

# **Nachweis der Rauchdichtigkeit von Bauteilanschlüssen im Holzbau**

Björn Kampmeier  
Hochschule Magdeburg-Stendal  
Magdeburg, Deutschland



Patrick Sudhoff  
Hochschule Magdeburg-Stendal  
Magdeburg, Deutschland





# Nachweis der Rauchdichtigkeit von Bauteilanschlüssen im Holzbau

## 1. Einleitung

Die Nachfrage an ökologisch nachhaltigen Bauweisen mit hohen Anteilen an Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und insbesondere der Einsatz von Holz als Konstruktionswerkstoff hat in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen. Den Einsatzmöglichkeiten standen bzw. stehen in Deutschland oft bauordnungsrechtliche Hemmnisse entgegen. So war die Anwendbarkeit im Sinne präskriptiver Anforderungen lange Zeit auf Gebäude geringer Höhe (GK 1-3) bzw. auf die Kombination mit einer nichtbrennbaren brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung (GK 4) beschränkt.

Im Rahmen der Öffnung der Landesbauordnung des Bundeslandes Baden-Württemberg (LBO BW) 2015 zugunsten des mehrgeschossigen Holzbaus wurden Regelungen geschaffen, die den Einsatz von Baustoffen aus Holz als tragende und aussteifende Bauteile in Gebäuden bis zur Hochhausgrenze auch ohne eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung ermöglicht. So ist in der aktuell gültigen Fassung der LBO BW [1] die Verwendung von Holzbauteilen anstelle hochfeuerhemmender bzw. feuerbeständiger Bauteile möglich, sofern diese die Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses erfüllen und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind. Unter der Brandausbreitung ist im Allgemeinen die Ausbreitung von Feuer und Rauch zu verstehen, die sich unter anderem über Bauteil- und Elementfugen erstrecken kann.

Mit dem über das Land Baden-Württemberg sowie den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) geförderten Forschungsvorhaben «*Entwicklung einer Richtlinie für Konstruktionen in Holzbauweise in den GK 4 und 5 gemäß der LBO BW (HolzbauRLBW)*» wurde unter anderem der Fragestellung zum Einfluss von Bauteil- und Elementfugen auf die Brand- und Rauchausbreitung von Holzkonstruktionen nachgegangen. Gemeinsam wurden durch die Hochschule Rottenburg, die Hochschule Magdeburg-Stendal und die TU München praxisübliche Bauteilanschlüsse hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im Sinne der Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO-BW) 2019 entwickelt, untersucht und bewertet.

## 2. Bauordnungsrechtliche Grundlagen in Deutschland

Das deutsche Bauordnungsrecht fordert entsprechend § 14 Musterbauordnung (MBO), bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass «*der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind*» [2].

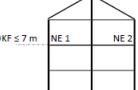
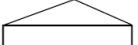
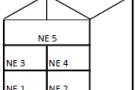
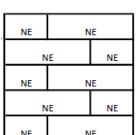
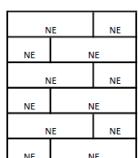
Aus diesen Vorgaben ergeben sich unter anderem Anforderungen an

- die Brennbarkeit der Baustoffe,
- die Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion, einschließlich der Begrenzung der Brand- und Rauchausbreitung auf definierte Bereiche,
- die (Rauch-)Dichtheit und den Feuerwiderstand der Verschlüsse von Öffnungen
- sowie die Anordnung, Lage und Gestaltung von Rettungswegen.

Die sicherheitstechnischen Aspekte des Brandschutzes zählen zu den wesentlichen Grundanforderungen an Bauprodukte bzw. Bauwerke und sind entsprechend als deskriptive Vorgaben Gegenstand der Musterbauordnung sowie der Landesbauordnungen. Die Anforderungen an Baustoffe, Bauteile und Bauwerke werden in Deutschland auf Grundlage des Systems der Gebäudeklassen (GK) geregelt.

Die Klassifizierung der Gebäude erfolgt auf Basis der Höhe des obersten Geschossfußbodens eines möglichen Aufenthaltsraumes über der Geländeoberfläche im Mittel sowie der Anzahl und flächenbezogenen Ausdehnung der Nutzungseinheiten. Abbildung 1 bietet die Übersicht der in der MBO definierten Gebäudeklassen.

## 4 Nachweis der Rauchdichtigkeit von Bauteilanschlüssen im Holzbau | B. Kampmeier, P. Sudhoff

GK 1a	GK 1b	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5
					
freistehende Gebäude OKF ≤ 7 m ≤ 2 NE	freistehende Gebäude land - und forst- wirtschaftliche Nutzung	nicht freistehend OKF ≤ 7 m ≤ 2 NE $\Sigma$ NE ≤ 400 m <sup>2</sup> ohne UG	sonstige Gebäude OKF ≤ 7 m	OKF ≤ 13 m $\Sigma$ NE ≤ 400 m <sup>2</sup> ohne UG	sonstige Gebäude -

NE = Nutzungseinheit

OKF = Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist

Abbildung 1: Darstellung der Gebäudeklasse gemäß Musterbauordnung

Gemäß der MBO 2016 [3] durften in GK 4 nur hochfeuerhemmende Bauteile aus im Wesentlichen nichtbrennbaren Baustoffen (F 60-AB bzw. (R)EI 60 mit A2-s1,d0) oder brennbaren Baustoffen mit einer brandschutztechnischen Bekleidung gemäß der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) [4] und nichtbrennbaren Dämmstoffen verwendet werden.

Die GK 5 erfordert gemäß MBO feuerbeständige Bauteile, die im Wesentlichen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen (F 90-AB bzw. (R)EI 90 mit A2-s1,d0 im Übrigen E-d2), womit Holz per Definition als Tragwerk sowie für raumabschließende Bauteile ausgeschlossen wurde.

Durch die Novellierung der Landesbauordnung in Baden-Württemberg 2015 wurde die Verwendung von Holz für hochfeuerhemmende und feuerbeständige Bauteile auch abweichend von den ursprünglichen Anforderungen – insbesondere der Verwendung von im Wesentlichen nichtbrennbaren Baustoffen bzw. der Notwendigkeit einer brandschutztechnischen Bekleidung – ermöglicht. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Bauteile und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind.

Vergleicht man die Situation für die Holzbauweise nach MBO 2016 [3] mit den Möglichkeiten nach LBO B-W [1] in Tabelle 1, so stellt man eine deutliche Diskrepanz der brandschutztechnischen Anforderungen für die verwendbaren Baustoffe fest.

Tabelle 1: Übersicht der derzeitigen Möglichkeiten für die Holzbauweise nach MBO (2016) und LBO BW (2019)

GK	Anforderung an Geschossdecken, tragende Wände, Stützen	Umsetzung nach MBO 2016	Umsetzung nach LBO B-W
1-3	keine bis feuerhemmend (30 Minuten Feuerwiderstand)	Bauteile aus brennbaren Baustoffen z.B. Fachwerkkonstruktion, Holztafelbau, Holzmassivbau	
4	hochfeuerhemmend (60 Minuten Feuerwiderstand zzgl. durchgehende Brandschutzbekleidung)	nichtbrennbar tragende und aussteifende Teile brennbar in Kombination mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung sowie Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt $\geq$ 1.000 °C nach M-HFHHolzRL	abweichend zu hochfeuerhemmenden Bauteilen sind Bauteile aus brennbaren Baustoffen ohne brandschutztechnisch wirksame Bekleidung sowie in Holzmassivbauweise zulässig z.B. Holztafelbau, Holzmassivbau
5	feuerbeständig (90 Minuten Feuerwiderstand)	im Wesentlichen nichtbrennbar z.B. mineralische Bauweise	abweichend zu feuerbeständigen Bauteilen sind Bauteile aus brennbaren Baustoffen zulässig z.B. Holztafelbau, Holzmassivbau

In den Gebäudeklassen 4 und 5 ist es nach § 26 LBO-BW [1] in Baden-Württemberg möglich, auch unbekleidete Holzbauteile zu verwenden, die jedoch aus Sicht des Brandschutzes weiterhin dem allgemein anerkannten Sicherheitsniveau der Bauordnung entsprechen müssen. Für den Holzbau und die verbundene Ausführung der Anschlussdetails kann daher die Gleichwertigkeit zu bisher allgemein akzeptierten Ausführungen als Bewertungsmaßstab herangezogen werden.

Zum Vergleich kann somit die Qualität der Anschlüsse unterschiedlicher mineralischer Bauweisen herangezogen werden, die bereits seit Jahrzehnten in den GK 4 und 5 eingesetzt werden. Dieser Standard, der beispielsweise in anerkannten Regeln der Technik bzw. Regelwerken wie der DIN 4102-4 [5] beschrieben wird, ist im Rahmen des Projektes HolzbauRLBW als wesentliche Grundlage zur Bewertung entsprechender Anschlussdetails im Holzbau herangezogen worden. Dabei sollen nach derzeitigem Sicherheitsniveau zugelassene Bauteile verschiedener Bauweisen (z.B. Massivbau, Trockenbau- mit Holztafelbauwand) verglichen werden, aus denen sich Anschlussdetails für den mehrgeschossigen Holzbau ergeben.

Der Raumabschluss ist nach DIN EN 13501 definiert als «Fähigkeit eines Bauteils mit raumtrennender Funktion, der Beanspruchung eines nur an einer Seite angreifenden Feuers so zu widerstehen, dass ein Feuerdurchtritt [...] verhindert wird.» [6]

Als Prüfkriterien gemäß DIN EN 1363 [7] werden dabei die Versagensmerkmale «Spalt-/Rissbildung», «Entzündung eines Wattebausches» bzw. dauernde Entflammung auf der feuerabgewandten Seite verwendet. Hierbei soll festgestellt werden, ob Heißgase durch mögliche Einrisse im Prüfkörper auf der feuerabgewandten Seite in signifikanter Menge auftreten. Der Raumabschluss gilt als nicht mehr gewahrt, wenn entweder

- der Wattebausch entzündet wird, d.h. er entflammt oder glimmt oder
- die 6-mm bzw. 25 mm-Spaltlehren in Spalten entlanggeführt werden bzw. durch Spalten bis in den Prüfofen hineingeführt werden können oder
- eine andauernde Flammenbildung auf der feuerabgewandten Seite auftritt.

Mit den dargestellten Methoden werden indirekt die Beschädigungen des Bauteils infolge der Temperaturbeaufschlagung erfasst. Zudem lässt sich in Feuerwiderstandsprüfungen an raumabschließenden Bauteilen ein Rauchaustritt an der brandabgewandten Seite optisch registrieren. Jedoch fordert nur die Prüfung nach DIN 4102-2 [8] eine Beobachtung und Bewertung des Maßes der Rauchentwicklungen während des Versuchs. Eine quantitative Beurteilung des Rauchdurchtritts in Form eines Leckagestroms oder einer Beurteilung der Toxizität sind kein Bestandteil der durchgeführten Prüfverfahren. Ausnahme bildet hier nur die Beurteilung des Leckagestroms an Feuerschutzabschlüssen bis zu einem Temperaturniveau von 200°C.

### **3. Untersuchung des Brandverhaltens von Bauteil- und Elementfugen**

Ergänzend zu den normativen Kriterien wurde innerhalb des Projektes die Qualität der Bauteil- und Elementfugen auch im Hinblick auf den Durchtritt von Rauchgasen messtechnisch erfasst. Die quantitative Beurteilung des Rauchgasdurchtrittes ist innerhalb der Klassifizierung raumabschließender Bauteile nach DIN EN 13501 nicht vorgesehen und erfolgt im Prüfverfahren nach DIN 4102-2 für die raumabschließende Funktion der Fläche lediglich rein optisch. Für die quantitative Beurteilung des Rauchdurchtritts in Form eines Leckagestroms sowie einer Beurteilung der Toxizität, insbesondere durch die Anschlussfuge wurde ein Messverfahren auf Grundlage bestehender Ansätze mittels eines Rauchauffangkastens (RAK) weiterentwickelt. Dabei wurde ein neuer Ansatz zur direkten Messung eines Volumenstroms mittels einer Strömungssonde sowie einer simultanen Rauchgasanalytik gewählt. Eine ausführliche Beschreibung der messtechnischen Grundlagen kann [9] entnommen werden.

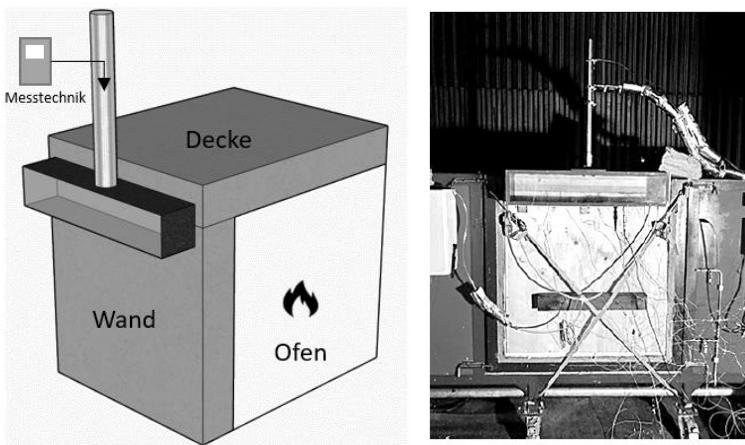


Abbildung 2: 1 m x 1 m Bauteilofen mit angeschlossenem Rauchauffangkasten

Für die Untersuchung der Feuerwiderstandsfähigkeit gemäß §26 (3) LBO BW [1] bzw. die Erbringung des Nachweises der Widerstandsfähigkeit gegen die Brandausbreitung im Hinblick auf Bauteil-, Element- und Installationsfugen wurden im Rahmen des Vorhabens HolzbauRLBW über 15 Brandversuche mit ca. 1 m x 1 m großen Wand- und Deckenbauteilausschnitten durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

Der Versuchskatalog enthält eine Reihe von Anschlussdetails praxisrelevanter Bauteilfugen von Elementen in Holztafel- und Holzmassivbauweise auf Basis von Verwendbarkeitsnachweisen bzw. technischen Regeln. Dabei wurden sowohl bekleidete als auch unbekleidete Bauteilaufbauten betrachtet. Ergänzt wurden die Versuchsreihen um die Untersuchungen von Elementfugen und Durchdringungen haustechnischer Installationen. Die Grundlage zur Versuchsdurchführung bildete dabei die Reduzierung der Bauteilaufbauten auf die brandschutztechnisch notwendige Schicht, womit eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine Vielzahl von Bauteil- und Anschlussvarianten mit mehr Bauteilschichten auf der sicheren Seite gewährleistet bleibt.

Für die vollständige Dokumentation der Versuche, welche dem Projekt zugrunde liegen, insbesondere der Auswertung von Versuchen aus anderen nationalen und internationalen Forschungsvorhaben, wird auf den veröffentlichten Abschlussbericht [10] verwiesen.

Für die Ausbildung der Fügestellen wurden unterschiedliche Dichtprinzipien wie Klebebänder / -schnüre, Schallschutzlager, Komribänder oder Brandschutzmassen betrachtet. Aufgrund des Versuchsaufbaus ist davon auszugehen, dass die Brandversuche ein kritisches Szenario darstellen, da die relevante luft- bzw. rauchdichte Ebene im Vergleich zur späteren Ausführung näher bis unmittelbar an der brandabgewandten Seite liegt. Dabei wurden neben Ausführungen in Holzbauweise mineralische Bauweisen wie Stahlbeton- oder Trockenbauweisen vergleichend betrachtet.

Die Wand- bzw. Deckenelemente wurden zunächst zu L-förmigen Bauteilen zusammengelegt und in die Öffnung des Kombiofen der Hochschule Magdeburg-Stendal eingebracht. Der an der brandabgewandten Seite der Fügung angebrachte Rauchauffangkasten (RAK) lieferte zusammen mit der Messtechnik eine quantitative Bestimmung des Leckagestroms, die in Kombination mit einer Gasanalytik eine direkte Bestimmung der Volumen- bzw. Massenströme relevanter Rauchgaskomponenten ermöglichte. Die Versuchsdurchführung erfolgt in Anlehnung an die DIN EN 1363-1 [7] sowie DIN EN 1365-1/1365-2 [11, 12] mit einseitiger Beflammlung eines gasbefeuerten Ofens - ohne Prüflast - über einen Zeitraum von 60 bzw. 90 Minuten mittels Einheits-Temperaturzeitkurve. Es wurde ein Ofenüberdruck von 20 Pa angestrebt. Für die Temperaturerfassung am Bauteil wurden NiCr-Ni-Thermoelemente vom Typ K in den Viertelpunkten der flächigen Bauteile sowie in der Fuge angeordnet. Nach Versuchsende wurde der RAK demontiert und der Probekörper aus der Ofenöffnung herausgehoben, abgesetzt und abgelöscht. Im Anschluss erfolgte eine Auf trennung der Bauteile zur Feststellung der Abbrandtiefe.

Die Auswertung der im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes durchgeführten Versuche ergibt, dass das Brandverhalten von Bauteil- und Elementfugen von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist.

Hierzu zählen unter anderem:

- das Spaltmaß,
- die Zusammensetzung der Materialien, die zwischen den Kontaktflächen angeordnet sind,
- die Zusammensetzung der Materialien, welche die Fuge brandraumseitig abdecken oder verschließen,
- die Zusammensetzung der Materialien, welche die Fuge auf der brandraumabgewandten Seite abdecken oder verschließen,
- die Beschaffenheit der Kontaktflächen
- und der Anschluss flankierender Bauteile.

Zur Untersuchung des Einflusses durch das Spaltmaß wurde in Versuch D1 ein 140 mm dickes Brettsperrholzelement mit den drei Fugenabständen 3, 5 und 10 mm hergestellt. Die Fugen wurden auf der brandabgewandten Seite mit Klebebändern, die üblicherweise für die Herstellung luftdichter Bauteilanschlüsse verwendet werden, abgedichtet. In der Mitte der Fuge (70 mm tief) wurden je Spalt insgesamt drei Thermoelemente eingebracht, die mittleren Temperaturen je Fuge sind in Abbildung 3 dargestellt.

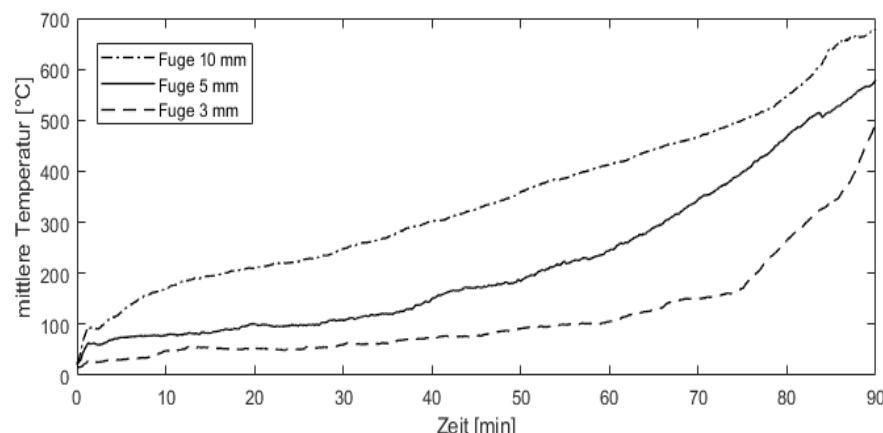


Abbildung 3: Gemessene Temperaturen in Fugenmitte (Versuch D1)

Während es bei der 10 mm-Fuge bereits bei Versuchsbeginn zu einem deutlichen Anstieg oberhalb von 100 °C kommt, zeigt sich diese Entwicklung bei der 5 mm-Fuge nach ca. 30 Minuten und bei der 3 mm-Fuge erst nach 60 Minuten. Die im Bauteil enthaltene Feuchtigkeit bildet dabei zunächst eine physikalische Begrenzung der Maximaltemperaturen an der Kontaktfläche. Bis zu einer Fugenbreite von 3 mm wird diese Begrenzung über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten, bevor das Wasser durch den konvektiven Wärmestrom vollständig verdampft ist.

Je größer der Querschnitt der Fuge, desto höhere Temperaturen sind im Verlauf der Fuge zu erwarten. Durch die Querschnittsvergrößerung kommt es zu einem verstärkten konvektiven Wärmestrom in der Fuge, der je nach Fugenabstand zu einer unterschiedlichen Durchwärmung führt. Eine Möglichkeit zur Verminderung des Wärmeeintrags stellt daher die Begrenzung des Spaltmaßes in Kombination mit weiteren Maßnahmen dar, welche die Fuge auf der brandabgewandten Seite abdecken oder verschließen (siehe Abbildung 4).

Neben der Begrenzung des Fugenabstandes können Maßnahmen in der Kontaktfuge ebenfalls zu einer Verbesserung des Brandverhaltens der Fügung führen. Die damit verbundene Erhöhung des Strömungswiderstandes führt sowohl zu einer Begrenzung des konvektiven Wärmestroms als auch des Rauchdurchtritts. In Versuchen mit komprimierten mineralischen Dämmstoffstreifen konnte der Rauchdurchtritt durch den eingelegten Mineralwollstreifen deutlich und hinreichend reduziert, jedoch nicht vollständig verhindert werden. Die Maximaltemperatur in Fugenmitte betrug maximal 100 °C.

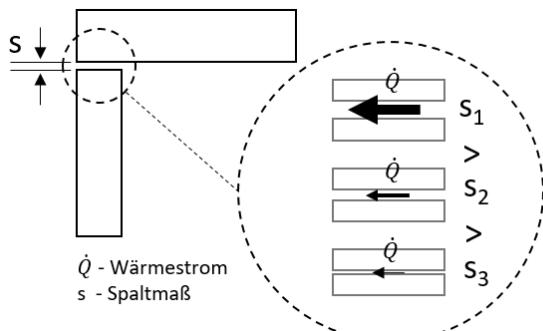


Abbildung 4: Einfluss des Spaltmaßes auf den Durchtritt von Feuer und Rauch

Vergleichbare Ergebnisse wurden in Versuchen mit komprimierten Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen erzielt. Hier kam es zwar aufgrund der Brennbarkeit des Materials zu einer thermischen Zersetzung des ersten Zentimeters des Dämmstoffstreifens, jedoch nicht zu einem erhöhten Rauchdurchtritt. Zudem wurde nach Ende des Versuchs kein kontinuierliches Schwelen beobachtet. Eine Möglichkeit zur Verhinderung bzw. Begrenzung der thermischen Zersetzung stellen Maßnahmen wie Brandschutzdichtmassen oder vollflächige Abdeckungen durch Bekleidungen dar, welche die Fuge brandseitig abdecken oder verschließen.

Zu weiteren Maßnahmen innerhalb der Kontaktfläche können Dichtbänder gezählt werden, welche entweder entsprechend thermisch beständig / intumeszierend sind oder aber mit entsprechendem Abstand innerhalb einer thermisch unkritischen Zone angeordnet werden. Eine entsprechende Begrenzung des Rauchdurchtritts konnte in einem zugehörigen Brandversuch (A2) mit Anordnung eines Komribands außerhalb der thermisch kritischen Zone über die gesamte Versuchszeit nachgewiesen werden.

Im Holzbau werden innerhalb der Kontaktfläche aus Schallschutzgründen oftmals SchalldämmLAGER angeordnet. Um diese DämmLAGER auch für die Begrenzung des Durchtrittes von Feuer und Rauch ansetzen zu können, ist es notwendig, dass die in der Kontaktfuge angeordneten meist brennbaren Baustoffe während des Brandverlaufs nicht über die gesamte Fugenlänge abschmelzen und ein hinreichender Restquerschnitt erhalten bleibt. Zum Schutz der Fuge können beispielsweise nichtbrennbare Bekleidungen infrage kommen, die im Bereich der Fuge mit entsprechenden Abdichtungsmaßnahmen wie Gipsspachtel oder intumeszierender Brandschutzmasse verschlossen werden, siehe Abbildung 5.

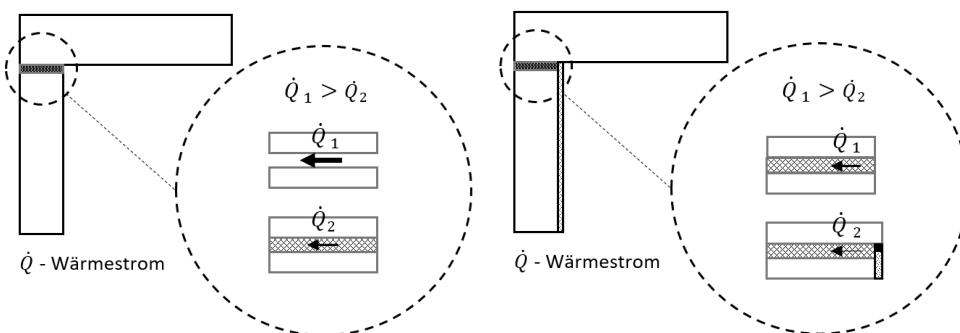


Abbildung 5: Einfluss von Materialien in der Kontaktfläche sowie an der Außenseite der Fuge auf den Durchtritt von Feuer und Rauch

Entsprechende Versuche mit Elastomerlagern (B1, B2) als auch Sand-Waben-Lagern (C1) zeigten bei einem Schutz durch nichtbrennbare Bekleidungen in Kombination mit Dichtstoffen bei einer Fugenbreite von 100 mm und einer Beflammlung über 90 Minuten eine Abbrandtiefe von maximal 50 % der Fugenfläche. Aufgrund einer entsprechenden Einbringung von (auch brennbaren) Materialien wie Dämmstoffen oder SchalldämmBändern in die Kontaktfläche bei Begrenzung des Fugenabstandes in Kombination mit weiteren Dichtungsmaßnahmen wie Brandschutzdichtmassen oder Klebebändern, welche im thermisch unkritischen Bereich angeordnet werden (Versuch A1), kann der Rauchgasdurchtritt somit deutlich begrenzt werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Übertragung von Rauch raumabschließender Bauteile besteht auch über die angrenzenden flankierenden Bauteile. So können beispielsweise Lamellenfugen oder konstruktiv bedingte Risse, die über raumabschließende Bauteile hinweg verlaufen, zu einer Ausbildung eines Strömungspfades rechtwinklig zur Fuge führen (siehe Abbildung 6). Aber auch Decken mit Hohlräumen, die über eine raumabschließende Wand hinweggeführt werden (z.B. eine Holztafeldecke) können prinzipiell zu einer Rauchweiterleitung in die Decke oberhalb externer Nutzungseinheiten führen. Aus diesem Grund sind entsprechende Maßnahmen wie die Versiegelung/Abdeckung von Lamellenfugen bzw. die Anordnung einer Verblockung bei Holztafellementen vorzusehen.

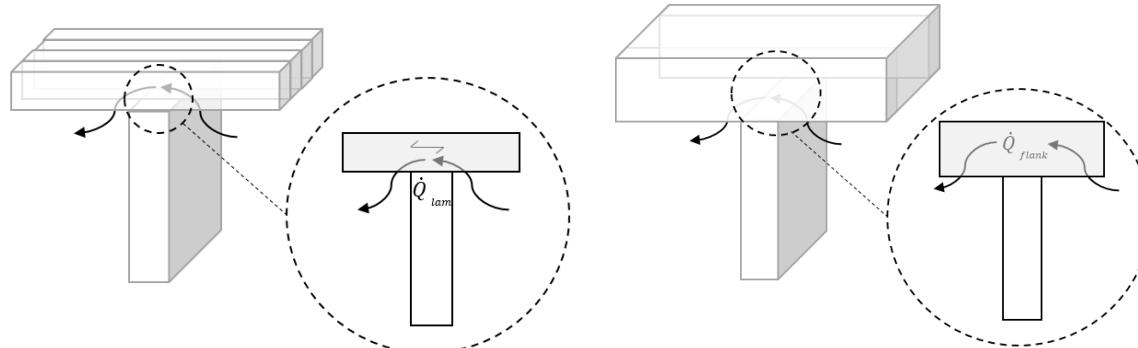


Abbildung 6: Durchtritt von Feuer und Rauch über flankierende Bauteile

Um eine Einordnung der Messwerte zum Stand der Technik entsprechender mineralischer Anschlüsse herzustellen, wurden Anschlussdetails aus der DIN 4102-4 als eingeführte technische Baubestimmung herangezogen. In Versuch F1 wurde ein Mauerwerksanschluss ( $b = 100 \text{ mm}$ ) an eine Stahlbetondecke gemäß DIN 4102-4 [5], Kap. 9 untersucht. Der mineralische Dämmstoffstreifen mit  $d = 90 \text{ mm}$  wurde auf eine Dicke von 30 mm komprimiert, sodass eine Rohdichte im Einbauzustand von  $\geq 90 \text{ kg/m}^3$  erzielt wurde. In Versuch F3 wurde ein gleitender Trockenbauanschluss DIN 4102-4 [5], Kap. 10 betrachtet. Hierzu wurde das UW-Profil deckenseitig mittels drei Gipsplattenstreifen mit je  $d = 12,5 \text{ mm}$  gleitend an der Decke befestigt. Die Referenzversuche werden nachfolgend mit praxisüblichen Holz-Holz-Anschlüssen verglichen (siehe Tabelle 1). Der Vergleich der normierten Volumenströme ist in Abbildung 7 dargestellt.

Das Erreichen der Maximaltemperaturen von  $100^\circ\text{C}$  in der Fugenmitte konnte auch in den mineralischen Referenzversuchen mit gleitendem Trockenbauanschluss und einem Mauerwerksanschluss beobachtet werden. Weiterführend wurde mithilfe der Rauchgasanalytik verglichen, ob die untersuchten Bauteilanschlüsse aus brennbaren Baustoffen mindestens die Dichtigkeit der mineralischen, nichtbrennbaren Referenzbauteile aufwiesen. Mit Ausnahme von Versuch A1 (zeitweiser Rauchdurchtritt durch eine Lamellenfuge) weisen alle Versuche mit Holz-Holz-Anschlüssen einen geringeren Rauchgasvolumenstrom als die beschriebenen mineralischen Vergleichsanschlüsse auf. Die Abgastemperatur stieg innerhalb des Versuchszeitraums bei den Holz-Holz-Anschlüssen (Versuche A1, A2, B1, B2, C1) um maximal 10 K an. Bei den Versuchen F1 (+ 40 K) und F3 (+ 45 K) konnten höhere Abgastemperaturen beobachtet werden. Weiterhin konnte insbesondere bei Versuch F3 im Gegensatz zu den Holz-Holz-Anschlüssen ein signifikant höherer CO / CO<sub>2</sub>-Massenstrom festgestellt werden, womit die höheren Messwerte des Abgasvolumenstroms durch eine zusätzliche Größe bestätigt werden konnten.

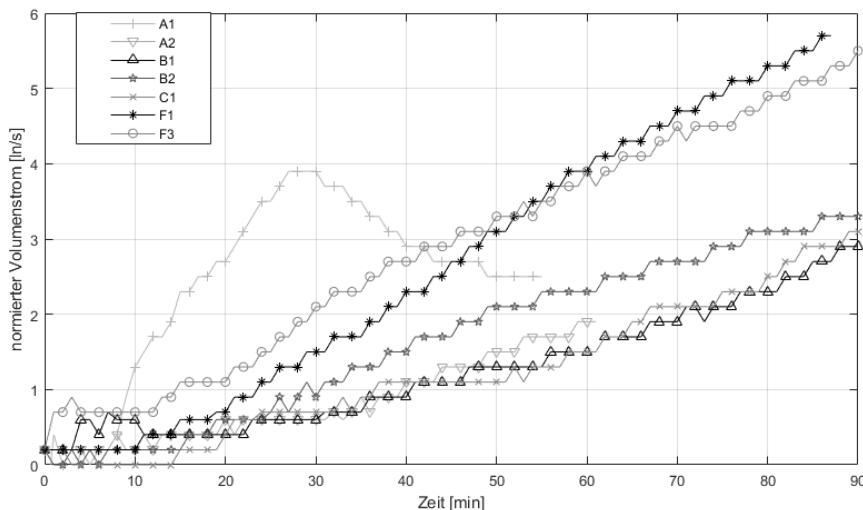


Abbildung 7: Vergleich der normativen Netto-Volumenströme zwischen Bauteilanschlüssen von brennbaren und nichtbrennbaren Bauteilen

Tabelle 2: Übersicht der Hauptversuchsreihe für Bauteilanschlüsse (Legende Bild 7)

Versuch	Beanspruchung	Decke	Wand	Anschluss		
				Brandab-gewandt	Kontakt-fläche	Brand-zu-gewandt
A1	60 min ETK	BSP	BSP	KLB	-	-
A2			HTB	KLB	KB	-
B1	90 min ETK	BSP	BSP	KLB	EL	V
B2			HTB	KLB	EL	BS
C1		HTB	BSP	-	SW	V
F1		STB	MW	DIN 4102-4:2016-05, Kap. 9		
F3		STB	TB	DIN 4102-4:2016-05, Kap. 10		

BSP – Brettsperrholzelement, HTB – Holztafelelement, MW – Mauerwerk, TB – Trockenbau, KLB – Klebeband, KB – Kompriband, EL – Elastomerlager, V – Verspachtelung, BS – Brandschutzdichtmasse, SW – Sand-Waab-Lager

Der Vergleich mit den Referenzversuchen hinsichtlich des Rauchdurchtritts zeigt, dass Holz-Holz-Anschlüsse in der Lage sind, mindestens dieselben Leistungskriterien wie dem Stand der Technik entsprechende, bauaufsichtlich zugelassene, nichtbrennbare Konstruktionsweisen zu erfüllen. Der Nachweis der Erfüllung der Schutzziele zur Verhinderung des Durchtrittes von Feuer und Rauch kann somit unter Festlegung von entsprechenden Randbedingungen für Holzbauanschlüsse erbracht werden. Nachfolgend sollen die wesentlichen Randbedingungen zur Erfüllung der notwendigen Voraussetzungen vorgestellt werden. Ein Schwerpunkt liegt dabei in der Kombination von Maßnahmen zur Erfüllung der baupraktisch ohnehin vorhandenen Anforderungen an die Luftdichtheit mit den Anforderungen zur Begrenzung des Rauchdurchtritts.

## 4. Feststellungen und Empfehlungen zur konstruktiven Ausführung von Bauteil- und Elementfugen

Anhand der vergleichenden Untersuchungen zwischen mineralischen und holzbautypischen Anschlussvarianten ergeben sich folgende zentrale Erkenntnisse aus der quantitativen Beurteilung des Rauchdurchtritts durch die Anschlussfuge [10]:

- Es gibt keine absolute Rauchdichtheit.
- Die Ausführung einer luftdichten Ebene zwischen Nutzungseinheiten ist eine notwendige Maßnahme zur Begrenzung des Rauchdurchtritts.
- Die luftdichte Ebene muss für die Dauer der vorgesehenen Brandeinwirkung dauerhaft erhalten bleiben. Brandschutztechnisch wirksame Maßnahmen auf der brandzugewandten Seite, die im Regelfall beidseitig ausgeführt werden, verringern den Rauchdurchtritt zusätzlich und erhöhen die Ausfallsicherheit des Gesamtsystems. Diese Dopplung erzeugt zudem eine erhöhte Robustheit, da bei kleinen einseitigen Defekten weiterhin keine Strömungen entstehen können. Die Schall- und Geruchsschutzeigenschaften der Bauteilanschlüsse werden ebenfalls verbessert.
- Abweichend zu DIN 4102-2 ist die Einhaltung des EI-Kriteriums nach DIN EN 13501-2 zwar Grundvoraussetzung für eine Beurteilung der Bauteilfuge, aber allein keine hinreichende Bedingung zur Beurteilung der Rauchdichtheit. Durch die Einhaltung der in [13] angegebenen konstruktiven Randbedingungen ist jedoch die Äquivalenz der Rauchdichtheit entsprechend der allgemein anerkannten Regeln der Technik aller Bauweisen gegeben.
- Übliche Anschlüsse von Bauteilen in Holztafelbauart und Massivholzbauart sind im Bezug zum Rauchdurchtritt gleichwertig zu seit langem akzeptierten Anschlüssen von mineralischen Bauteilen.
- Zu raumabschließenden Bauteilen flankierende, durchgehende Bauteil-, Lamellen und Elementfugen erfordern zusätzliche Maßnahmen sowie die Unterbrechung des Übertragungsweges im Anschlussbereich. Unbekleidete Bauteile können weitergehende Maßnahmen in der Lamellen- / Element- / Bauteilfuge erfordern.

Unter Anwendung der oben genannten Grundsätze kommen für die Ausführung der Fugen unterschiedliche Maßnahmen infrage. Die Ausführungsvarianten können in Abhängigkeit des geplanten Spaltmaßes  $s$  in der Fuge ausgewählt werden. Hierbei kann zwischen Maßnahmen in der Kontaktfläche sowie Maßnahmen auf der brandzu- und -abgewandten Seite unterschieden werden. Eine Auswahl von Maßnahmen ist in Tabelle 3 dargestellt. Für die vollständige Beschreibung der Anwendungsleitlinien wird auf die Informationsdienst Holz Broschüre «Leitdetails für Bauteilanschlüsse in den Gebäudeklassen 4 und 5» verwiesen [13].

Eine ausreichend lange Widerstandsfähigkeit gegen die Brandausbreitung ist bei Bauteilanschlüssen grundsätzlich gegeben, wenn diese Anschlüsse einen ausreichend hohen Widerstand gegenüber thermischer Beanspruchung und einen ausreichend hohen Widerstand gegenüber (Luft-)Strömung bzw. Rauch (d.h. Rauchdichtheit) aufweisen.

Innerhalb des Vorhabens wurde ermittelt, welche Randbedingungen eingehalten werden müssen, damit die beiden oben aufgeführten Eigenschaften ausreichend lange erhalten bleiben. Der Widerstand gegenüber thermischer Beanspruchung beruht vorrangig auf der Wahl und Anordnung der Baustoffe und auf den geometrischen Abmessungen derselben. Der Widerstand gegenüber (Luft-)Strömung bzw. Rauch hängt primär von der Qualität der Ausführung und der Einhaltung von zulässigen Toleranzen (Maßhaltigkeit) ab. Bei einer korrekten Ausführung ist somit davon auszugehen, dass die Widerstände der Anschlüsse gegenüber thermischer Beanspruchung und gegenüber Strömung ausreichend hoch sind. Die Maßnahmen zur Sicherstellung der ausreichenden Rauchdichtheit, also die Maßnahmen zur Realisierung eines ausreichenden Strömungswiderstandes, erfolgen entweder konstruktiv, über die gesamte Bauteilfuge, oder mittels zusätzlicher dichtender Maßnahmen (z.B. Klebebänder) auf der brandabgewandten und somit «kalten» Seite der Fügung.

Tabelle 3: Klassifizierung der Spaltmaße und Übersicht möglicher Maßnahmen aus [13]

S	Außenwand	Trennwand	Prinzip	(1)	(2)	(3)
				Maßnahme auf der brandzugewandten Seite	Maßnahme in der Kontaktfläche zwischen den Holzbauteilen	Maßnahme auf der brandabgewandten Seite
1	$\leq 0,5 \text{ mm}$			keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig
2	$\leq 2 \text{ mm}$			keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	Verspachtelung oder Verfugung Brandschutzdichtmasse / -stoffe / -bänder Dauerelastische Verfugung Dichtbänder
3	$\leq 2 \text{ mm}$ vi			keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	vollflächige Abdeckung mit Bekleidung / Fußbodenaufbau luftdichte Abklebung
4	$\leq 5 \text{ mm}$			Brandschutzdichtmasse / Brandschutzstoffe / Brandschutzbänder	Dämmstoff [B2]	keine Maßnahme notwendig
5	$\leq 5 \text{ mm}$			vollflächige Abdeckung mit Bekleidung / Fußbodenaufbau	Dämmstoff [B2]	keine Maßnahme notwendig
6	$\leq 15 \text{ mm}$			Brandschutzdichtmasse / Brandschutzstoffe / Brandschutzbänder	Dichtungsstreifen / SchalldämmLAGER bzw. Brandschutzdichtmasse	keine Maßnahme notwendig
7	$\leq 15 \text{ mm}$			vollflächige Abdeckung mit Bekleidung / Fußbodenaufbau	Dichtungsstreifen / SchalldämmLAGER bzw. Brandschutzdichtmasse	keine Maßnahme notwendig
8	$\leq 30 \text{ mm}$			keine Maßnahme notwendig	Mineralwolle [A]	keine Maßnahme notwendig

s Spaltmaß in mm

(A) raumabschließendes Bauteil / Element

(B) raumabschließendes Bauteil / Element

Eine besondere Herausforderung stellen Anschlüsse von flankierenden Bauteilen dar, da hier die Gefahr einer Brandweiterleitung über eine raumabschließende Konstruktion hinweg besteht (siehe Abb. 8). In Bezug auf die bisherigen Grundlagen der M-HFHHolzR [4] würde die klassifizierte Brandschutzbekleidung eine Rauchweiterleitung wirksam verhindern. Auf Basis der aktuellen bauaufsichtlichen Grundlagen (u.a. der LBO BW) können jedoch reduzierte Bekleidungen ausgeführt werden, die nicht den Anforderungen der M-HFHHolzR entsprechen bis hin zu deren vollständigem Verzicht. Um eine Gleichwertigkeit zu erzielen, ist daher eine entsprechende Maßnahme in der Fügung des flankierenden Bauteiles zur Begrenzung des Rauchdurchtritts anzugeben. Hierfür eignen sich beispielsweise ein Mineralwolle-Schott nach DIN 4102-4 oder eine Verblockung aus Holz (siehe Abbildung 8).

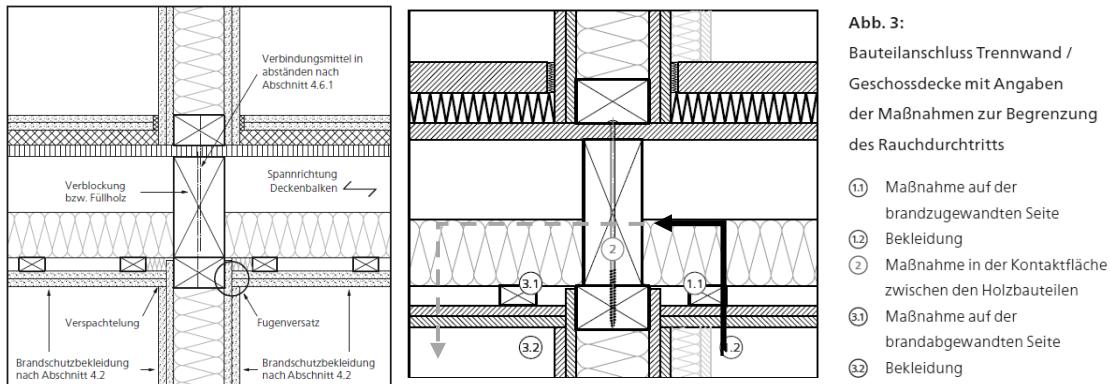


Abbildung 8: Anschluss Trennwand/Geschossdecke mit Anforderungen der MHolzbauRL [14] sowie Maßnahmen zur Begrenzung des Rauchdurchtritts [13]

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte bestätigt werden, dass ein Mineralwolle-Schott nach DIN 4102-4 [5] zwar die Anforderungen hinsichtlich des Raumabschlusses und des Temperaturdurchgangs (EI-Kriterien nach DIN EN 13501-2 [6]) erfüllt. Da das Mineralwolle-Schott jedoch ohne entsprechende Kompression eingebracht werden darf, muss auf Grundlage der Versuchsergebnisse davon ausgegangen werden, dass größere Mengen (kalter) Rauchgase über den Bauteilanschluss hinweg transportiert werden können. Im Sinne einer zusätzlichen Robustheit hinsichtlich des Personen- und Sachwertschutzes wird daher über die Mindestschutzziele hinaus die Anordnung einer Verblockung mit entsprechender Qualität für Holztafelbauweisen bei flankierenden Bauteilen empfohlen.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Beschluss des baden-württembergischen Landtags vom 5. November 2014 zur Novellierung der Landesbauordnung (LBO BW) und deren Inkrafttreten zum 1. März 2015 wurden in Baden-Württemberg baurechtskonform Bauvorhaben in Holzbauweise bis zur Hochhausgrenze möglich. Vor diesem Hintergrund bedurfte es zur Planung und Umsetzung entsprechender Bauvorhaben jedoch Leitdetails hinsichtlich bewerteter Bauteile bzw. insbesondere geeigneter Bauteilanschlüsse mit dem Fokus auf deren Beurteilung hinsichtlich des Raumabschlusses. Daher wurden im Vorhaben HolzbauRLBW in vorheriger Abstimmung mit der Obersten Bauaufsicht des Landes Baden-Württemberg vorrangig praxisübliche Bauteilanschlüsse hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im Sinne der LBO BW in der zuletzt am 18. Juli 2019 geänderten Fassung untersucht und weiterentwickelt.

Die Entwicklung von Leitdetails ist insbesondere auf Grund der fortschreitenden Novellierung der Landesbauordnungen als auch der Musterbauordnung (MBO) sowie der MHolzbauRL im Hinblick auf eine Öffnung zugunsten des mehrgeschossigen Holzbaus von elementarer Bedeutung. Mehrere Bundesländer haben bereits ihre Landesbauordnung hinsichtlich der Zulässigkeit von Bauteilen aus brennbaren Baustoffen, an die hochfeuerhemmende bzw. feuerbeständige Anforderungen bestehen, angepasst. In der aktuellen MBO [2] erfolgte dies ebenfalls mit Verweis auf technische Baubestimmungen. Durch die MHolzbauRL (2020) [14] liegt eine solche technische Baubestimmung bereits vor, deren bauaufsichtliche Einführung in den Ländern ansteht.

Die Annahme, allein massive Holzbaukonstruktionen und deren Anschlüsse seien in der Lage, die Schutzziele für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 zu erfüllen, konnte um die Erkenntnis erweitert werden, dass Anschlüsse von üblichen Konstruktionen in Holztafelbauweise unter Beachtung der im Holzbau bereits weitestgehend üblichen Maßnahmen nicht kritischer hinsichtlich der Rauchdichtheit sind. Grundsätzlich wurde anhand der Betrachtung von Bauteilanschlüssen, bei denen gemeinhin die Rauchdichtheit angenommen bzw. vorausgesetzt wird, im Vergleich zu praxisüblichen An schlüssen in Holzbauweise herausgearbeitet, dass von letzteren kein erhöhtes Risiko hinsichtlich von Rauchentwicklung und Rauchdurchtritt ausgeht.

Auf Basis der vorgestellten Ergebnisse konnten gesicherte quantitative Messungen zum Rauchdurchtritt bei Bauteil- und Elementfugen von Holz-Holz-Anschlüssen durchgeführt werden. Die Messtechnik bietet darüber hinaus das Potenzial, zukünftig eine verstärkte Rolle im Rahmen der Bewertung von Feuerwiderstandsprüfungen einzunehmen. Die sich aus dem Projekt ergebenen Leitdetails wurden jüngst in der Schriftenreihe des Informationsdienst Holz veröffentlicht und stehen somit den Planern, Architekten, Bauaufsichten und den weiteren am Bau beteiligten Akteuren zur Verfügung.

## 6. Literatur

- [1] Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO BW) in der Fassung vom 05.03.2010, zuletzt geändert durch Gesetz vom 18.07.2019 (GBI. S. 313)
- [2] Musterbauordnung (MBO) in der Fassung November 2002, zuletzt geändert durch den Beschluss der Bauministerkonferenz vom 25.09.2020
- [3] Musterbauordnung (MBO) in der Fassung November 2002, geändert durch den Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016
- [4] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR), Fassung Juli 2004
- [5] DIN 4102-4:2016-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.
- [6] 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.
- [7] DIN EN 1363-1:2012-10: Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung.
- [8] DIN 4102-2:1977-09, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.
- [9] Sudhoff et.al.: Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteil- und Elementfugen im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes, Tagungsband Symposium Heißbemessung 2019, Braunschweig.
- [10] Entwicklung einer Richtlinie für Konstruktionen in Holzbauweise in den GK 4 und 5 gemäß der LBO BW – HolzbauRLBW, Abschlussbericht abrufbar unter <https://www.holzbaufigeckig.de/de/frontend/product/detail?productId=17>
- [11] DIN EN 1365-1:2013-08: Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile - Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1365-1:2012 + AC:2013
- [12] DIN EN 1365-2:2015-02: Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile - Teil 2: Decken und Dächer; Deutsche Fassung EN 1365-2:2014
- [13] Dederich, L. (Hrsg.): Leitdetails für Bauteilanschlüsse in den Gebäudeklassen 4 und 5, Informationsdienst Holz, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 5, Folge 2 <https://informationsdienst-holz.de/publikationen/leitdetails-fuer-bauteilanschluesse-gebaeude-klaesse-4-und-5>
- [14] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL) Fassung Oktober 2020