutzt werden. Hieraus kann der zusätzliche zeitabhängige Beitrag der Wärmefreisetzung bestimmt werden. DIN EN 1995-1-2 [23] gibt für einseitig brandbeanspruchte Holzbauteile die Abbrandrate unter ETK mit einem Wert von  $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$  an. Zahlreiche Untersuchungen zeigen jedoch, dass innere und äußere Faktoren das Abbrandverhalten von Holz und Holzwerkstoffen beeinflussen, vgl. [24], und damit Auswirkung auf die brandraumspezifische Wärmefreisetzung haben können.

Als einer der wesentlichen Einflussfaktoren wird im Rahmen des Projektes TIM-puls die Auswirkung der Brandraumtemperatur und Brandraumatmosphäre auf das Abbrandverhalten von verschiedenen Holzarten und Holzwerkstoffen untersucht. Erste Studien bestätigen in Übereinstimmung mit internationalen Untersuchungen einen signifikanten Einfluss der genannten Parameter [24], [25].



*Bild 7 Abbrandtiefe für zwei unterschiedliche Temperaturbeanspruchungen für einseitig beanspruchte, 140 mm dicke Brettschichtholzelemente*

Aus den bisher durchgeführten Untersuchungen wird ersichtlich, dass

- die Temperatur-Zeitkurve der thermischen Einwirkung einen erheblichen Einfluss auf das Abbrandverhalten und den thermisch beeinflussten Bereich hinter der Abbrandgrenze besitzt,
- höhere Temperatureinwirkungen auch zu höheren Abbrandtiefen (vgl. Abbrandtiefen in Bild 7) aber zu geringeren thermisch beeinflussten Bereichen hinter der Abbrandgrenze führen,
- die 300°C Isotherme analog zu DIN EN 1995-1-2 auch für von der ETK abweichende Brandbeanspruchungen als hinreichend genaue Grenze für den Abbrand genutzt werden kann,
- exotherme Reaktionen an der Oberfläche, infolge von unverbrauchtem Sauerstoff, vor allem bei brandlastgesteuerten Bränden oder in der Abkühlphase zum Abbrand beitragen können,
- der in der Abkühlphase resultierende Abbrand und die Durchwärmung für konstruktive Holzbauteile nicht vernachlässigt werden darf und in der Tragwerksbemessung zu berücksichtigen ist.

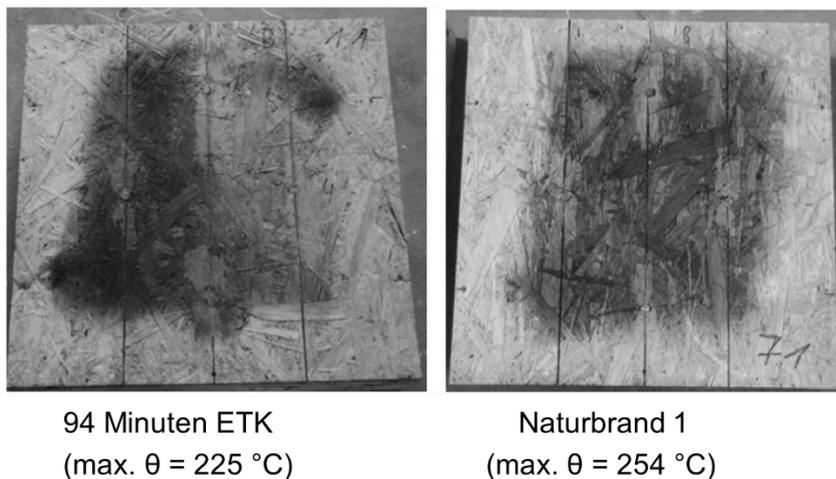
Es kann abgeleitet werden, dass sich Brandraumtemperatur und Abbrandrate stetig gegenseitig beeinflussen können und als gekoppeltes System anzusehen sind. Mit zunehmender Intensität der Brandeinwirkung steigt die Abbrandtiefe der beanspruchten Holzbauteile an, was wiederum in einer zusätzlichen Wärmefreisetzung resultiert und ggf. höhere und längere Brandraumtemperaturen zur Folge hat. Zur Beschreibung der einwirkungsspezifischen Abbrandrate unter Vollbrandszenarien lassen sich unter anderem empirische Äquivalenzansätze nutzen, die eine Beziehung zwischen der kumulierten thermischen Einwirkung und der Abbrandtiefe herstellen [24]. Die vorgenannte Kopplung zwischen Brandraumtemperatur und Abbrandrate kann z. B. innerhalb des vereinfachten Naturbrandmodells nach DIN EN 1991-1-2/NA [10] berücksichtigt werden.

Im Rahmen des Projektes werden darüber hinaus das Abbrandverhalten von verschiedenen Holzarten, Brandeinwirkungen und der Einfluss mehrseitiger Beanspruchung untersucht, um diese Zusammenhänge abschließend in der ganzheitlichen Betrachtung des Brandverlaufs und in der Beschreibung des Feuerwiderstandes von Holzbauteilen und Holzbaukonstruktionen zu berücksichtigen.

## Leistungsfähigkeit von Brandschutzbekleidungen

Orientierende Versuche zur Leistungsfähigkeit von Brandschutzbekleidungen wurden im Kleinmaßstab (beanspruchte Fläche der Proben = 500 x 500 mm<sup>2</sup>) in einem Brandofen gemäß DIN 4102-8 [26] durchgeführt. Die Temperaturentwicklung und Verkohlungsbilder für typische Brandschutzbekleidungen in der Grenzschicht Brandschutzbekleidung – Trägerplatte unter ETK sowie bei Naturbrandbeanspruchung (Naturbrand\_1) wurden analysiert. Für die Brandversuche bei Naturbrandbeanspruchung und bei einzelnen Brandversuchen unter ETK fand eine Betrachtung des Nachbrandverhaltens statt. Anhand der Versuchsergebnisse sollen Erkenntnisse für die Beurteilung der Kapselung der Bauteile gewonnen werden.

Die Trägerplatten für eine nach DIN EN 13501-2 [5] als K<sub>2</sub>60 klassifizierte Brandschutzbekleidung aus 2 x 18 mm Gipsplatte Typ DF unter 90minütiger Brandbeanspruchung durch die ETK als auch unter Beanspruchung durch den Naturbrand\_1 zeigen ein vergleichbares Verfärbungsbild (s. Bild 3). Entsprechend Bild 8 kann anhand der Verfärbung sowie der gemessenen Temperatur in der Grenzschicht eine Gleichwertigkeit dieser Versuchsergebnisse gefolgert werden. Eine Entzündung der Trägerplatten konnte trotz Verfärbung bei der Demontage nicht festgestellt werden.



*Bild 8 Verkohlungsbilder der Trägerplatten mit Brandschutzbekleidung aus 2 x 18 mm Gipsplatte Typ DF*

Durchgeführte Brandversuche unter Naturbrandbeanspruchung (Naturbrand\_1) zum Nachbrandverhalten mit einlagiger oder zweilagiger Bekleidung aus Gipsplatten Typ DF nach DIN EN 520 [27] auf einer 40 mm Massivholz-Trägerplatte zeigten kein positives Ergebnis im Hinblick auf ein Selbstverlöschen. Die Bekleidungsstärken variierten hierbei von 1 x 12,5 mm bis 1 x 25 mm sowie 2 x 15 mm und 2 x 18 mm. Für die ausgeführten Bekleidungsstärken konnte, ausgenommen der Variante mit 2 x 18 mm, bei allen Probekörpern unter der Naturbrandbeanspruchung ein Entzünden der Trägerplatte festgestellt werden.

Die gemittelte Temperaturentwicklung in der Grenzschicht zwischen Brandschutzbekleidung und Trägerplatte sowie die thermische Einwirkung der Naturbrandkurve zeigt Bild 9. Bei den Versuchskörpern mit 1 x 25 mm als auch 2 x 15 mm Gipsplatte erfolgte die Entzündung der Trägerplatte in der Abkühlphase der Naturbrandkurve aufgrund der Nacherwärmung durch die in der Brandschutzbekleidung gespeicherte Wärme. Alle Versuchskörper wurden nach einer Beobachtungsdauer, bei der sich ein selbstständiges Verlöschen der Trägerplatte nicht einstellte, manuell abgelöscht.

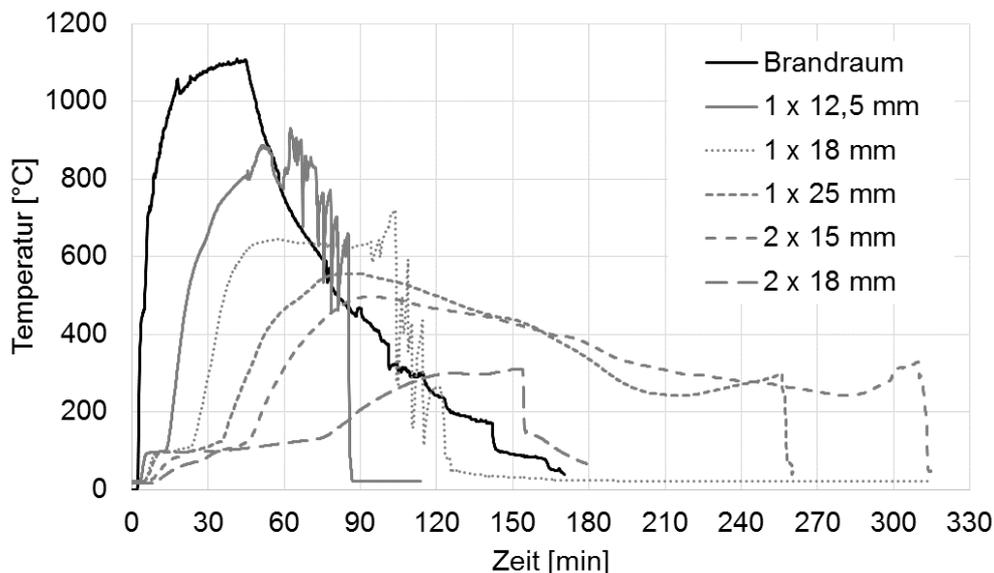


Bild 9 Brandraumtemperatur und gemittelte Temperaturentwicklung in der Grenzschicht Brandschutzbekleidung (Gipsplatte Typ DF) - Trägerplatte

Es lassen sich verschiedene Gründe benennen, die dazu geführt haben, dass die Versuchskörper nicht selbstständig verloschen sind. Zum einen hat sich ein Wärmestau in der Grenzschicht eingestellt, da die Brandschutzbekleidung bei der gesamten Versuchsdauer (Beflammungs – und Beobachtungsdauer) nicht abgefallen ist / abfallen konnte (teilweise bedingt durch die versuchstechnischen Randbedingungen). Zudem erfolgt die Durchwärmung der 40 mm Massivholz-Trägerplatte nur sehr träge. Dementsprechend konnte die in den Versuchskörper eingetragene Wärme nur sehr langsam an die Umgebung abgegeben werden. Zum anderen konnte kontinuierlich Sauerstoff aus der Umgebungsluft in die Verbrennungszone strömen, was dazu führte, dass die Flamen nicht von selbst verloschen sind. Dies fand über die vier Schmalseitenflächen des Versuchskörpers und über die sich öffnenden Fugen der verklebten Massivholzplatte statt, da der vom Hersteller verwendete Kleber nicht für eine derartige Temperaturbeanspruchung ausgelegt ist.

#### Großbrand- und Belegversuche

Im Zuge der ganzheitlichen Betrachtung erfolgt die Durchführung mehrerer Großbrandversuche sowie von zwei Belegversuchen. Die Großbrandversuche führen

die Erkenntnisse der klein- und mittelskaligen Brandversuche, unter der Berücksichtigung von Element- und Bauteilanschlüssen (Wand-Wand und Wand-Decke) zusammen. Die nach M-HolzBauRL [7] zulässigen Holzbauweisen - Holztafelbau und Holzmassivbau (Brettschicht- oder Brettsperrholzelemente) bzw. Hybrid-Bauweisen (Holz-Beton-Verbunddecken) werden hierbei einbezogen. Des Weiteren werden numerische Untersuchungen zu zulässigen ungeschützten Holzoberflächen und zur Ausbildung erforderlicher Brandschutzbekleidungen unter Naturbrandbeanspruchung in den Großbrand- und Belegversuchen validiert. In den Belegversuchen soll anhand eines zweigeschossigen Gebäudeausschnittes die ausreichende Brandsicherheit bei Holzgebäuden für die Schutzzielanforderungen der Gebäudeklasse 5 belegt werden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Bauen mit Holz wird in Deutschland mit Blick auf die gesetzten Klimaschutzziele zwangsläufig an Bedeutung gewinnen. Das Ziel der Interessenvertreter des Brandschutzes muss es sein, dieser Entwicklung nicht vorurteilshaft entgegen zu stehen, sondern unter Berücksichtigung der heutigen technischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse sinnvolle Konzepte für brandschutztechnisch sichere Gebäude zu entwickeln.

Zentrale Punkte in diesem Veränderungsprozess sind die Erfahrungen der Feuerwehren, die auch künftig wirksame Rettungs- und Löscharbeiten gewährleisten müssen. Nur unter Einbeziehung aller Beteiligten lassen sich ganzheitlich getragene Lösungen erreichen.

Die Anforderungen der Bauordnung, aufgrund derer für hohe mehrgeschossige Gebäude das erforderliche Schutzniveau neben dem Feuerwiderstand über die Nichtbrennbarkeit der Tragkonstruktion erreicht wird, erscheint überholt. Aus Sicht der Projektpartner ist es zielführender, das erforderliche Schutzniveau anhand von konkreten Leistungskriterien zu definieren. Dabei ist eine realistische Brandbeanspruchung, ein mögliches Selbstverlöschen, anlagentechnische Maßnahmen und eine wirksame Brandbekämpfung durch die Feuerwehr zu berücksichtigen. Wesentlich ist dabei, dass ein möglicher Brand für die Feuerwehr beherrschbar bleibt

Im Rahmen des Forschungsvorhabens TIMpuls wurden neben der Grundgenermittlung zur Schutzzieldefinition und zur bauordnungsrechtlichen Verwendung des Baustoffes Holz auch international durchgeführte Brandversuche mit sichtbaren Holzoberflächen zur Weiterentwicklung eines Naturbrandmodells, das aktuell sichtbare Holzoberflächen berücksichtigt, untersucht. Des Weiteren wurden bereits Raumbrandversuche sowie kleinmaßstäbliche Orientierungsversuche zur Leistungsfähigkeit von Brandschutzbekleidungen an der Technischen Universität Braunschweig, kleinmaßstäblicher Brandversuche zum Abbrandverhalten von unterschiedlichen Holzarten unter ETK bzw. Naturbrandkurve durch die Technische Universität München und Untersuchungen zum Nachbrandverhalten des Baustoffes Holz an der Hochschule Magdeburg-Stendal

durchgeführt. Im weiteren Verlauf des Jahres 2019 sowie in 2020 wird eine Reihe von Bauteilbrandversuchen folgen.

Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben sind auf der Projekt-Homepage [www.timpuls.tum.de](http://www.timpuls.tum.de) abrufbar.

## LITERATUR

- [1] timpuls.tum.de: Forschungsprojekt TIMpuls; in: Webseite des Forschungsprojekt TIMpuls, URL: <http://www.timpuls.tum.de>, (abgerufen am: 25.07.2019).
- [2] Musterbauordnung – MBO –. Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016.
- [3] Deutsches Institut für Bautechnik: Veröffentlichung der Muster - Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen Ausgabe 2017/1 mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dezember 2017.
- [4] DIN 4102-2:1977-09: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. 1977.
- [5] DIN EN 13501-2:2016-12: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 13501-2:2016. 2016.
- [6] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – M-HFHolzR. Fassung Juli 2004.
- [7] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 – M-HolzBauRL. Stand: 23.05.2019; (Anhörungsverfahren).
- [8] Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen Amt für Bauordnung und Hochbau: Bauprüfdienst (BPD) 2018-3 Bauen in Massivholzbauweise (BPD Massivholzbau). März 2018.
- [9] DIN EN 1991-1-2:2010-12. Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009. 2010.
- [10] 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. 2015.
- [11] Kampmeier, B.: Erweiterung des Holzbaus auf die GK 5 – Warum und wie? In: Tagungsband der 66. Jahresfachtagung der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes (vfdb) am 27.- 29. Mai 2019 in Ulm.
- [12] Zehfuß, J.; Kampmeier, B.: Bauordnungsrechtliche Situation und Forschungsarbeiten des Holzbaus in Deutschland. In: Tagungsband der 6.

Magdeburger Brand- und Explosionsschutztag am 25. und 26. März 2019 in Magdeburg.

- [13] Robert, F. et al.: ÉPERNON FIRE TESTS PROGRAMME - Test report n° 010617: CLT slab (Natural Fire Test – Scenario 1), CERiB Fire Testing Centre, Frankreich, 2019. <http://www.epernon-fire-tests.eu>.
- [14] Robert, F. et al.: ÉPERNON FIRE TESTS PROGRAMME - Test report n° 013597: CLT slab (Natural Fire Test, Scenario 2), CERiB Fire Testing Centre, Frankreich, 2019. <http://www.epernon-fire-tests.eu>.
- [15] Zelinka, S. et al.: Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building. General Technical Report FPL–GTR–247, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2018.
- [16] Brunkhorst, S.; Zehfuß, J.: Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Brandverlauf von Raumbränden mit immobilen Brandlasten. In: Tagungsband des SYMPOSIUM 2019 Heißbemessung -Structural Fire Engineering am 24. September 2019 in Braunschweig.
- [17] DIN 18232-2:2007-11. Rauch- und Wärmefreihaltung - Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderung und Einbau. 2007.
- [18] DIN 18232-5:2012-11. Rauch- und Wärmefreihaltung - Teil 5: Maschinelle Rauchabzugsanlagen (MRA); Anforderung, Bemessung 2012.
- [19] Su, J. et al.: Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 2 & 3 – Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests. National Research Council of Canada, Report number: FPRF-2018-01, Ottawa, Ontario, Kanada. 2018.
- [20] ISO 9705-1:2016-02: Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method for a small room configuration. 2016.
- [21] DIN EN 13353:2011-07: Massivholzplatten (SWP) – Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13353:2008+A1:2011.
- [22] Kagiya, K.; Werther, N.: State of the Art about how real fires may be influenced by structure, COST Action FP1404 Meeting, "Dissemination, standardization and implementation of novel improvements", Prague, Czech Republic 2. – 3. Februar 2017.
- [23] DIN EN 1995-1-2:2010-12: Eurocode 5, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Deutsche Fassung EN 1995-1-2:2004 + AC:2009.
- [24] Werther, N.: Einflussgrößen auf das Abbrandverhalten von Holzbauteilen und deren Berücksichtigung in empirischen und numerischen Beurteilungsverfahren. Dissertation am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, 2016.

- [25] Schmid, J; et al.: Timber under Real Fire Conditions – the Influence of Oxygen Content and Gas Velocity on the Charring Behavior, 9th International Conference on Structures in Fire (SiF), Princeton, USA, 8. – 10. Juni 2016.
- [26] DIN 4102-8:2003-10: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 8: Kleinprüfstand. 2003.
- [27] DIN EN 520:2009-12: Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 520:2004+A1:2009.