HOLZBAU DER ZUKUNFT

TP 11 Mechanismen der Brandweiterleitung bei Gebäuden in Holzbauweise

Erstellung eines Konstruktionskataloges für „Holzhäuser mit erhöhter Brandsicherheit“

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
S. Winter
Dipl.-Ing. R. Stein
Lehrstuhl für
Holzbau und
Baukonstruktion
TU München

TEILPROJEKT 11

Dieses Forschungsvorhaben wird unterstützt durch:

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst,
Verband öffentlicher Versicherer, Versicherungskammer Bayern,
Haas-Fertigbau GmbH und Homatherm GmbH

Im Rahmen der „ Kampagne Brandschutz“ durch:

Haas-Fertigbau GmbH, Verbände des Bayerischen Zimmer- und
Holzbaugewerbes, Bund Deutscher Zimmermeister

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
S. Winter
Dipl.-Ing. R. Stein
Lehrstuhl für
Holzbau und
Baukonstruktion
TU München

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung…… 1
Summary…… 2
1 Einleitung 3
1.1 Allgemein 3
1.2 Versicherungstechnische Bewertung von Gebäuden 4
1.3 Brandschutzbemessung von Holzbauteilen 8
1.4 Zieldefinition 9
2 Holzbau und Haustechnik 11
2.1 Allgemein 11
2.2 Holzbauweisen und -systeme 12
2.3 Haustechnik 15
2.3.1 Grundlagen 15
2.3.2 Anordnung und Ausführung von Installationen 15
2.3.3 Ausführung von Elektroinstallationen 17
2.3.4 Installationskerne 19
2.4 Bauordnungsrechtliche und versicherungstechnische Bestimmungen 22
3 Brandschutztechnische Bewertung von Holzbauteilen 25
3.1 Hauptursachen für Brandentstehung 25
3.2 Unterscheidung zwischen mobilen und immobilen Brandlasten 27
3.3 Bemessung nach EN 1995-1-2 30
3.4 Bestimmung des Glimmbrandverhalten 32
4 Brandversuche 34
4.1 Allgemein 34
4.2 Brandversuche „Kampagne Brandschutz“ 36
4.2.1 Ziele 36
4.2.2 Beschreibung Versuchsprogramm 36
4.2.3 Brandverhalten Bauteile 47
4.2.4 Brandverhalten Anschlussdetails 60
4.2.5 Zusammenfassung 61
4.3 Kleinbrandversuche 63
4.3.1 Messung der Dichtheit bei Normaltemperatur 63
4.3.2 Messung der Dichtheit im Brandversuch 65
5 Entwurf des Konstruktionskataloges 69
5.1 Allgemeines 69
5.2 Güteüberwachung 69
5.2.1 Zusammenschluss von Zimmereibetrieben und Planern 69
5.2.2 RAL-Gütesicherung 71
5.2.3 Anforderungen an Holzgebäude 71
5.3 Inhalt des Kataloges 72
Literatur 75

Zusammenfassung

Die Weiterentwicklungen bei den Holzbausystemen fließen nur undifferenziert in die versicherungstechnische Bewertung ein, da in den Einstufungskriterien der Versicherungen lediglich die Ausführung der Außenwände und des Daches berücksichtigt wird. Die jährlichen Schadensummen werden entsprechend dieser vorhandenen Bauartklassen ermittelt. Daraus ergibt sich, dass die Schadensumme bei Holzgebäuden im Vergleich zu Massivgebäuden in etwa doppelt so hoch ist. Im Gegensatz dazu unterscheidet sich die Schadeneintrittshäufigkeit nicht.

Erste Untersuchungen wurden durch die Universität Leipzig und die Technische Universität München in Zusammenarbeit mit der Versicherungskammer Bayern im Jahr 2002/03 durchgeführt. Die Analyse der Brandausbreitung erfolgte von der Brandentstehung bis zum Beginn der Löscharbeiten. An den realen Brandobjekten wurde eine Vielzahl von Schwachstellen ermittelt, die eine Brandausbreitung wesentlich beeinflussen.

Die Voruntersuchungen bildeten die Grundlage für weitergehende Untersuchungen in diesem Projekt, in dem hauptsächlich folgende Parameter untersucht wurden:

- Brandausbreitungswegen mit zugehörigen Schadenscharakteristika,
- dem Verhalten nichtbrennbarer und brennbarer Dämmstoffe in Bauteilen in Holzrahmen- und Holztafelbauweise sowie von Brettsperrholzelementen,
- der Dichtheit von Bauteilanschlussfugen und
- den Auswirkungen von elektrischen Installationen auf den Schädigungsgrad von Bauteilen.

Der Entwurf eines erweiterbaren Maßnahmen- bzw. Konstruktionskataloges für Holzgebäude mit erhöhter Brandsicherheit, den Holzbauunternehmen in die Planung und Schadenversicherer in ihre Prämiengestaltung einbeziehen können, soll im Ergebnis vorgelegt werden. Um eine risikogerechte Klassifizierung zu erhalten, wird in dem Katalog nicht nur der vorbeugende bauliche, sondern auch der anlagentechnische Brandschutz als eine Teilaspekt des Brandschutzes berücksichtigt.

In dem Vorhaben konnten im Rahmen der „Kampagne Brandschutz“ zwei Realbrandversuche und weitere Kleinbrandversuche an verschiedenen Bauteilen in Holzbauweise und Anschlussdetails durchgeführt werden.

Bei den Kleinbrandversuchen wurden auch Konstruktionen mit brandschutztechnisch optimierten brennbaren Dämmstoffen aus Holzfasern und Zellulose getestet. Die Brandversuche eröffnen die Möglichkeit, das Brandverhalten von brennbaren mit nicht brennbaren Dämmstoffen in Gefachen zu bewerten.

Summary

Fires in timber buildings cause higher renovation costs compared to solid buildings from the point of view of insurance companies in Germany. The influence of different timber constructions according to the degree of damage after fires doesn't still existing. In the premiums of the insurance companies the integrity of wall- and floor assemblies and heat insulation of wood based structural components are not included.

Because of these facts first analyses and evaluation of fire spread in timber-frame buildings were carried out in cooperation with the Bavarian insurance company in 2002/03. The fire spread in timber houses was analyzed after fire exposure from the fire origin until the beginning of fire-fighting. Thereby could be identified weak points, which have an important influence to the fire spread and the degree of damage.

The pre-examinations were the basis of the current research project "evaluation of fire spread in timber houses", which was financed by the Bavarian Ministry of Education, Research and Art, Bavarian Insurance Company and Association of Public Insurance Companies. In the project were analyzed:

- the fire spread paths with associated characteristics of damage
- the fire behaviour of wall and ceiling in timber construction elements with insulation made of rock-, glass-, wood fibre as well as cellulose
- the leakage rate of joints between wall and ceiling assemblies
- the behaviour of services in timber construction elements

To create adequate (risk-fairly) classifications the building construction, the services and additional safety measures have been considered depending on different fire scenarios.

Within the project two real fire tests in a full scale timber house were realized in the „fire protection campaign". The tests opened the possibility to study the fire behaviour of building components, connections and the degree of damage after fire exposure. Inside the walls and ceilings the temperatures relating to the duration of fire were measured.

Further small scale fire tests with renewable insulation materials made of wood fibre and cellulose were carried out to develop extended construction principles in comparison to insulation made of rock- and glass fibre.

1 Einleitung

1.1 Allgemein

In den letzten Jahren sind im Holzbau vielfältige Entwicklungen unter Verwendung von konstruktiven Holzwerkstoffen und Systemlösungen entstanden. Diese Weiterentwicklungen bei den Holzbausystemen fließen nur undifferenziert in die versicherungstechnische Bewertung ein, da in den Einstufungskriterien der Versicherungen lediglich die Ausführung der Außenwände und des Daches berücksichtigt wird.

Die jährlichen Schadensummen werden entsprechend dieser vorhandenen Bauartklassen ermittelt. Daraus ergibt sich, dass die Schadensumme bei Holzgebäuden im Vergleich zu Massivgebäuden in etwa doppelt so hoch ist. Im Gegensatz dazu unterscheidet sich die Schadeneintrittshäufigkeit nicht.

Erste grundlegende Untersuchungen an realen Brandobjekten wurden in den Jahren 2002/03 von der Universität Leipzig und TU München in Zusammenarbeit mit der Versicherungskammer Bayern, Abteilung Risk Management durchgeführt [1].

Ziel dieser Untersuchungen war es, erste Hinweise für die wirklichkeitsnahe Beurteilung des Brandverlaufs in Holzgebäuden zu erhalten. Die Analyse der Brandausbreitung in Abhängigkeit von der Gesamtkonstruktion des Gebäudes erfolgte von der Brandentstehung bis zum Beginn der Löscharbeiten. Der Brandverlauf und die Brandausbreitungspfade wurden anhand von Planunterlagen der jeweiligen Holzbaufirmen, Versicherungsunterlagen und einer Dokumentation der Brandobjekte vor Ort nachvollzogen. Die Untersuchungen, die anhand der verschiedenen Brandobjekte durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass eine brandschutztechnische Gleichstellung von Massiv- und Holzgebäuden, bezogen auf die Gebäudeklassen 1 bis 3 (Höhe oberster Geschossfußboden $\leq$ 7,0 m), durchaus möglich ist.

Dazu bedarf es jedoch der Umsetzung von Brandschutzmaßnahmen, durch die das vergleichsweise hohe Ausmaß der Brandschäden an Holzhäusern deutlich reduziert werden kann.

Um eine zukünftige Gleichstellung von Massiv- und Holzgebäuden realisieren zu können, wurde an realen Brandobjekten eine Vielzahl von Schwachstellen ermittelt, die eine Brandausbreitung wesentlich beeinflussen. Auf Grundlage dieser Schwachstellenanalyse konnten verschiedene bauliche und anlagentechnische Maßnahmen ermittelt werden, die sich im Brandfall schadenmindernd auswirken.

Das grundlegende Problem nach einem Brand besteht in der Bewertung des Schädigungsgrades von Bauteilen in Holzbauweise. Es soll verhindert werden, dass toxische Brandgase, die sich adsorptiv an Ruß- und Brandrückstände binden, in nicht einsehbare Hohlräume gelangen. Diese schädlichen Rauchgase in der Konstruktion könnten zu einer nachträglichen Erhöhung der Sanielungskosten führen. Durch die Entwicklung geeigneter Konstruktionen, die ein Eindringen

Tab. 1: Zuordnung der Bauweisen zu Bauartklassen (BKL) [2]

Bauart-klasse	**Außenwände**	**Dach**
I	Massiv (Mauerwerk, Beton)	hart, z.B. Ziegel, Schiefer, Betonplatten, Asbestzementplatten, Metall, besandete Dachpappe
II	Stahl- oder Holzfachwerk mit Stein- oder Glasfüllung, Stahl- oder Stahlbetonkonstruktionen mit Wandverkleidungen aus nicht brennbaren Material (z.B. Profilblech, Asbestzement, kein Kunststoff)	
III	Holz, Holzfachwerk mit Lehmfüllung, Holzkonstruktion mit Verkleidung jeglicher Art, Stahl- oder Stahlbetonkonstruktionen mit Wandverkleidung aus Holz oder Kunststoff, Gebäude mit einer oder mehreren offenen Seiten	
IV	wie Klasse I oder II	

Die verschiedenen Holzbauweisen werden hauptsächlich der Bauartklasse III zugerechnet. Der Einfluss der unterschiedlichen Holzbauweisen auf die Schadensumme kann aufgrund des bestehenden Bewertungsschemas nicht beurteilt werden. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen an Holzbauteilen vorgenommen, die es erlauben, die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen und die Schutzzeit von Bekleidungen zu bestimmen. Diese Kenntnisse werden in das neue Bewertungsschema einfließen.

Ein typischer Außenwandaufbau in Fertigbauweise bei dem als innerer Abschluss eine Gipskartonplatte und als äußerer Abschluss ein Wärmedämmverbundsystem angeordnet ist, erfüllt die Anforderungen der FHG 2 (vgl. Tab. 2). Bei Wärmedämmverbundsystemen wird nur die Baustoffklasse der äußersten Schicht, d.h. des Putzes bewertet.
Die Berücksichtigung von Baustoffklassen nach DIN 4102-1 [3] oder EN 13501-1 [4] für Wärmedämmverbundsysteme im eingebauten Zustand erfolgt versicherungstechnisch nicht. Wäre das der Fall, könnten zur Einordnung in FHG 2 nur Wärmedämmverbundsysteme der Baustoffklasse A (nichtbrennbar) verwendet werden. Bei Ausführung von Wärmedämmverbundsystemen, die der Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) zugeordnet werden, müsste eine Einordnung in BAK III erfolgen.

Zur Einstufung von Holzgebäuden in FHG 2 hat eine befragte Versicherung ein zusätzliches Kriterium in die Versicherungsbedingungen aufgenommen. Es genügt ein Nachweis, dass die Außenwandbauteile eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten nach DIN 4102-2 [5] oder EN 13501-2 [6] besitzen. In diesem Fall können auch Holzgebäude mit brennbaren Bekleidungen genau wie Holzgebäude mit nicht brennbaren Bekleidungen behandelt werden.

Aus den vorgenannten Feststellungen alleine wird deutlich, dass eine technisch präzisere Beschreibung der Gebäude als Grundlage zur Einstufung dringend erforderlich ist. In die Versicherungsbedingungen müssen vor allem die unterschiedlichen Holzbauweisen (vgl. Kapitel 2.2) aufgenommen werden, die eine Einstufung in Bauartklassen bzw. Fertighausgruppen erleichtern.

Bestehende Unterschiede bei Bauteilaufbauten, -anschlüssen, der Gebäudetragstruktur und der Installationsführung werden bei der Einstufungsbewertung nicht mit einbezogen.

Eine Unterscheidung von Fertighäusern und handwerklich gefertigten, güteüberwachten Holzgebäuden mit nicht brennbaren Bekleidungen unter Verwendung der Kriterien nach Tab. 1 und Tab. 2 ist nicht möglich, da eine Definition des Begriffes „Fertighaus“ in den Versicherungsbedingungen nicht enthalten ist [7]. Die Zugehörigkeit von industriell und handwerklich orientierten Holzbauunternehmen zu einer Güte- oder Qualitätsgemeinschaft wurde von keiner der befragten Versicherungen in der Prämienfestlegung gewürdigt. Im Umkehrschluss kann man somit sagen, dass der hohe Qualitätsstandard im Holzhausbau derzeit noch nicht ausreichend berücksichtigt wird.

Zudem zeigt die derzeitige Versicherungspraxis, dass eine Differenzierung zwischen Fertighäusern und handwerklich gefertigten Holzgebäuden nach den derzeit gültigen Einstufungskriterien auch aufgrund des gestiegenen Vorfertigungsgrades bei handwerklich orientierten Betrieben nicht mehr vorgenommen wird.

1.3 Brandschutzbemessung von Holzbauteilen

Im Hinblick auf die Harmonisierung der europäischen Normung wird der Konstruktionskatalog auf den europäischen Normen basieren. Durch die Berücksichtigung der Norm EN 1995-1-2: 2006 [8] besteht die Möglichkeit die Wand- und Deckenbauteile additiv zu betrachten.

Für einzelne Bauteilschichten können Versagenszeiten und Wärmedämmwirkung bestimmt werden. Aus den Versagenszeiten, der Wärmedämmwirkung sowie einer Tragfähigkeitsbemessung unter Brandbeanspruchung kann rechnerisch für Wand- und Deckenbauteile die Feuerwiderstandsdauer ermittelt werden.

Anhand des Konstruktionskataloges sollen zum einen die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile und zum anderen die Schutzwirkung von brennbaren und nicht brennbaren Bekleidungen für die Tragkonstruktion ablesbar sein.

Die Schutzwirkung der Bekleidungen gibt gleichzeitig den Brandfortschritt und damit verbunden die Schädigung in Abhängigkeit von der Branddauer an. Das Rechenverfahren nach EN 1995-1-2: 2006 ist zurzeit nur eingeschränkt für ausgewählte Materialien anwendbar.

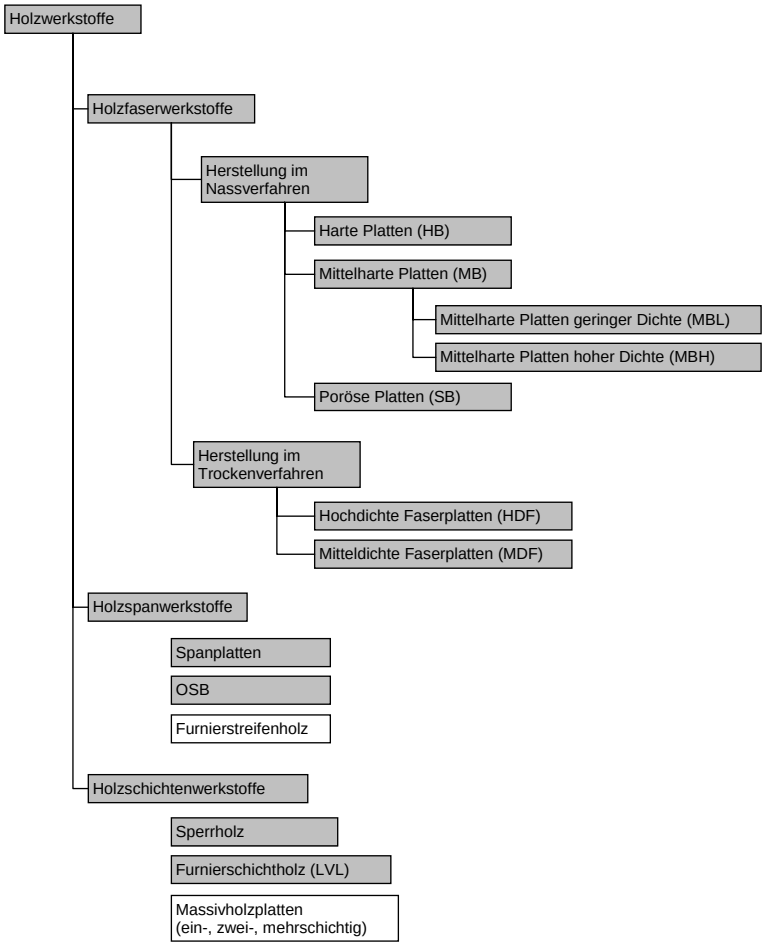


Abb. 1: Mögliche Plattenwerkstoffen nach EN 1995-1-2: 2006 (grau hinterlegt)

Als Erweiterungsmöglichkeit für die Norm wurden Brandversuche mit brennbaren Holzfaser- und Zellulosedämmstoffen in Wand- und Deckenbauteilen durchgeführt. Innerhalb dieser Bauteile wurden Temperaturprofile mittels Thermoelementen bestimmt. Anhand der Temperaturprofile konnte ermittelt werden, zu welchem Zeitpunkt sich die Dämmstoffe entzünden und am Brand beteiligen.

In den letzten Jahren wurde das Brandverhalten von Holzkonstruktionen im Vergleich zu Massivkonstruktionen untersucht, um die Anwendung von Holz im mehrgeschossigen Holzbau zu ermöglichen.
Die Ergebnisse aus den Untersuchungen mündeten in der „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise - M-HFHHolzR“ [9]. In Verbindung mit der Musterbauordnung bzw. den Bauordnungen der einzelnen Bundesländer ist es möglich reine Holzgebäude mit bis zu fünf Geschossen zu errichten.

Das Hauptaugenmerk wird dabei auf die Kapselung der Tragkonstruktion gelegt. Der Brand darf innerhalb von 60 Minuten die Tragkonstruktion nicht entzünden. Beim jetzigen Stand der M-HFHHolzR dürfen nur Konstruktionen in Holzrahmen- bzw. Holztafelbauweise ausgeführt werden, deren Gefachdämmung einen Schmelzpunkt größer 1000°C aufweist. Der Einsatz von brennbaren Dämmstoffen [10] oder Massivholzkonstruktionen für mehrgeschossige Gebäude wird zurzeit geprüft. Die Kapselung von Holzbauteilen, abgestimmt auf die Gebäudeklassen 1 bis 3 ist eines der Hauptkriterien der versicherungstechnischen Bewertung.

1.4 Zieldefinition

Das Hauptziel des Vorhabens besteht darin, brandschutztechnische Kriterien unter Berücksichtigung versicherungstechnischer Gesichtspunkte zu entwickeln. In Abhängigkeit von der konstruktiven Durchbildung der Gebäude soll der Schädigungsgrad von Holzgebäuden minimiert werden.

In Abb. 2 sind die Teilgebiete des Brandschutzes dargestellt, die bei der Erstellung des Bewertungsschemas berücksichtigt werden müssen.

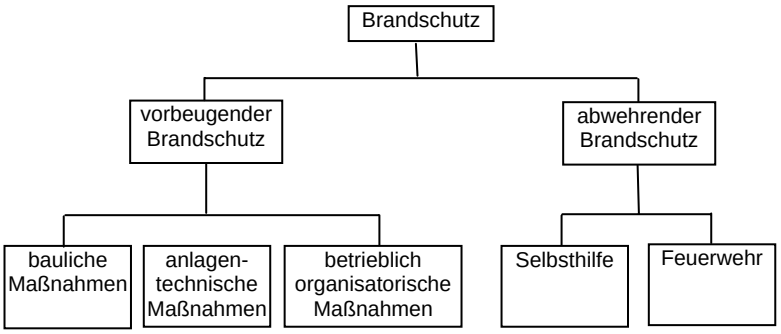


Abb. 2: Darstellung der Teilgebiete des Brandschutzes

Der Entwurf eines umfassenden Maßnahmen- bzw. Konstruktionskataloges für Holzgebäude mit erhöhter Brandsicherheit, den Holzbauunternehmen in die Planung und Schadenversicherer in ihre Prämiengestaltung einbeziehen können, wird im Ergebnis vorgelegt.

Neben dem vorbeugenden baulichen ist zum Beispiel auch der anlagentechnische Brandschutz von entscheidender Bedeutung. Die Früherkennung des Brandes durch den Einsatz von Rauchmeldern und damit eine frühzeitige Alarmierung der Feuerwehr kann zu einem geringeren Schadenausmaß führen. Mit den Maßnahmen des vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzes müssen die festgelegten Schutzziele erreicht werden. Zum Beispiel soll der Brand innerhalb einer bestimmten Zeit die Tragkonstruktion nicht erreichen.

Nach [11] kann das Niveau der brandschutztechnischen Anforderungen an die unterschiedlichen Bauweisen nur verglichen werden, wenn die Gefährdungspotentiale primär auf die Brandentstehung und Brandausbreitung bezogen werden. Das bewertete Gesamtrisiko ist abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit der Brandentstehung und -ausbreitung, der Höhe des Sachschadens und der Höhe des Personenschadens. Diese drei Faktoren werden unabhängig voneinander betrachtet.

Bauteilkonstruktionen, die brennbare Bestandteile enthalten, können folgende Gefahrenpotentiale aufweisen:

- zusätzlicher Eintrag von Brandlasten,
- Beteiligung an Rauchgasentwicklung,
- Gefahr von Nachentzünden und Glutnestern,
- Brandentstehung innerhalb der Konstruktion,
- Brandweiterleitung bzw. -einleitung über Installationen,
- Kontamination und Haltbarkeit von Duftstoffen.

Als große Schwierigkeit bei der Bewertung eines Holzgebäudes nach dem Brand hat sich die mögliche Kontamination und Haltbarkeit von Duftstoffen in Hohlräumen herausgestellt. Das Ausmaß der Kontamination ist für den Sachschadenbearbeiter einer Versicherung schwierig feststellbar, ohne die Gefache zu öffnen. Aus diesem Grund wird oftmals der Abriss des Gebäudes befürwortet, um zukünftige Schadenersatzansprüche gegenüber dem Versicherer auszuschließen.

2 Holzbau und Haustechnik

2.1 Allgemein

Um das Schadenpotential von Holzbauweisen in Bezug auf den Sachschaden nach einem Brand zu untersuchen, müssen verschiedene Parameter wie Baukonstruktion, Bauweise, der Aufbau der Bauteile mit Anschlüssen und die Haustechnik berücksichtigt werden.

Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen können ausgeführt werden, wenn zum Beispiel brennbare Oberflächen zugleich die Tragkonstruktion bilden. Brandszenarien können Raumbrände, Hohlräumbrände und Fassadenbrände sein.

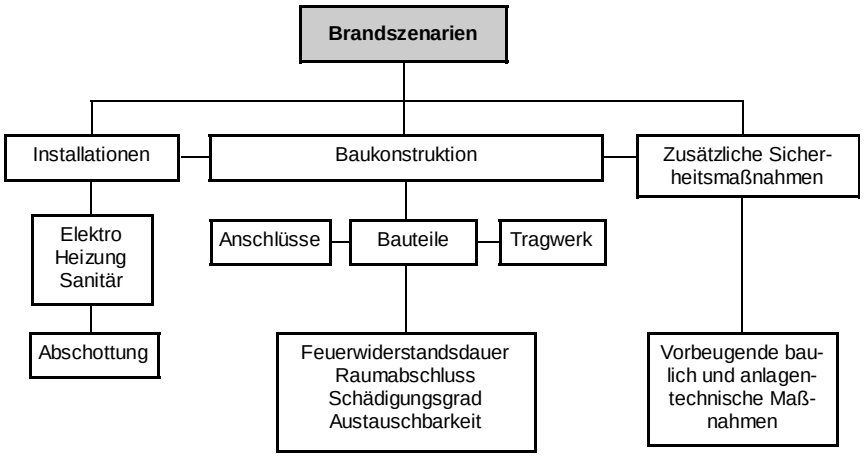


Abb. 3: Bewertungskriterien von Holzgebäuden

Die Bewertungskriterien werden für die neuen Gebäudeklassen 1 bis 3 entsprechend MBO 2002 [12] oder BayBO 2008 [13] angewendet. Für diese Gebäude mit einer begrenzten Anzahl an Geschossen, geringer räumlicher Ausdehnung und damit verbundenen geringen bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen treten versicherungstechnische Anforderungen in den Vordergrund.

Zum Beispiel werden für freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser Anforderungen an die Kellerdecke gestellt, die feuerhemmend ausgeführt werden muss. Die bauaufsichtliche Benennung feuerhemmend bedeutet, dass das Bauteil mit einer Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten auszuführen ist. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass Holzbauteile einen Feuerwiderstand von mindestens 30 Minuten besitzen. Versicherungstechnisch stellt die alleinige Anforderung an den Feuerwiderstand von Bauteilen kein ausreichendes Kriterium zur Einstufung in die neuen Versicherungsklassen dar.

Zusätzlich zum Feuerwiderstand müssen:

- die Kapselung der Tragkonstruktion mit brennbaren und nicht brennbaren Bekleidungen,
- die Dichtheit von Bauteilanschlüssen gegenüber dem Durchtritt von Rauchgasen und
- der Einfluss von Installationen auf den Schädigungsgrad

untersucht werden.

Für die versicherungstechnische Bewertung unterscheidet man hauptsächlich ein-, zwei- und dreigeschossigen Gebäude mit Pult- oder Satteldach. Die Gebäude können mit oder ohne Unterkellerung ausgeführt werden.

2.2 Holzbauweisen und -systeme

Um die Wettbewerbsfähigkeit des Holzbaus zu erhalten bzw. weiter auszubauen werden ein möglichst hoher Vorfertigungsgrad und eine ständige Rationalisierung angestrebt. Dieser Prozess spiegelt sich in den vielen Weiterentwicklungen bis zum Holzbausystem wieder.

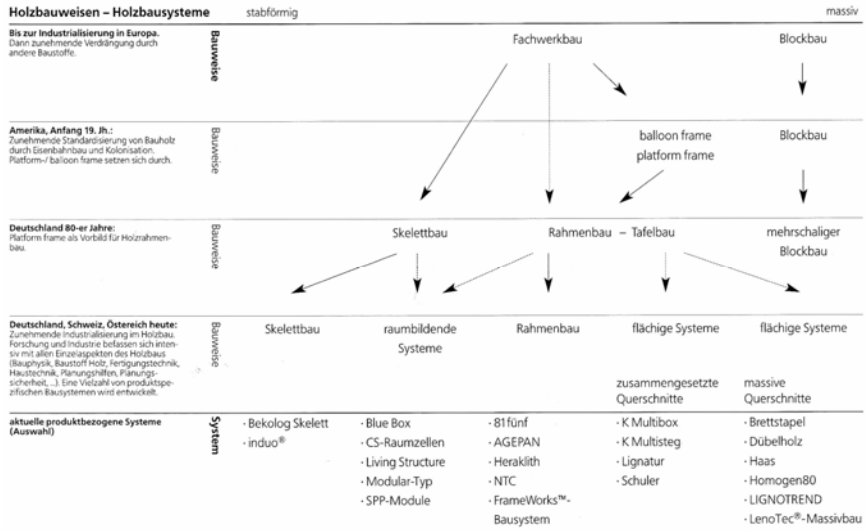
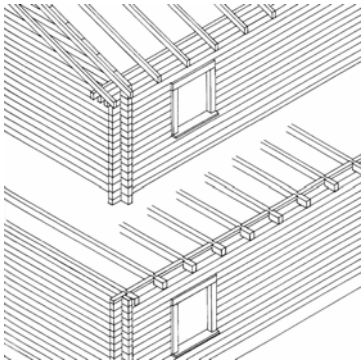


Abb. 4: Entwicklung der Holzbauweisen – Holzbausysteme [14]

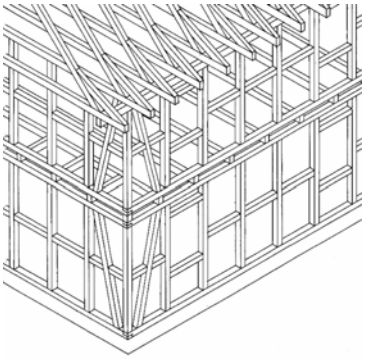
Entsprechend Abb. 4 sind nachfolgend die verschiedenen Holzbauweisen schematisch dargestellt. Diese Bauweisen können auch als Mischsysteme verwendet werden, zum Beispiel Holzrahmenbauwände in Kombination mit Massivholzdecken.

Oder der Vorfertigungsgrad wird so weit ausgebaut, dass raumbildende Systeme zum Einsatz kommen.

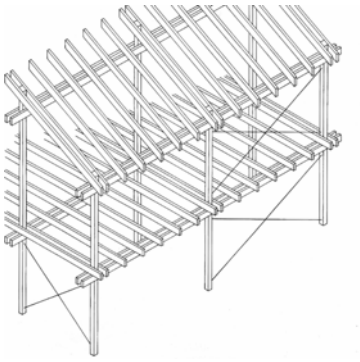
a) Blockbohlenbauweise



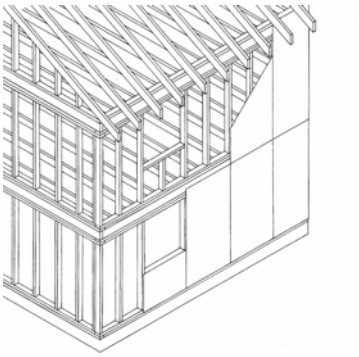
b) Fachwerkbauweise



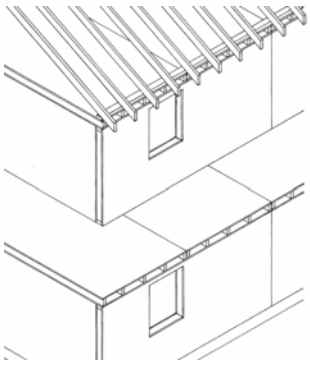
c) Skelettbauweise



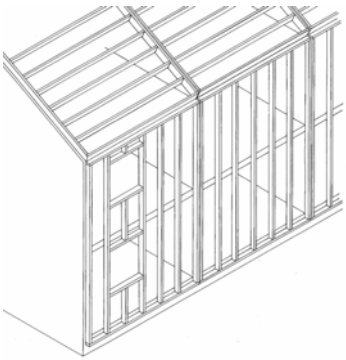
d) Rahmenbauweise



e) Tafelbauweise



g) Mischbauweise



f) Massivholzbauweisen
(flächige Holzbausysteme)

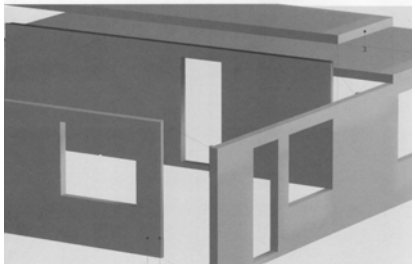
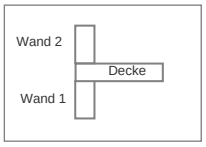


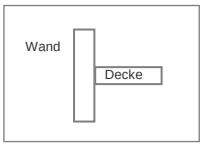
Abb. 5: Schematische Darstellung der Bauweisen [15], [16]

Neben den Bauteilen kann auch die Anschlussausführung von Decken an Außenwände unterschieden werden, in:

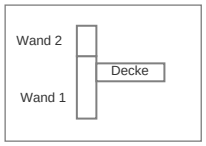
- Plattform-Bauweise
  Das Gebäude wird geschossweise errichtet. Die Decken werden auf der Außenwand aufgelagert.



- Balloon-Bauweise
  Die Außenwand wird nicht geschossweise getrennt, sondern über zwei oder mehrere Geschosse durchgeführt. Die Decken werden vor der Außenwand aufgelagert.



- Quasi-Balloon-Bauweise
  In der Außenwand ist oberhalb der Decken eine Trennung angeordnet. Die Deckenbalken sind auf einem Querbalken, der auf der Innenseite der Außenwand angeordnet ist, aufgesetzt.



Die brandschutztechnische Bewertung von Holzbausystemen bildet dabei nur einen planungsrechtlichen Teilaspekt im Bereich Bauphysik (vgl. Abb. 6).

Neben der Bauphysik müssen Konstruktion, Material, Haustechnik, Herstellung und Vertrieb bei der Planung eines Holzgebäudes betrachtet werden.

Holzbausystem					
Planungsrelevante Teilaspekte					
Konstruktion	**Material**	**Bauphysik**	**Haustechnik**	**Herstellung**	**Vertrieb**
Anwendungsbereich	Holzqualität	Wärmeschutz	Heizungstechnik	Vorfertigung	Beratung
Elementgrößen	Holzart	Schallschutz	Lüftungstechnik	Transport	Planungsvorleistung
Konstruktionsraster	Werkstoffe	Brandschutz	Solartechnik	Montage	Planungssicherheit
Fügungstechnik	Oberflächenqualität	Feuchteschutz	Sanitärinstallation		Verfügbarkeit
Tragwerk / Statik		Holzschutz	Elektroinstallation		Kosten
Anforderungen / Eigenschaften					

Abb. 6: Planungsrechtliche Teilaspekte [14]

2.3 Haustechnik

2.3.1 Grundlagen

Das wichtigste Ziel von haustechnischen Systemen ist die Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas. Dazu sind viele Einflussfaktoren zu berücksichtigen:

- thermische und lufthygienische Behaglichkeit
- Raumausleuchtung durch Tages- und Kunstlicht
- geringe Schallemissionen u.a.

Die Auswahl der haustechnischen Systeme ist abhängig von den Erwartungen und Wünschen der Bewohner.

Mit CNC-gesteuerten Fertigungsanlagen kann ein Holzgebäude in wenigen Stunden abgebunden und innerhalb eines Tages auf der Baustelle montiert werden. Der Ausbau des Gebäudes kann dagegen immer noch mehrere Monate erfordern. Die Installation der Sanitär- und Heizungstechnik erfolgt immer noch nach alten Regeln aus dem Massivbau.

Es zeichnet sich ab, dass mit künftig steigenden Anforderungen an die Haustechnik, eine mängelfreie Installation auf der Baustelle nicht mehr zu realisieren ist.

Erst mit einer ganzheitlichen, gewerkeübergreifenden Planung und einer weitergehenden Vorfertigung unter Einbezug der Haustechnik können die spezifischen Vorteile eines Holzhauses zur Wirkung kommen. Dazu sind neue Lösungsansätze für die Integration der Haustechnik in die Gebäudebauteile zu entwickeln. Hierfür bietet der Holzbau sehr gute Voraussetzungen.

Zum einen besitzen Holzbauteile konstruktionsbedingt ausreichende Hohlräume zur Aufnahme von technischen Komponenten. Zum anderen erleichtert die weit fortgeschrittene, rechnergestützte Planung und Fertigung von Holzhäusern eine Integration von Technikmodulen in die Gebäudebauteile [17].

2.3.2 Anordnung und Ausführung von Installationen

Die Installationsführung richtet sich stark nach der Anordnung der Räumlichkeiten und der damit verbundenen Anforderungen an die Haustechnik. Hauptsächlich müssen folgende Installationsformen bei der brandschutztechnischen Bewertung berücksichtigt werden:

- Elektro
- Heizung
- Sanitär
- Lüftung

Installationsleitungen werden in unserer heutigen Gesellschaft verdeckt angeordnet. Installationsschächte für Sanitär-, Trinkwasser- und Heizungsleitungen benötigen Platz und werden oft als störend für die Raumplanung empfunden. Die Rohr- und Kabelführung erfolgt am zweckmäßigsten:

- in den Wandtafeln oder deren Verbindungsstellen soweit es die Rohrdurchmesser zulassen
- in Installationsebenen
- in Bodenkanälen und innerhalb des Fußbodenaufbaus
- in eigens dafür vorgefertigten Schachtwandtafeln

Installationsebenen mit Dicken von ca. 60 mm ermöglichen eine problemlose Leitungsverlegung für Wasser-, Lüftungs-, Heizungs- und Elektroinstallationen. Ein großer Vorteil von Installationsebenen an den umhüllenden Bauteilen ist, dass nicht in die Luftdichtheitsebene eingegriffen wird. Damit werden vorprogrammierte Schäden durch Undichtigkeiten vermieden.

Abb. 7: Installationsebenen Fußboden und Außenwand

Vorwandinstallationen müssen normalerweise keine besonderen Brandschutzanforderungen erfüllen. In Einfamilienhäusern bestehen keine Anforderungen. In Mehrfamilienhäusern sollte der erforderliche Brandschutz durch die hinter der Vorwand liegenden, tragenden und raumabschließenden Konstruktionen erfüllt werden. Das brandschutztechnische Problem der Vorwandinstallation besteht in dem Vorhandensein brennbaren Materials in der Wand und der meistens erforderlichen Durchführung der Installationen durch brandtechnisch trennende Bauteile, hier insbesondere die Decken. Wenn keine besonderen Maßnahmen getroffen werden, können die Installationen zu einer raschen Brandausbreitung über die Geschosse hinweg beitragen.

Mit Sanitärinstallationen versehene Wände sollten aufgrund der von ihnen ausgehenden Geräusche außerhalb des Schlafzimmerbereiches angeordnet werden. Der Schlafbereich umfasst Elternschlafzimmer, Kinderzimmer und gegebenenfalls Gästezimmer. In Bad, Toilette, Küche und Hauswirtschaftsraum werden Ver- und Entsorgungsanschlüsse wie Kalt- und Warmwasserleitungen, Zirkulationsleitungen, Entwässerungsleitungen, Gasleitungen und Lüftungsschächte angeordnet.

Verdeckte Rohrinstallationen sind auf einen ausreichenden Abstand zur Tragkonstruktion im Gefachraum angewiesen.

Fallleitungen DN 100 bedingen Wanddicken von 16 bis 22 cm. Kreuzen sich Leitungen muss die Gesamtdicke entsprechend erhöht werden. Aus diesem Grund sollten die Rohrinstallationen für Sanitär hauptsächlich den Innenwänden zugeordnet werden.

Besonderes Augenmerk muss auf die Elektroinstallationen gerichtet werden, da sie im gesamten verlegt werden. Diese können zum einen Brandursache sein und zum anderen die Brandweiterleitung begünstigen.

2.3.3 Ausführung von Elektroinstallationen

Bei kleineren Bauvorhaben wird in der Regel die Installation von einem zentralen Verteilerkasten aus vorgenommen. Aus Gründen der Sicherheit und besseren Lokalisierung sind Kabel und Leitungen grundsätzlich parallel zu Raumkanten zu verlegen (vgl. Abb. 8). Zwei Leitungsarten sind möglich:

- Eine Ringleitung wird ca. 30 cm unterhalb der Decke geführt. Senkrecht zur Ringleitung sind nach unten führende Stichleitungen zu Schaltern, Auslässen und Steckdosen angeordnet.
- Eine Ringleitung wird ca. 30 cm oberhalb des Fußbodens in Steckdosenhöhe angeordnet. Geräteverbindungsdosen übernehmen zwei Funktionen, die Aufnahme von Steckdosen und Schaltereinsätzen sowie Abzweigklemmen zum Anschluss abgehender Leitungen.

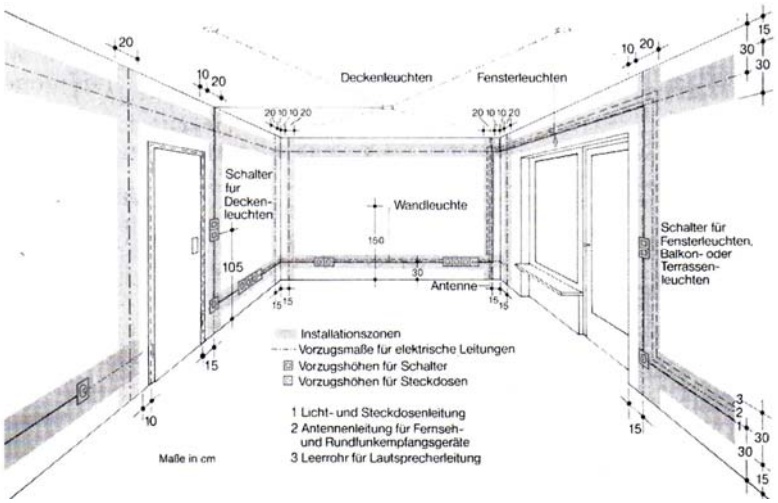


Abb. 8: Installationszonen in Wohnräumen [18]

Zur konventionellen Installationspraxis in Bauteilen in Holzrahmen- und Holztafelbauweise müssen folgende Besonderheiten bei der Hohlwandtechnik beachtet werden:

- Brandverhalten
- Befestigung
- Zugentlastung
- Kennzeichnung

Die Installationsdosen und Verteiler in Holzrahmen- bzw. Holztafelbauwänden werden im Vergleich zum Einsatz in Massivwänden einer Brandprüfung mit verschärften Anforderungen unterzogen. Die Prüftemperatur für Hohlwandmaterialien beträgt 850°C, im Vergleich zur Unterputzverlegung mit 650°C. Die Prüfung wird als Glühdrahtprüfung durchgeführt.

Für Elektroinstallationen werden immer häufiger Leerrohre verwendet, um ausreichend Variabilität für wechselnde Nutzung oder maximale Flexibilität für die sich schnell entwickelnde Kommunikationstechnik zu gewährleisten.

Um den Nutzungsanforderungen gerecht zu werden können Kabel einfach neu verlegt oder umgelegt werden.

Leerrohre besitzen den Nachteil, dass sie mögliche Brand- und Rauchübertragungswege in andere Bereiche bilden. Die Leerrohre führen durch weite Teile eines Gebäudes. In der Regel werden sie auch durch raumabschließende Wände geführt, die eine entsprechende Feuerwiderstandsdauer besitzen.

In diesem Fall müssen die Leerrohre mit entsprechenden Brandschutzsystemen gegen das Durchdringen von Feuer abgesichert werden.

Herkömmliche Systeme zur Abschottung von Kabeldurchführungen mit Mörtel oder Mineralfaserplatten kommen dabei nur bedingt in Frage, da die Leerrohre in jedem Geschoß aufgetrennt und abgedichtet werden müssen. Die Abschottung ist dann endgültig, was der Flexibilität entgegen spricht. Das Schott muss also so ausgebildet werden, dass die Öffnung im Brandfall innerhalb kurzer Zeit selbständig und sicher geschlossen wird.

In Wohngebäuden in denen keine bauaufsichtlichen Anforderungen bestehen, werden zur Minimierung des Schädigungsgrades versicherungstechnische Anforderungen gestellt.

2.3.4 Installationskerne

Mit dem Einbezug der Haustechnik in die Vorfertigung können die spezifischen Vorteile des Holzbaus genutzt werden. Ein erster Schritt in diese Richtung ist die Ausführung von Installationskernen, die haustechnischen Elemente für Ver- und Entsorgung aufnehmen. Der Installationsschacht kann ähnlich wie ein Kamin in einem Zug in den Baukörper eingesetzt werden. Die Installationsräume werden dann in vertikaler Richtung erschlossen.

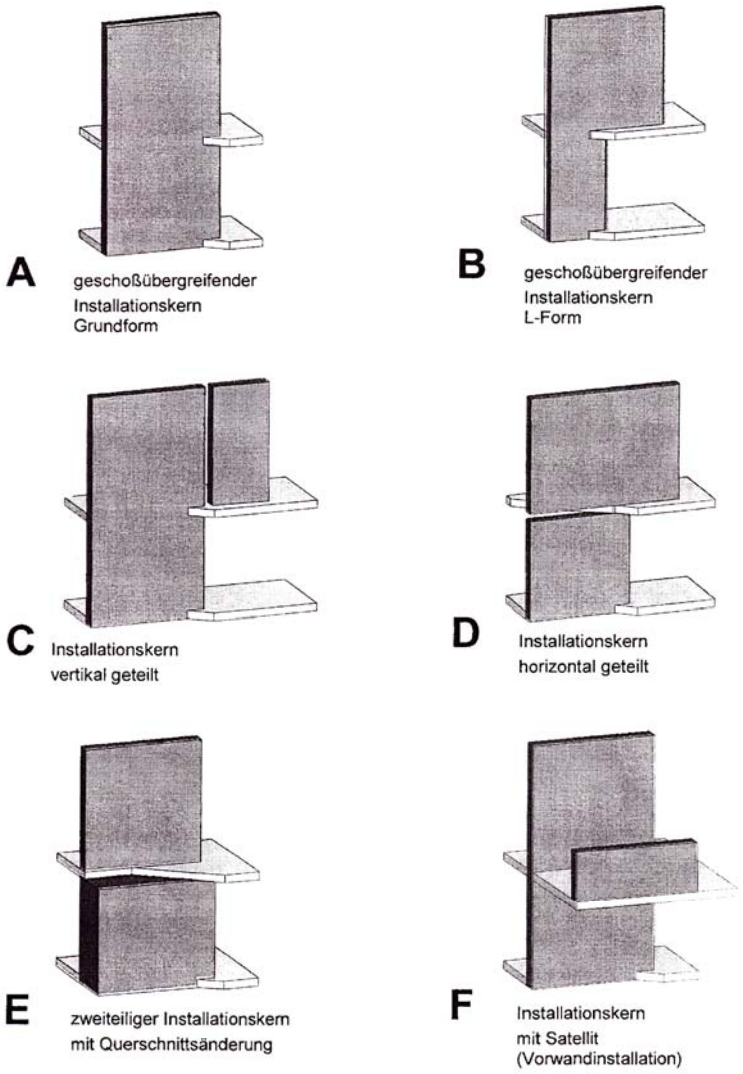


Abb. 9. Bauformen eines zentralen Installationskerns [19]

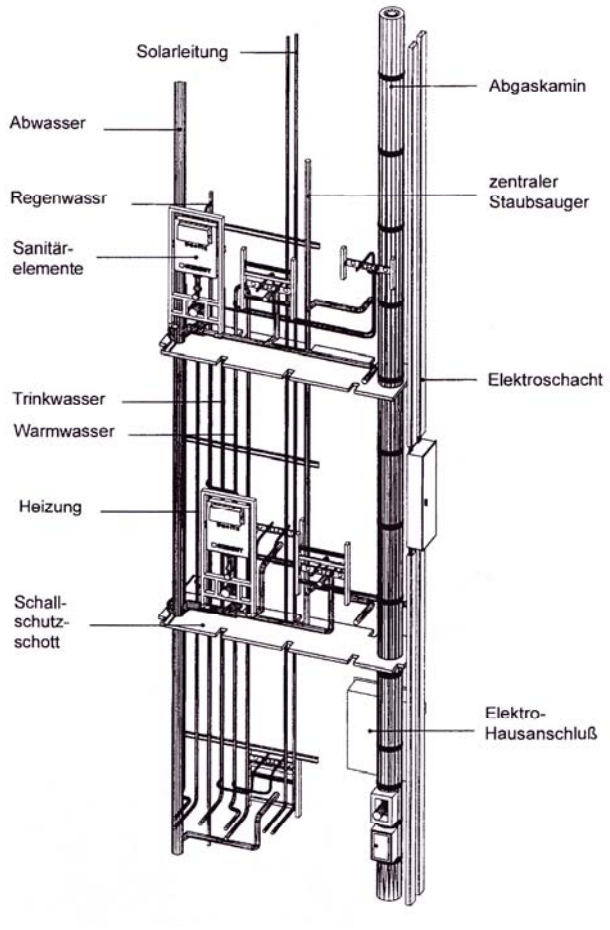


Abb. 10: Montageelemente im Inneren des Installationskerns [19]

Vorgefertigte Haustechnikmodule nehmen Komponenten der Heizungs-, Lüftungs- sowie Elektro- und Datenleitungstechnik auf. Diese Komponenten sollen bereits im Werk in die Bauteile integriert werden.

Die erforderliche Querverteilung von Energie- und Datennetzen könnte ebenfalls bereits im Werk erfolgen. Für sehr weit verzweigte Haustechniksysteme wie Heizungs- und Lüftungsanlagen lohnt sich eine weitgehende Vorfertigung besonders.

Im Boden- und Deckenbereich findet die horizontale Verteilung statt. In Trassen sind dort die gebündelten Leitungen für die Versorgung der Technikmodule (Rohrleitungen Heizung, Kühlung, Wasser, Strom, Datenleitungen) zusammengefasst.

Installationskerne haben sich bis jetzt nur vereinzelt im Fertighausbereich durchsetzen können, da der Hauptteil der Installationsarbeit noch auf der Baustelle erfolgt. Erst wenn sekundäre Module an den Installationskern angedockt werden können, sind höhere Zeit- und Kostenvorteile zu erwarten als bisher.

Beispielhaft ist die Anordnung eines Installationskerns in einem Gebäude in Holzbauweise dargestellt.

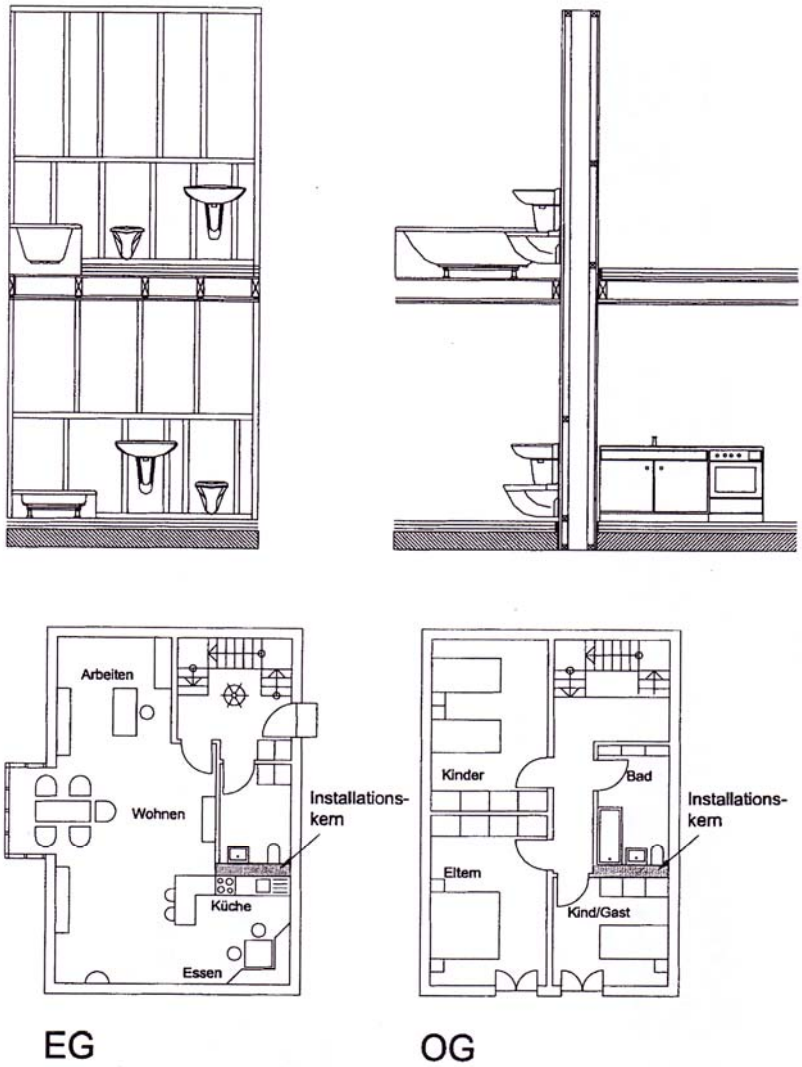


Abb. 11: Beispielgrundriss mit geschossübergreifenden Installationskern [19]

2.4 Bauordnungsrechtliche und versicherungstechnische Bestimmungen

Nach MBO 2002 bzw. BayBO 2008 werden Gebäude in Gebäudeklassen in Abhängigkeit der Höhe des obersten Geschossfußbodens und der räumlichen Ausdehnung eingeordnet.

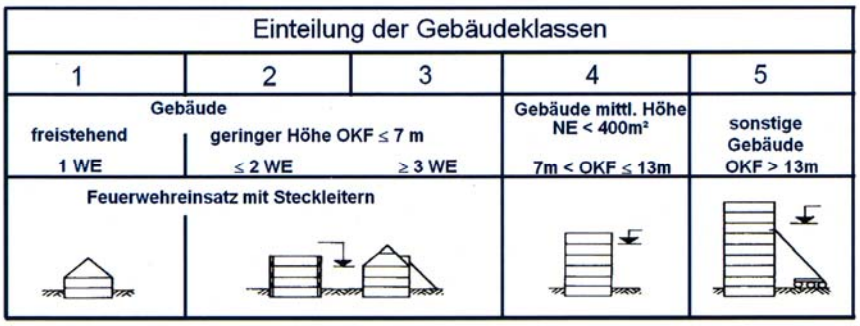


Abb. 12: Gebäudeklassen nach MBO und BayBO

Entsprechend der Gebäudeklassen werden Brandschutzanforderungen an Bauteile und Installationen gestellt. Werden Installationen durch Bauteile mit Anforderung an die Feuerwiderstandsfähigkeit geführt, muss die Brandweiterleitung ausreichend lang verhindert werden.

Nach § 40 MBO 2002 gelten keine Brandschutzanforderungen an Deckendurchführungen:

- in Gebäuden der Gebäudeklasse 1 und 2,
- innerhalb von Wohnungen,
- innerhalb derselben Nutzungseinheit mit nicht mehr als insgesamt 400 m² in nicht mehr als zwei Geschossen.

Für alle anderen Durchführungen sind zusätzlich die Angaben der Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie [20] und speziell für den mehrgeschossigen Holzbau der M-HFHHolzR zu beachten.

Die Anforderungen an Leitungsdurchführungen gelten als erfüllt, wenn die nachfolgenden Bedingungen eingehalten werden. Die Leitungen müssen durch Abschottungen geführt werden:

- die mindestens die gleiche Feuerwiderstandsfähigkeit aufweisen wie die raumabschließenden Bauteile oder
- innerhalb von Installationsschächten oder -kanälen geführt werden, die - einschließlich der Abschlüsse von Öffnungen - mindestens die gleiche Feuerwiderstandsfähigkeit aufweisen wie die durchdrungenen raumabschließenden Bauteile und aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

Der Mindestabstand zwischen Abschottungen, Installationsschächten oder -kanälen sowie der erforderliche Abstand zu anderen Durchführungen (z. B. Lüftungsleitungen) oder anderen Öffnungsverschlüssen (z. B. Feuerschutztüren) ergibt sich aus den Bestimmungen der jeweiligen Verwendbarkeits- oder Anwendbarkeitsnachweise. Fehlen entsprechende Festlegungen, ist ein Abstand von mindestens 50 mm erforderlich.

In der Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) [20] sind Erleichterungen für die Leitungsdurchführung durch feuerhemmende Wände sowie Durchführung von einzelnen Leitungen in gemeinsamen und eigenen Durchbrüchen gegeben.

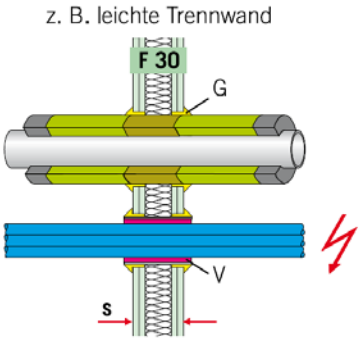
Durch feuerhemmende Wände dürfen:

a) elektrische Leitungen,

b) Rohrleitungen aus nichtbrennbaren Baustoffen mit/ohne brennbaren Rohrbeschichtungen bis 2 mm Dicke

geführt werden, wenn der Raum zwischen den Leitungen und dem umgebenden Bauteil aus nichtbrennbaren Baustoffen mit nichtbrennbaren Baustoffen oder mit im Brandfall aufschäumenden Baustoffen vollständig ausgefüllt wird.

Bei Verwendung von Mineralfasern ist eine Schmelztemperatur von mindestens 1000°C vorgeschrieben. Bei Verwendung von aufschäumenden Dämmschichtbildnern und von Mineralfasern darf der Abstand zwischen der Leitung und dem umgebenden Bauteil nicht mehr als 50 mm betragen**.**



Mindestdicken im Bereich der Abschottung:
s ≥ 60 mm in Anlehnung an
MLAR, Abschnitt 4.3

M/G – Mörtel und Gips mineralischer Baustoff
V – Mineralfaserdämmung, Schmelzpunkt ≥1000°C oder im Brandfall aufschäumende Baustoffe max. Spaltbreite 50 mm umlaufend

Abb. 13: Leitungsdurchführung durch feuerhemmende Wände [21]

Entsprechend M-HFHHolzR dürfen einzelne Kabel oder einzelne nichtbrennbare Hüllrohre mit bis zu drei Kabeln innerhalb eines Bauteils geführt werden, wenn sie zur Versorgung des angrenzenden Raumes innerhalb derselben Nutzeinheit dienen. Bei Durchführung der Leitungen durch die Brandschutzbekleidung sind die verbleibenden Hohlräume in der Brandschutzbekleidung mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verspachteln.

Einzelne Hohlwanddosen zum Einbau von Steckdosen, Schaltern und Verteilern dürfen eingebaut werden, wenn der Abstand zum nächsten Holzständer bzw. zur nächsten Holzrippe mindestens 150 mm beträgt.

Gegenüberliegende Hohlwanddosen müssen gefachversetzt eingebaut werden. Sie müssen innerhalb des Wandhohlraumes vollständig von nichtbrennbaren Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt ≥1000°C umhüllt werden, wobei der hohlraumfüllende Dämmstoff im Bereich der Hohlwanddosen auf eine Mindestdicke von 30 mm gestaucht werden darf.

Die Angaben in der MLAR und M-HFHHolzR werden für die weitere Bewertung der Brandausbreitung in Holzgebäuden mit herangezogen. Versicherungstechnisch wird u.a. die Brandausbreitung entlang von Installationen problematisch gesehen. Eine unkontrollierte Brand- und Rauchausbreitung in Hohlräumen soll verhindert werden.

Zur Schadenminimierung ist es sinnvoll, wenn installierte Räume konzentriert und geschossweise übereinander angeordnet werden. Installationen können dann in einer Ebene durchgeführt werden. Verziehungen in Deckenebene sind nicht notwendig. Die Ausbreitung von Rauch kann eingegrenzt werden, wenn nicht nur Bauteile und Bauteilanschlüsse brandschutztechnisch optimiert werden, sondern auch die Installationsführung.

3 Brandschutztechnische Bewertung von Holzbauteilen

3.1 Hauptursachen für Brandentstehung

Aus der Statistik wird deutlich, dass Elektrizität eine der Hauptursachen für die Entstehung von Bränden ist. Bei jedem Brand sollte eine elektrotechnische Brandursache hinterfragt werden. Die Beeinflussung des Brandverhaltens von Holzbauteilen durch Installationen wird im Rahmen dieses Vorhabens untersucht.

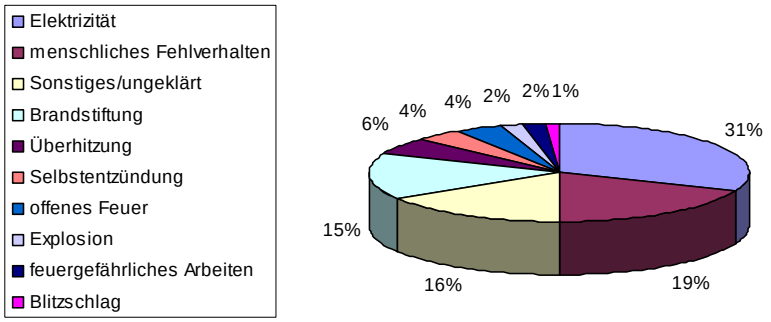


Abb. 14: Verteilung der Brandursachen 2005
(Datenquelle: Schadensdatenbank des Institutes für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer e.V. - IFSKiel) [22]

Durch mangelnde Festigkeit der Verbindung, z.B. bei einem Wackelkontakt, kann ein Fehlerwiderstand erzeugt werden. Dadurch wird eine örtlich erhöhte Wärmeenergie freigesetzt, die bei ausreichender Intensität eine Zündung einleiten kann. Es besteht die Möglichkeit eines Lichtbogens mit Temperaturen zwischen 4000 °C und 6000 °C. Der Nachweis eines Lichtbogens kann anhand des verdampften Kupfers, das in nahezu allen Energieleitungen enthalten ist, erfolgen.

Nach [23] können durch Elektrotechnik verursachte Brände in drei Hauptfehlerursachen eingeteilt werden:

- zu hohe Leitertemperatur,
- Isolationsfehler,
- Kontaktfehler.

Eine zu hohe Leitertemperatur entsteht zum Beispiel, wenn zu viele Geräte an eine Mehrfach-Verteilerdose angeschlossen oder elektrische Leitungen mit einem zu geringen Querschnitt verwendet werden.

Isolationsfehler können durch mechanische Einwirkungen, z.B. Einschlagen eines Nagels oder thermische Einwirkungen entstehen.

Kontaktfehler treten auf, wenn lose Klemmstellen in Geräten oder Verteilerdosen vorhanden sind. Auch die Umgebungstemperatur hat einen großen Einfluss auf die Lebensdauer von elektrischen Leitungen.

Kabel und Leitungen sind wegen ihrer Länge und Verlegungsart besonders gefährdet. Viele der Brandereignisse (ca. 15 %) werden durch diese Fehlerart verursacht [24].

Entzündungen können bereits durch Fehlerströme von 150 mA hervorgerufen werden. Zusätzlich zum Überstromschutz sollten Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schalter) eingesetzt werden, die seit langem als die wirksamste Schutzeinrichtung gegenüber Isolationsfehlern gelten. Bei richtiger Bemessung erfassen sie Fehlerströme, die durch Überstrom-Schutzeinrichtungen nicht erkannt werden.

Nach den Erfahrungen der Brandschadenverhütung können schon 60 W Fehlerleistung akut brandgefährlich sein. Wird die Wärmeabfuhr behindert, können auch geringere Fehlerleistungen eine Entzündung hervorrufen. Aus diesem Grund wurden Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen entwickelt, die bei Fehlerströmen von 300 mA auslösen.

Das Schadenausmaß kann gering gehalten werden, wenn Fehler in elektrischen Anlagen schnell erkannt werden. In Deutschland wird vom VDE bei Neubau und Modernisierung ein RCD mit einer Auslösestromdifferenz von 30 mA für alle Steckdosenstromkreise verlangt, die für die allgemeine Benutzung durch Laien vorgesehen sind.

Ein RCD mit einer Auslösestromdifferenz von 300 mA wird oft als Brandschutz für das gesamte Haus eingesetzt und wird von einigen EVU sogar vorgeschrieben, wenn die Hauseinspeisung nicht über Erdkabel, sondern über Dachfreileitungen erfolgt.

3.2 Unterscheidung zwischen mobilen und immobilen Brandlasten

Wichtig bei dem Vergleich zwischen Holz- und Massivbauweise ist, ob ein Brand in der Konstruktion durch fehlerhafte elektrische Leitungen oder durch elektrische Geräte im Rauminneren entsteht. Entzünden elektrische Geräte die sie umgebenden brennbaren Teile, entsteht ein Raumbrand, dessen Verlauf im Anfangsstadium bauweisenunabhängig ist. In diesem Stadium des Brandes bestimmen mobile Brandlasten das Brandgeschehen. Die Konstruktion ist in dieser Phase nicht beteiligt, wenn sie durch eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung geschützt wird.

Abb. 15: Zusammensetzung der Brandlastanteile in Gebäuden [11]

Sind dagegen elektrische Leitungen in der Konstruktion fehlerhaft, können brennbare Bestandteile im Bauteilinneren entzündet werden. Voraussetzung für die Fortentwicklung des Brandes ist eine ausreichende Sauerstoffzufuhr. Ist das nicht der Fall, kommt es zum Erlöschen des Hohlraumbrandes.

Die Risikobewertung der Entzündung von brennbaren Bestandteilen innerhalb von Holzkonstruktionen ist schwierig. Ein älterer Untersuchungsbericht [25] hat sich mit experimentellen Aussagemöglichkeiten zum Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden beschäftigt. U.a. wurden Versuche an Wandmodellen mit Abzweigdosen unter Simulierung eines Lichtbogens durchgeführt. Die Versuche zeigten, dass in Abhängigkeit von der Lichtbogenlänge eine Entzündung möglich ist.

Die Versuche weisen darauf hin, dass bei möglicher Abfuhr der Rauchgase und Verbrennungsluftzuführung ein selbständiges Brennen der Wärmedämmschicht keinesfalls auszuschließen ist. Entsprechende Wandöffnungen sind vorhanden, zum Beispiel bei Ausführung von Verteilerdosen oder Schaltern.

Bei der Verwendung von brennbaren Bestandteilen in der Konstruktion wird von einem höheren Brandentstehungsrisiko ausgegangen, wenn Zündquellen vorhanden sind. Wissenschaftliche Untersuchungen zu dieser Thematik wurden für mehrgeschossige Holzgebäude durchgeführt. Als Kompromiss wird derzeit bauaufsichtlich eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung gefordert, die eine Entzündung der brennbaren Tragkonstruktion über einen Zeitraum von 60 Minuten verhindert.

Für die brandschutztechnische Bewertung von Holzgebäuden ist entscheidend, ob der Brand innerhalb oder außerhalb von Wand- und Deckenbauteilen entsteht. Innerhalb von Bauteilen können Brände zum Beispiel durch defekte Elektrokabel oder unsachgemäß angeschlossene Kaminrohre bzw.
-durchdringungen hervorgerufen werden.

Der Ansatz, die Entzündung der Tragkonstruktion einzuschränken, wird versicherungstechnisch für Gebäude der Gebäudeklassen 1 bis 3 mit einem entscheidenden Unterschied übernommen, nämlich das die Kapselung auch mit brennbaren Plattenwerkstoffen erzielt werden kann. Nach M-HFHHolzR dürfen nur nicht brennbare Bekleidungen verwendet werden.

Nachfolgend sind zwei Beispiele für die Brandentstehung im Rauminneren und in der Konstruktion gegeben. In Abb. 16 wurden die Außenwände mit Installationsebene ausgeführt. Die Verteilung innerhalb der Geschosse erfolgte in der Ebene der Trittschalldämmung oberhalb der Rohdecke aus Brettschichtholzelementen. Die dargestellten Räumlichkeiten gehören zu einem zweigeschossigen Einfamilienhaus in Holzrahmenbauweise. Innerhalb der Bauphase entstand ein Brand im Dachgeschoss, hervorgerufen durch eine defekte Kabeltrommel.

a) b)

Abb. 16: Installation in Holzgebäuden
a) Brandentstehung – Entzündung brennbarer Trittschalldämmung durch defekte Kabeltrommel in der Bauphase, b) Rauch- und Brandweiterleitung durch Hohlwanddosen (ohne Abdeckungen)

Der Brand konnte durch das schnelle und gezielte Eingreifen der Feuerwehr so gelöscht werden, das der Sachschaden gering ausfiel.

Schäden im Erdgeschoss waren nur in dem verbindenden Treppenhaus vorhanden. Ansonsten musste nur das Dachgeschoss saniert werden.

Die Vorwandinstallationen wurden geöffnet, die Dämmung entfernt und die innere Beplankung der Holzrahmenbauwände gesäubert. Die Installationen (Elektro und Sanitär) wurden im Dachgeschoss komplett ausgetauscht. Vorteilhaft war, dass Installationsebenen ausgeführt wurden.

An sichtbaren Flächen, vor allem im Treppenhaus, in dem Brandgeruch wahrnehmbar war, wurde eine Ozonbehandlung durchgeführt.

Die Bauherren konnten, wenn auch verspätet, das Gebäude beziehen. Eine negative Rückmeldung, vor allem wegen möglicher Geruchsbelästigungen, gab es bis zu diesem Zeitpunkt nicht.

In Abb. 17 ist eine Kaminrohrdurchführung durch eine Giebelwand in Holzrahmenbauweise dargestellt. Der notwendige Abstand zu brennbaren Bestandteilen wurde nicht eingehalten.

a)

b)

c)

Abb. 17: Unsachgemäß angeschlossenes Kaminrohr
a) Kaminofen, b) Rohrdurchführung innen, c) Rohrdurchführung außen

Zur Schadenminimierung sollten Durchführungen verwendet werden, die eine Zulassung besitzen und für diesen Anwendungsfall entwickelt wurden. In Abb. 18 ist eine zugelassene Rohrdurchführung dargestellt.

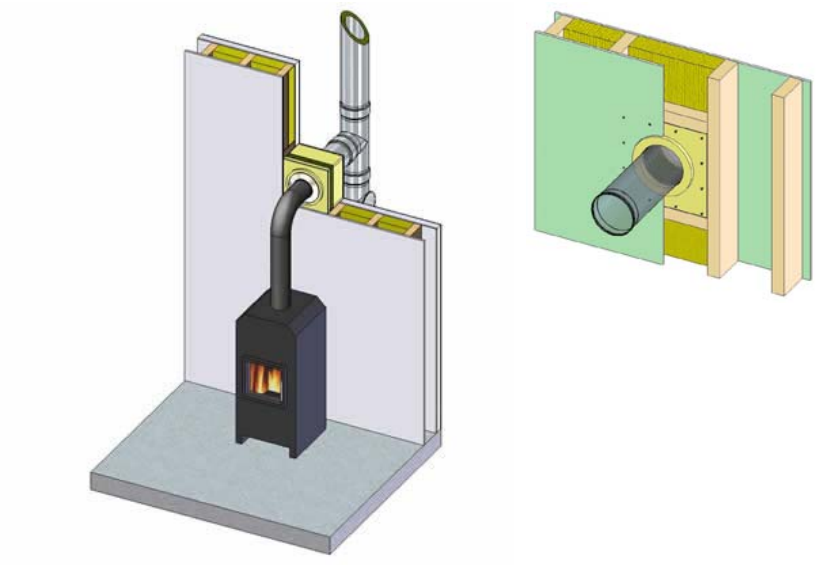


Abb. 18: Rohrdurchführung mit Zulassung Z-7.4-3361 [26]

3.3 Bemessung nach EN 1995-1-2

Die Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer von Wand- und Deckenbauteilen nach EN 1995-1-2: 2006 kann bis zu einer Branddauer von 60 Minuten erfolgen. Den einzelnen Bauteilschichten kann eine Versagenszeit in Abhängigkeit des Wärmedurchgangs und der Schutzzeit von Holzbauteilen zugeordnet werden.

In Abhängigkeit von Abbrandverhalten von Holz- und Holzwerkstoffen wurde ein additives Verfahren entwickelt, dass es ermöglicht anhand einzelner Leistungskriterien der Bauteilschichten ein Holzbauteil zu bewerten.

Die Leistungskriterien, die zur Bewertung eines Holzbauteils herangezogen werden, sind:

- Tragfähigkeit
- Wärmedämmung und Raumabschluss
- Schutzzeit von Bekleidungen
- thermische Grenztemperatur von Dämmstoffen

Die thermische Grenztemperatur von brennbaren Dämmstoffen, die noch kein Bestandteil der Norm ist, wird zurzeit in einem Forschungsvorhaben untersucht [10]. Wenn die Dämmstoffe in Gefachen zum Einsatz kommen, muss die niedrigere Entzündungstemperatur gegenüber Holz und Holzwerkstoffen beachtet werden.

Mit der Möglichkeit die Versagenszeit der einzelnen Bekleidungsschichten zu bestimmen, kann auch der Zerstörungsgrad eines Bauteils in Abhängigkeit von der Branddauer ermittelt werden. Anhand der Lage im Gebäude kann die Reparaturwürdigkeit eines Bauteils überprüft und Sanierungsgrundsätze erarbeitet werden.

Nach dieser Norm können Wand- und Deckenbauteile mit folgenden Aufbauten berechnet werden:

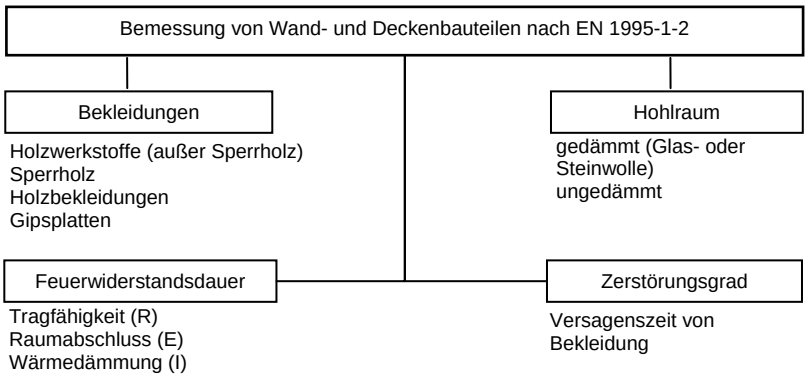


Abb. 19: Bemessungsmöglichkeiten von Wand- und Deckenbauteilen

Eine weitere Einschränkung ist bei der Gefachdämmung festzustellen. Der Nachweis der Wärmedämmung von Bauteilen unter Brandbeanspruchung kann nur mit Gefachdämmungen aus Glas- bzw. Steinwolle oder ungedämmten Gefachen geführt werden. Nachwachsende Rohstoffe wie Zellulose- oder Holzfaserdämmung sind nicht in EN 1995-1-2:2006 enthalten.

3.4 Bestimmung des Glimmbrandverhalten

Das Glimmbrandverhalten von brennbaren Dämmstoffen gibt wichtige generelle Aufschlüsse für Konstruktionen in Holzbauweise. In Abhängigkeit vom Wärmedurchgang durch Plattenwerkstoffe wird die Grenztemperatur der brennbaren Dämmstoffe erreicht und ein Glimmvorgang kann in Gang gesetzt werden. Brennbare Stoffe sind dann glimmfähig, wenn der bei thermischer Zersetzung entstehende koksartige Rückstand porös ist und durch diesen Sauerstoff in die Reduktionszone diffundieren kann, so dass sich eine ausgeglichene Wärmebilanz einstellt. Dabei ist es unerheblich, ob der Sauerstoff als Bestandteil der Luft oder in stoffgebundener Form vorliegt.

Glimmbrände entstehen unter speziellen Randbedingungen, unter denen ein Flammenbrand nicht möglich ist. Zur Initiierung eines Glimmbrandes muss die Zündquelle so viel Wärme übertragen, dass sich ein Glimmbrand selbsttätig ausbreiten kann. Es wurden weitere Untersuchungen zum Entzündungs- und Glimmbrandverhalten durchgeführt (vgl. [27], [28] und [29]). Ein einheitliches Verfahren wurde bisher noch nicht entwickelt.

Die jeweils erforderliche Wärmemenge ist von folgenden stoff- und umgebungsbedingten Faktoren abhängig:

- Wärmeleitfähigkeit
- Feuchtegehalt
- Dichte, Struktur, Porosität
- Ventilation
- Anwesenheit von Katalysatoren oder Inhibitoren

Beim Voranschreiten von Glimmbränden stellt sich ausgehend von einer Zündquelle eine typische Temperaturverteilung zwischen unverbranntem und geschädigtem Material ein.

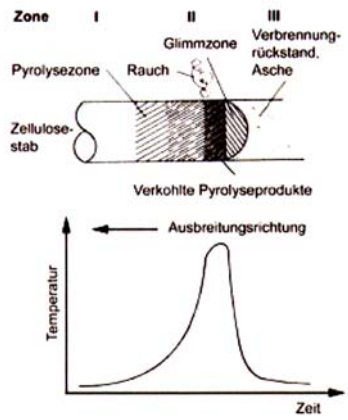


Abb. 20: Glimmender Zellulosestab mit Temperaturverlauf in der Pyrolyse- und Glimmzone [30]

Folgende Ergebnisse wurden bei den Glimmbrandversuchen mit einer eigens entwickelten Glimmbrandapparatur [28], [29] ermittelt:

- Bei steigender brandschutztechnischer Qualität nimmt die niedrigste Temperatur zu, bei der ein Glimmbrand ausgelöst werden kann. Zum Beispiel Baustoffe der Baustoffklasse B2 zündeten unter den gewählten Lüftungsbedingungen bei 350 °C, während B1-Produkte erst bei 400 °C zündeten.

Nach Zündung des Materials besitzen die Ventilationsbedingungen einen dominierenden Einfluss auf die Intensität des weiteren Ablaufs und damit auf die Ausbreitung des Glimmbrandes. Der Prozess kann bei fehlender oder sehr geringer Belüftung selbständig verlöschen oder bei steigenden Luftvolumen sich aktivieren.

Zur Bestimmung der thermischen Grenztemperatur wurde ein aus Vermiculit-Platten bestehender offener Kasten mit den Innenmaßen 100 x 100 mm² und einer Höhe von 50 mm hergestellt (vgl. [10]). Der Kasten wurde vollständig mit dem zu untersuchenden Dämmstoff gefüllt. Die Abdeckung erfolgte mit einer 18 mm Gipskarton-Feuerschutzplatte. Der Kasten wurde mit einem homogenen Wärmestrom von 20 kW/m² beaufschlagt, bis auf der brandabgewandten der Gipskarton-Feuerschutzplatte eine festgesetzte Temperatur von 150 °C bis 250 °C erreicht wurde.

Anhand der Verfärbung wurde festgestellt, ob bereits eine thermische Zersetzung des Materials vorlag. In dem Forschungsvorhaben wurden insgesamt 14 brennbare Dämmstoffe hinsichtlich ihrer thermischen Grenztemperatur untersucht.

Die Entzündung der Tragkonstruktion bzw. der eingebrachten brennbaren Dämmstoffe soll verhindert werden, um eine unkontrollierbare Brandausbreitung innerhalb der Gefache von Holzbauteile zu verhindern. Durch die Weiterentwicklung der Holzbauweise und die gestiegenen bauphysikalischen Anforderungen kann davon ausgegangen werden, dass die Wand-, Decken- oder Dachbauteile der Gebäudehülle voll gedämmt sind. Verbindungen zwischen Hohlräumen von unterschiedlichen Bauteilen oder zum Rauminneren werden durch notwendige Installationen geschaffen.

Die Ausführung der Installation besitzt einen starken Einfluss auf den Schädigungsgrand von Gebäuden. Speziell Elektroinstallationen, die einen direkten Zugang zu den Rauminneren besitzen, können sich negativ auf den Brandschädigungsgrad auswirken.

4 Brandversuche

4.1 Allgemein

In dem Vorhaben konnten im Rahmen der „Kampagne Brandschutz“ zwei Realbrandversuche und weitere Kleinbrandversuche an verschiedenen Anschlussdetails durchgeführt werden. Bei den Kleinbrandversuchen wurden auch Konstruktionen mit brandschutztechnisch optimierten brennbaren Dämmstoffen aus Holzfasern und Zellulose getestet.

Aus den Versuchen wurden umfangreiche Erkenntnisse gewonnen zu:

- Brandausbreitungswegen mit zugehörigen Schadenscharakteristika,
- dem Verhalten nichtbrennbarer und brennbarer Dämmstoffe in Bauteilen in Holzrahmen- und Holztafelbauweise sowie von Brettsperrholzelementen,
- der Dichtheit von Bauteilanschlussfugen und
- den Auswirkungen von elektrischen Installationen auf den Schädigungsgrad von Bauteilen.

Die Bestimmung der Versagenszeit von Bekleidungsvarianten kann bei Norm- oder Realbrandversuchen über die Messung von Temperaturen in den jeweiligen Bekleidungslagen des Bauteils durch Thermoelemente erfolgen. Als Versagenskriterium wird die Zeit angenommen, bei der die geschützte Holzoberfläche 300 °C erreicht. Bei dieser Temperatur beginnt Holz zu verkohlen.

Abb. 21: Versuchsgebäude „Kampagne Brandschutz“

Abb. 22: Montage Decke aus Brettschichtholzelementen

Abb. 23: Anordnung Messtechnik (Thermoelemente) an Fassade und Traufe

4.2 Brandversuche „Kampagne Brandschutz“

4.2.1 Ziele

Zur Ermittlung der räumlichen Ausbreitung von Bränden konnte die „Kampagne Brandschutz“ ins Leben gerufen werden. Die „Kampagne Brandschutz“ wurde von der Firma Haas Fertigbau GmbH und den Verbänden des Bayerischen Zimmer- und Holzgewerbes initiiert.

Mit der „Kampagne Brandschutz“ besteht die Möglichkeit Bauherren, Planern und Vertretern von Behörden der Bauwirtschaft zu verdeutlichen, dass sich Gebäude in Holzbauweise im Brandfall gleichwertig zu massiven Bauweisen verhalten. Durch einfache brandschutztechnische Maßnahmen wird die Brandausbreitung weiter eingegrenzt.

Ausgehend von einem Raumbrand wurden folgende Ziele in Abhängigkeit von den Brandausbreitungswegen verfolgt:

- Bei ausgewählten Wand- und Deckenbauteilen wird die Tragkonstruktion nicht durch Brandeinwirkung geschädigt.
- Die Ausbreitung von Feuer und Rauch über Verbindungsfugen (z.B. Anschluss Innenwand/Decke) wird wirksam durch Abschottungen verhindert.
- Die Ausbreitung des Brandes durch Fensteröffnungen kann auftreten. Die weitere Ausbreitung wird durch geeignete Maßnahmen eingegrenzt.
- Die Feuerwehr achtet auf einen gezielten Löschwassereinsatz.

4.2.2 Beschreibung Versuchsprogramm

Das Gebäude besteht aus zwei Brandräumen BR1 und BR2. In Abb. 24 ist der Grundriss des Erdgeschosses mit Bezeichnung der Wand-, Decken- und Dachbauteile dargestellt:

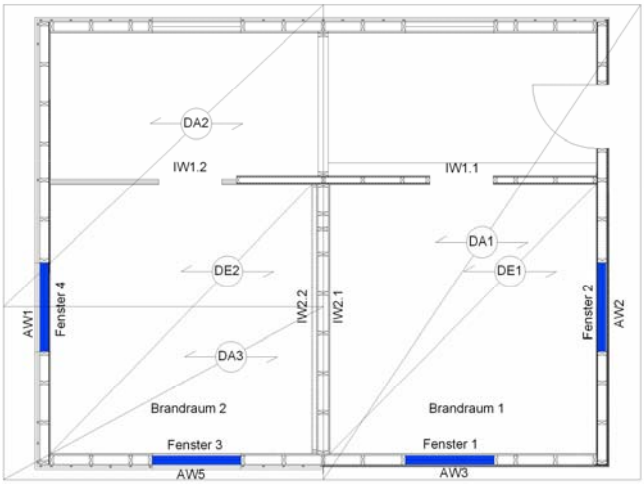
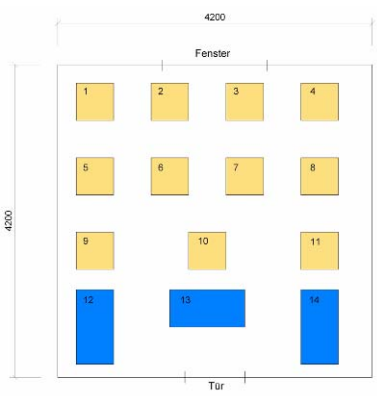


Abb. 24: Bezeichnungen Bauteile

Die Brandräume sind über einen Flur zugänglich. Den oberen Abschluss des Gebäudes bildet ein Satteldach mit Dachüberstand. Während der Brandversuche wurde die Brandausbreitung über Temperaturmessstellen, Wärmestrommessung vor den Fenstern und Raumluftmessungen im Brandraum aufgezeichnet. In dem Brandraum wurden Holzkrippen mit folgender geometrischer Anordnung und Gewicht aufgestellt:



Legende
Brandraum Fläche: 17,8 m²

1 – 11: Normbrandholz 550 kg
in Krippen á 50 kg

12 – 14:
Isopropanol 75 l in drei Blechwannen
+ 4,4 l in Blechwannen unter Holzkrippen

Heizwert: 619 MJ/m²
Holzgleichwert: 37,5 kg/m²

Abb. 25: Brandlastanordnung

Die Brandausbreitung und Schädigung wurde für die Bauteile und Anschlüsse entsprechend der Brandversuche ausgewertet:

BR1	**Bauteile**	
	Wand	→ AW2 - AW3 - IW1.1 - IW2.1
	Decke	→ DE1
	Dach	→ DA1
	Anschlüsse	
	Wand/Wand	→ AW2/AW3 -– AW3/IW2.1 -– AW2/IW1.1 -– IW2.1/IW1.1
	Wand/Decke	→ AW2/DE1 -– AW3/DE1 -– IW2.1/DE1 -– IW1.1/DE1
	Wand/Dach	→ AW2/DA1 -– AW3/DA1
BR2	**Bauteile**	
	Wand	→ AW1 - AW5 - IW1.2 - IW2.2
	Decke	→ DE2
	Dach	→ DA2 - DA3
	Anschlüsse	
	Wand/Wand	→ AW1/AW5 - AW5/IW2.2 - AW1/IW1.2 - IW2.2/IW1.2
	Wand/Decke	→ AW1/DE2 - AW5/DE2 - IW2.2/DE2 - IW1.2/DE2
	Wand/Dach	→ AW1/DA2 - AW1/DA3 - AW5/DA2

Die Raumgeometrie und Brandlast machten es erforderlich, dem Brand durch Zusatzmaßnahmen ausreichend Sauerstoff zur Verfügung zu stellen. Vor Beginn des Brandversuches wurde jeweils das Trauffenster in Außenwand AW2 (BR1) und AW1 (BR2) geöffnet. Um während des Brandes die Ventilationsbedingungen steuern zu können, wurde im unteren Teil des Innentürrahmens ein Ventilator angeordnet. Die oberen zwei Drittel der Türöffnung wurden mit einer Kalzium-Silikat-Platte abgedeckt.

Auf die Decken wurden jeweils zwei Lagen Gehwegplatten aufgelegt, um Eigen- und Nutzlasten im Lastfall Brand zu simulieren. Die zwei Lagen Gehwegplatten entsprechen einer Flächenlast von 2,26 kN/m². Abzüglich der Nutzlast von 1,00 kN/m² entfallen 1,26 kN/m² auf den Fußbodenaufbau.

Für statische Nachrechnungen können dann folgende Eigen- und Nutzlasten angesetzt werden:

• Eigenlast	Decke DE1 (Holzbalkendecke)	
	Rohdecke ohne Fußbodenaufbau	0,57 kN/m²
	Fußbodenaufbau	1,26 kN/m²
		1,83 kN/m²
	Decke DE2 (Brettstapeldecke)	
	Rohdecke ohne Fußbodenaufbau	0,70 kN
	Fußbodenaufbau	1,26 kN/m²
		1,96 kN/m²
• Nutzlast:	Wohn- und Aufenthaltsräume	1,00 kN/m²

Die Nutzlasten wurden entsprechend DIN 1055-100:2001 [31] mit dem Faktor $\psi_{1,1}$ = 0,5 abgemindert.

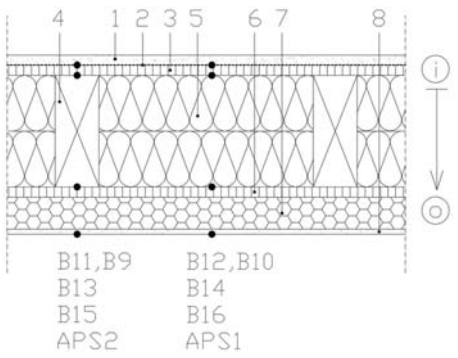
Bei den Bauteilen AW3, AW5 und IW2.1 wurde die Tragkonstruktion durch eine zweilagige nichtbrennbare Bekleidung mit Gipskarton-Feuerschutzplatten (GFK) mit einer Dicke von d = 2 x 15,0 mm gekapselt. Die Innenwand IW2.2 wurde beim Brandversuch 2 mit Installationsebene ausgestattet. Insgesamt wurden sieben Gefache mit Installationsebene ausgeführt. Davon wurden drei Gefache mit Dämmung und vier Gefache ungedämmt ausgeführt. Die innere Bekleidung bildet eine Gipskarton-Feuerschutzplatte mit einer Dicke d = 12,5 mm. In einzelnen Gefachen wurden Hohlwanddosen mit und ohne Gipsummantelung angeordnet. Damit konnte der Temperaturverlauf hinter Hohlwanddosen mit und ohne Gipsummantelung in gedämmten und ungedämmten Gefachen überprüft werden. Vor dem Brandversuch 2 wurde ein Teil der Innenwand IW1.2 mit einem Brettsperrholzelement ersetzt. Im Bereich des Brettsperrholzelementes, das brandraumseitig mit Gipskarton-Feuerschutzplatten der Dicke von 12,5 mm bekleidet war, wurden zusätzlich Hohlwanddosen mit und ohne Gipsummantelung eingebracht. Im Brandraum 2 wurde eine unbekleidete Brettschichtholzdecke getestet. Die Fugenausbildung der Brettschichtholzelemente wurde mit zwei übereinander liegenden Fremdfedern ausgeführt. Die Dachaufbauten wurden nach Herausschlagen der Flammen aus den Fensteröffnungen von außen beansprucht. Während der Brandversuche konnten drei verschiedene Dachaufbauten getestet werden.

Beim Dachaufbau DA1 wurde oberhalb der Dämmung eine Unterspannbahn angeordnet. Um die Sparrenoberseite besser vor Brandeinwirkung zu schützen, wurde beim Dachaufbau DA2 anstatt der Unterspannbahn eine Unterdeckplatte angeordnet. Der Dachaufbau DA3 unterscheidet sich von den beiden vorgenannten Dachaufbauten dadurch, dass die Trag- von der Dämmebene getrennt wurde. Das tragende Brettsperrholzelement liegt auf der Außenwand AW1 auf. Der Dachüberstand wird durch aufgelegte Sparren gebildet, die über die Außenwand AW1 hinaus geführt werden.

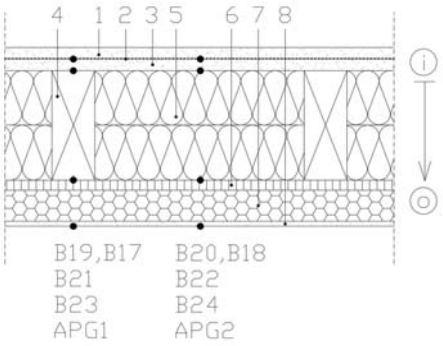
Der Stoß der Dachaufbauten DA2 und DA3 befindet sich mittig über dem Fenster 4, um gleiche Ausgangsbedingungen der Brandbeanspruchung zu schaffen.

Eine umfassende Versuchsdokumentation mit Bildern und Diagrammen ist in dem Untersuchungsbericht zur „Kampagne Brandschutz“ enthalten [32].

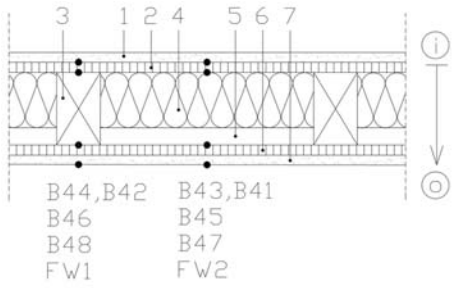
Bauteil AW2

Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Gipskarton-Bauplatte (GKB) DIN 18180	Knauf	12,5	
2	Dampfbremsfolie	Bachl	-	
3	3-Schicht-Massivholzplatte (NH) Z-9.1-404	Haas	13,0	
4	Stiele b/h=55/140 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	140,0	
5	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sonorock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	140,0	
6	3-Schicht-Massivholzplatte (NH) Z-9.1-404	Glunz	13,0	
7 8	WDVS Sto Therm Classic Z-33.41-811 Polystyrol Putz	Sto	40,0 ~6,0	

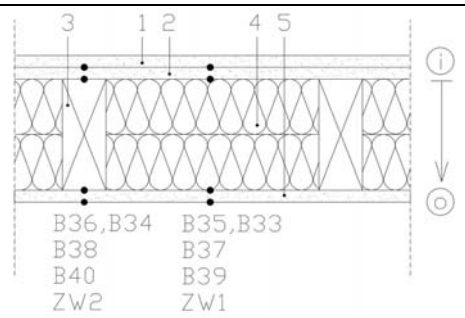
Bauteil AW3

Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	
2	Dampfbremsfolie	Bachl	-	
3	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	
4	Stiele b/h=55/140 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	140,0	
5	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sonorock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	140,0	
6	Spanplatte P5 EN 312	Glunz	13,0	
7 8	WDVS Sto Therm Classic Z-33.41-811 Polystyrol Putz	Sto	40,0 ~6,0	

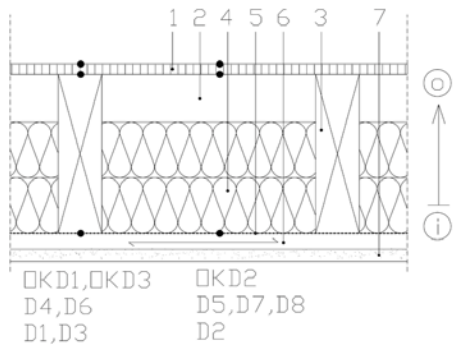
Bauteil IW1.1

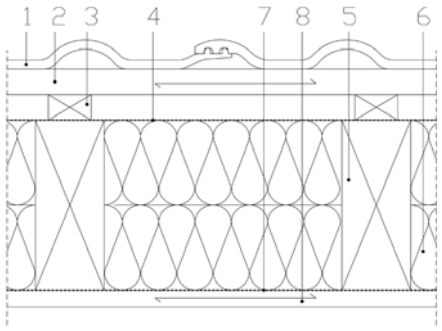
Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Gipskarton- Bauplatte (GKB) DIN 18180	Knauf	12,5	
2	Spanplatten P4 EN 312	Unilin/ Bospan	13,0	
3	Stiele b/h=55/92 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	92,0	
4	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sono-rock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	70,0	
5	Luftraum	-	22,0	
6	Spanplatte P4 EN 312	Haas	13,0	
7	Gipskarton- Bauplatte (GKB) DIN 18180	Knauf	12,5	

Bauteil IW2.1

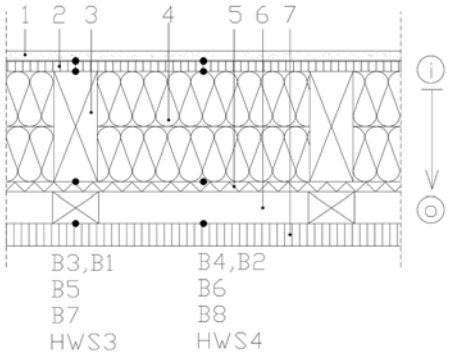
Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	
2	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	
3	Stiele b/h=55/140 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	140,0	
4	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sono-rock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	140,0	
5	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	

Bauteil DE1

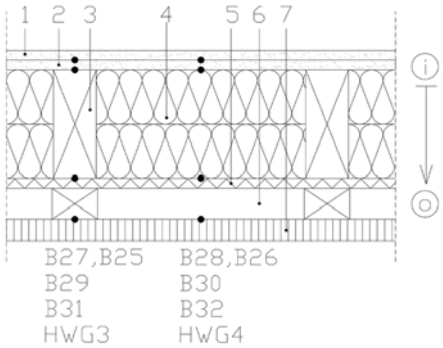
Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Spanplatte P4 EN 312	Unilin/ Bospan	16,0	
2	Stiele b/h=60/200 mm², e ~ 300 mm KVH NH C24 (S10)	-	200,0	
3	Luftraum	-	60,0	
4	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sono-rock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	140,0	
5	Lattung b/h=80/24 mm², e ~ 300 mm NH C24 (S10)	-	24,0	
6	Gipskarton-Bauplatte (GKB) DIN 18180	Knauf	12,5	

Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Lage
1	Dachziegel	Braas	-	
2	Lattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	
3	Konterlattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	
4	Unterspannbahn	Tyvek	-	
5	Sparren b/h=80/200 mm², e ~ 700 mm NH C24 (S10)		200,0	
6	Mineralfaserdämmung (Glaswolle) Rollfilz Metac UF ρ = 13 kg/m³	Isover	200,0	
7	Dampfbremsbahn	Bachl	-	
8	Lattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	

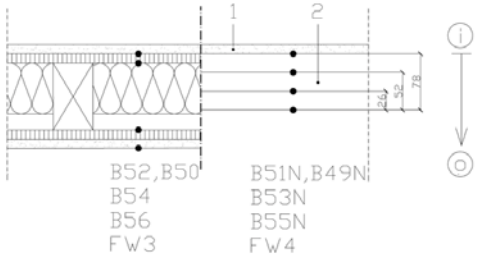
Bauteil AW1

Nr.	**Bezeichnung**	**Hersteller**	**Dicke [mm]**	**Querschnitt**
1	Gipskarton-Bauplatte (GKB)	Knauf	12,5	
2	Spanplatte P4 EN 312	Unilin/ Bospan	13,0	
3	Stiele b/h=55/140 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	140,0	
4	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sonorock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	140,0	
5	Holzfaserplatten DWD protect N+F Z-9.1-382	Glunz	16,0	
6	Unterlüftung Lattung b/h=60/40 mm², e = 625 mm NH C24 (S10)	-	40,0	
7	3-Schicht-Massivholzplatten Z-9.1-404	Haas	28,0	

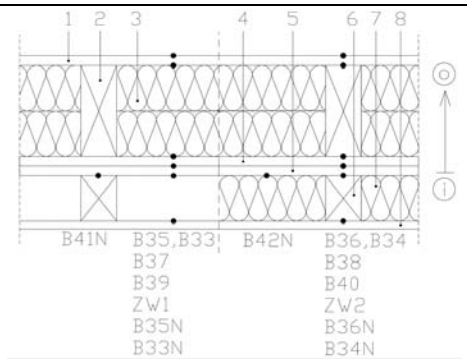
Bauteil AW5

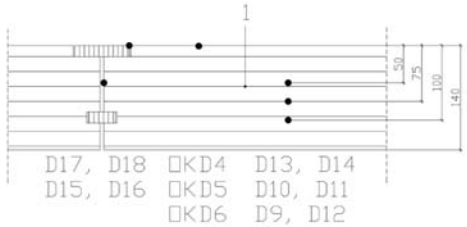
Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	
2	Dampfbremsfolie	Bachl	-	
3	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIn 18180	Knauf	15,0	
4	Stiele b/h=55/140 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	140,0	
5	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sonorock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	140,0	
6	Holzfaserplatten DWD protect N+F Z-9.1-382	Glunz	16,0	
7	Unterlüftung Lattung b/h=60/40 mm², e = 625 mm NH C24 (S10)	-	40,0	
8	3-Schicht-Massivholzplatten Z-9.1-404	Haas	28,0	

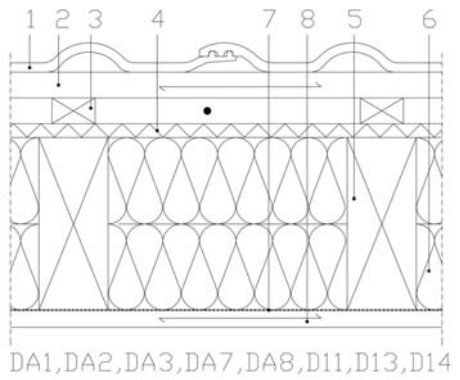
Bauteil IW1.2

Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Gipskarton- Bauplatte (GKB) DIN 18180	Knauf	12,5	
2	Brettsperrholz Z-9.1-680 (in Bearbeitung)	Haas	75,0	

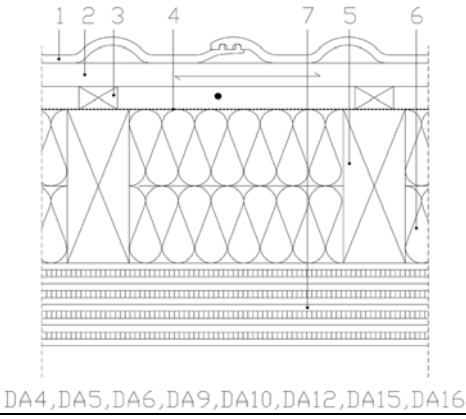
Bauteil IW2.2

Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	
2	Stiele b/h=55/140 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	140,0	
3	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sono-rock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	140,0	
4	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	15,0	
5	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	12,5	
6	Stiele b/h=60/50 mm², e = 625 mm KVH NH C24 (S10)	-	50,0	
7	Mineralfaserdämmung (Steinwolle) Sono-rock (Schmelzpunkt > 1000°C) ρ = 26 kg/m³	Rockwool	50,0	
8	Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) DIN 18180	Knauf	12,5	

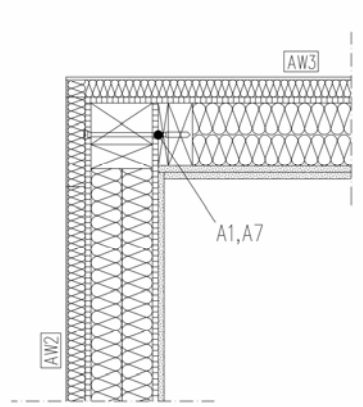
Bauteil DE2 (Haas)				
Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Brettstapeldecke DIN 1052: 2004	Haas	140,0	

Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Dachziegel	Braas	-	
2	Lattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	
3	Konterlattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	
4	Holzfaserplatten DWD protect N+F Z-9.1-382	Glunz	16,0	
5	Sparren b/h=80/200 mm², e ~ 700 mm KVH NH C24 (S10)	-	200,0	
6	Mineralfaserdämmung (Glaswolle) Rollfilz Metac UF ρ = 13 kg/m³	Isover	200,0	
7	Dampfbremsbahn	Bachl	-	
8	Lattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	

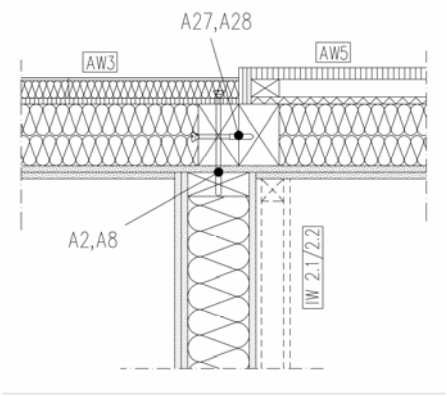
Bauteil DA3

Nr.	Bezeichnung	Hersteller	Dicke [mm]	Querschnitt
1	Dachziegel	Braas	-	
2	Lattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	
3	Konterlattung b/h=50/30 mm² NH C24 (S10)	-	30,0	
4	Unterspannbahn	Tyvek		
5	Sparren b/h=80/200 mm², e ~ 700 mm KVH NH C24 (S10)		200,0	
6	Mineralfaserdämmung (Glaswolle) Rollfilz Metac UF ρ = 13 kg/m³	Isover	200,0	
7	Brettsperrholz	Haas		

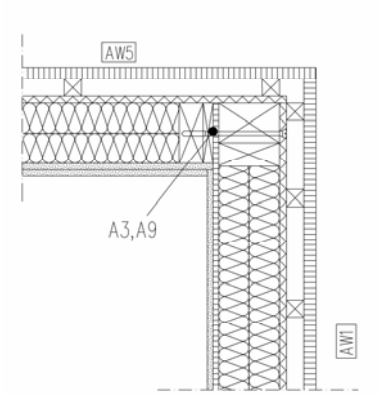
AW2/AW3



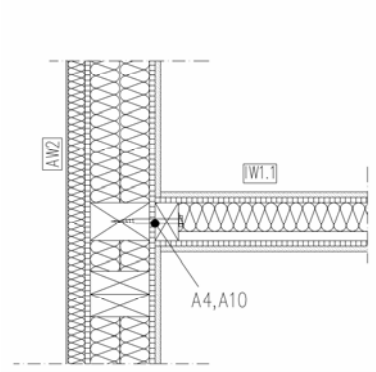
AW3/AW5/IW2



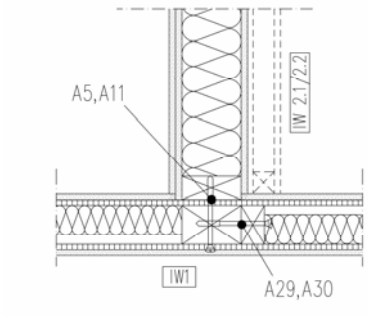
AW5/AW1



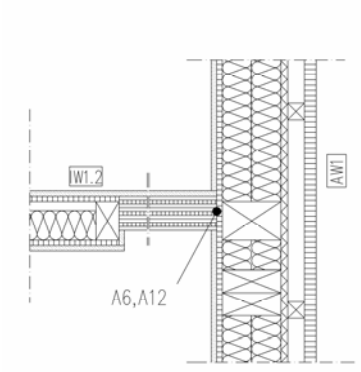
AW2/IW1.1



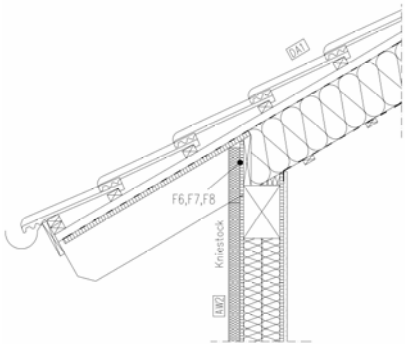
IW1/IW2



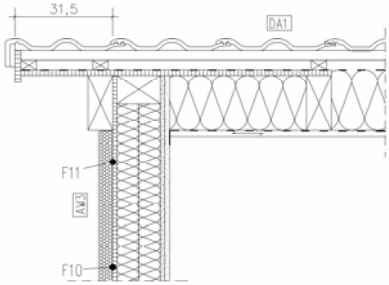
AW1/IW1.2



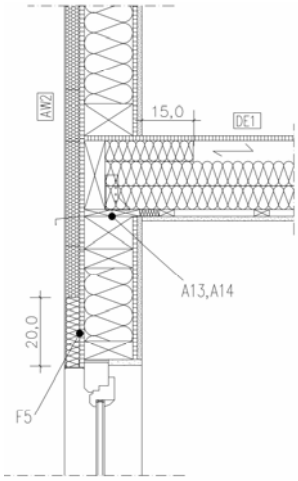
DA1 ⊥ AW2



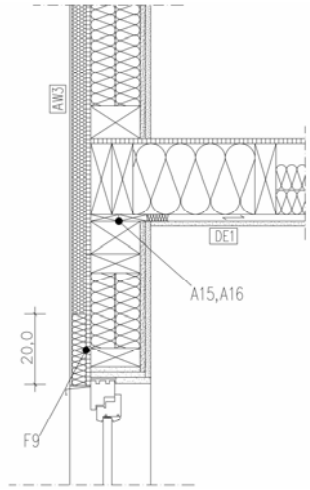
DA1 II AW3



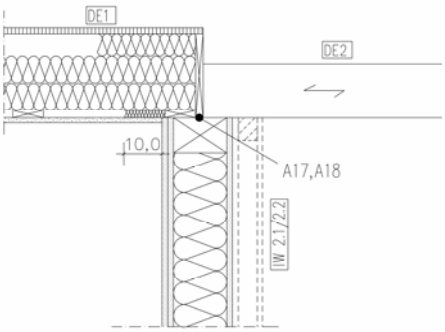
DE1 ⊥ AW2



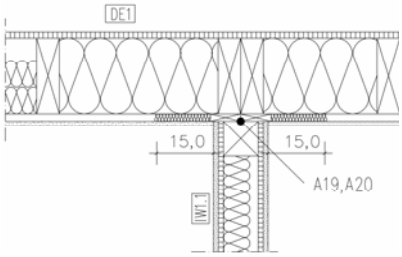
DE1 II AW3



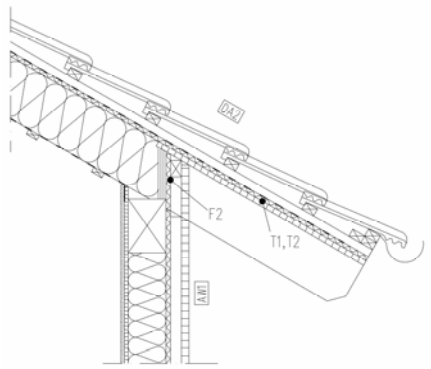
DE1 ⊥ IW2.1



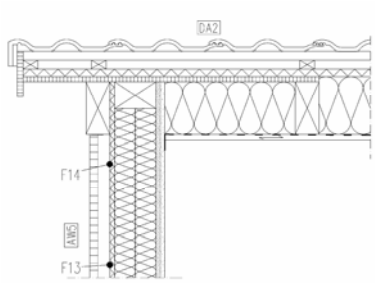
DE1 II IW1.1



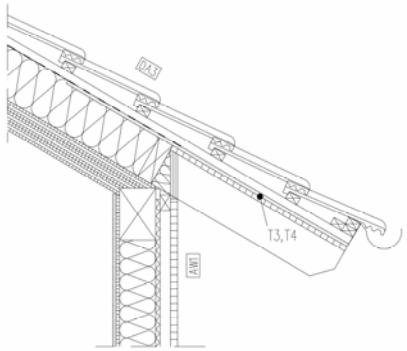
DA2 ⊥ AW1



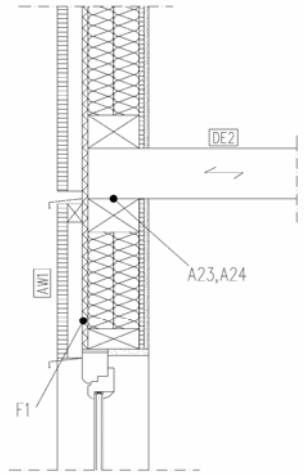
DA2 II AW5



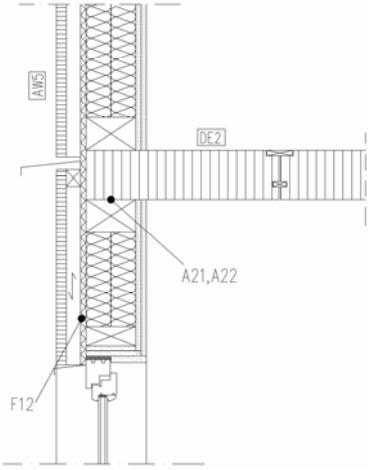
DA3 ⊥ AW1



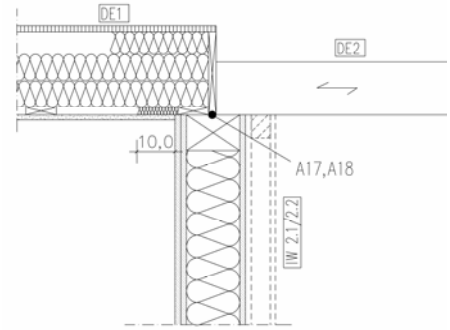
DE2 ⊥ AW1



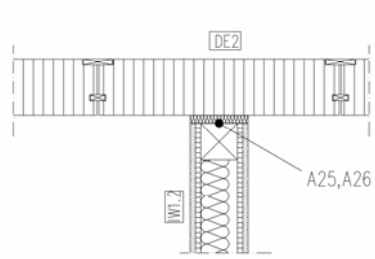
DE2 II AW5



DE2 ⊥ IW2.2



DE2 II IW1.2

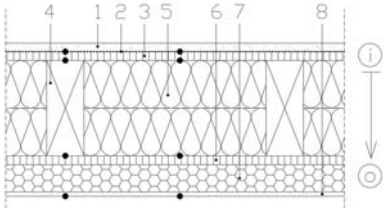


4.2.3 Brandverhalten Bauteile

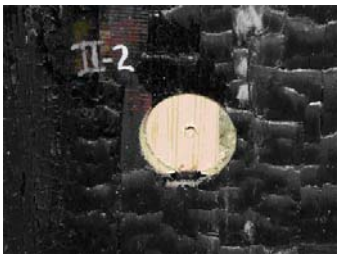
AW2

Die Gipskarton-Bauplatten (1) sowie die erste Lage der Dreischicht-Massivholzplatte (2) wurden während des Brandes zerstört. An der Tragkonstruktion (4) bzw. Dämmung (5) waren in der Wandfläche keine weiteren Brandschädigungen sichtbar. Zu einer Brandschädigung der Tragkonstruktion kam es über dem Fenstersturz. Die heißen Brandgase gelangten hier durch die Fuge zwischen der Dreischicht-Massivholzplatte (3) und dem Fenstersturz in den Gefachbereich.

a)



b)



c)

d)

Abb. 26: Außenwand AW2
a) Querschnitt, b) Detail – unbeschädigte Stiele der Tragkonstruktion
c) Innenansicht Schicht (2), d) Außenansicht

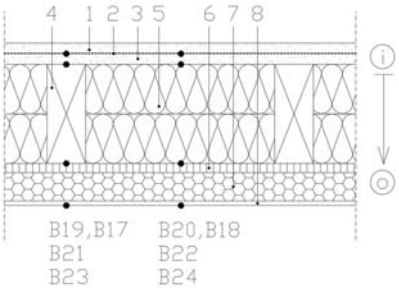
Von außen wurde die Außenwand im und oberhalb des Fensterbereiches geschädigt. Die Brandausbreitung erfolgte kegelförmig in Richtung der Traufe. Die äußere Bekleidung (6) wies Brandschädigungen an der Oberfläche auf.

Innerhalb der Branddauer von 25 Minuten und dem nachfolgenden Zeitraum von ca. 10 Minuten stiegen die Temperaturen im Bereich der Trag- und Dämmkonstruktion nicht über 165°C.

AW3

Die Gipskarton-Feuerschutzplatten (1) wurden während des Brandes zerstört. Bei der zweiten Lage Gipskarton-Feuerschutzplatten (2) war nur die Ummantelung verfärbt. An der Tragkonstruktion (4) und Dämmung (5) war in der Wandfläche und im Bereich des Fensters keine weitere Brandschädigung sichtbar.

a)



b)

c)

d)

Abb. 27: Außenwand AW3
a) Querschnitt, b) Detail – unbeschädigte Stiele der Tragkonstruktion
c) Innenansicht Schicht (2), d) Außenansicht

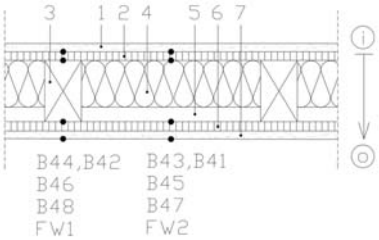
Von außen wurde die Außenwand im und oberhalb des Fensterbereiches geschädigt. Die Brandschädigung erfolgte kegelförmig in Richtung des Ortganges. Die äußere Bekleidung wies Brandschädigungen auf.

Innerhalb der Branddauer von 25 Minuten und dem nachfolgenden Zeitraum von ca. 10 Minuten stiegen die Temperaturen im Bereich der Trag- und Dämmkonstruktion nicht über 100°C.

IW1.1

Die Gipskarton-Bauplatten (1) wurden während des Brandes zerstört. Bei der zweiten Lage Spanplatten (2) erfolgte eine oberflächige Brandbeanspruchung. An der Tragkonstruktion (3) waren keine Brandschäden sichtbar.

a)



b)

c)

Abb. 28: Innenwand IW1.1
a) Querschnitt, b) Detail – unbeschädigte Stiele der Tragkonstruktion
c) Innenansicht Schicht (2)

Bei einem Gefach kam es an der Messstelle B41 zu einem Durchbrand. Zur Durchführung der Thermoelemente wurde ein Loch mit einem Durchmesser von ca. 25 mm gebohrt. Die Dämmung (4) zeigte in diesem Gefach deutliche Verfärbungen durch den eingedrungen Brandrauch. Die das Gefach begrenzenden Stiele zeigten keine Brandschäden. Die Brandausbreitung beschränkte sich auf die brandraumzugewandte Seite. Es erfolgte keine Brandweiterleitung durch das Bauteil.

Innerhalb der Branddauer von 25 Minuten und dem nachfolgenden Zeitraum von ca. 10 Minuten stiegen die Temperaturen im Bereich der Trag- und Dämmkonstruktion nicht über 135°C.

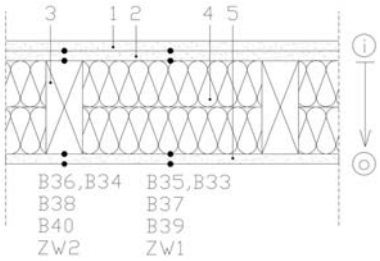
IW2.1

Die Gipskarton-Feuerschutzplatten (1) wurden während des Brandes zerstört. Bei der zweiten Lage Gipskarton-Feuerschutzplatten (2) war nur die Ummantelung in Teilbereichen verfärbt. An der Tragkonstruktion (3) und Dämmung (4) war in der Wandfläche keine weitere Brandschädigung sichtbar.

Es erfolgte keine Brandweiterleitung durch das Bauteil bzw. im Anschlussbereich auf die brandabgewandte Seite.

Innerhalb der Branddauer von 25 Minuten und dem nachfolgenden Zeitraum von ca. 10 Minuten stiegen die Temperaturen im Bereich der Trag- und Dämmkonstruktion nicht über 100°C.

a)



b)

c)

Abb. 29: Innenwand IW1.1
a) Querschnitt, b) Detail – unbeschädigte Stiele der Tragkonstruktion
c) Innenansicht Schicht (2)

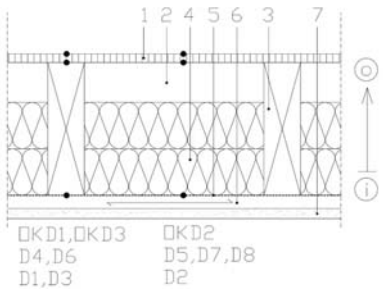
DE1

Die Gipskarton-Bauplatte (6) wurde während des Brandes zerstört. Die Lattung (5) war über den gesamten Querschnitt verkohlt. Da die Lattung (5) noch an der Decke war, diente sie während des Brandes als Auflager für die Dämmung. Die Deckenbalken wurden somit nur einseitig dem Feuer ausgesetzt.

An der Unterseite der Spanplatte (1) waren über die gesamte Fläche keine Brandschäden sichtbar. Der Abbrand der Deckenbalken an der Unterseite lag bei maximal 8 mm, an den Eckbereichen bei maximal 15 mm.

Innerhalb der Branddauer von 25 Minuten und dem nachfolgenden Zeitraum von ca. 10 Minuten stiegen die Temperaturen oberhalb der Trag- und Dämmkonstruktion nicht über 65°C.

a)



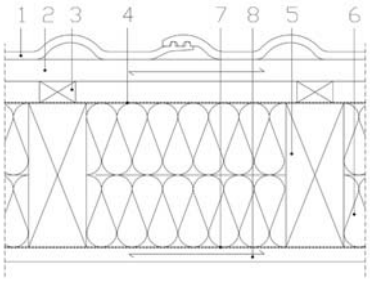
b)

Abb. 30: Holzbalkendecke DE1
a) Querschnitt, b) Ansicht von unten

DA1

Die Dachziegel (1), Lattung (2), Konterlattung (3) und Unterspannbahn (4) oberhalb des Fensters wurden stark brandbeansprucht. Die Einwirkbreite entspricht der Einwirkbreite der Flammen an der Traufe. Die Belüftungsöffnung des Daches liegt an der Unterseite, wodurch heiße Brandgase schnell in den Hinterlüftungsspalt gelangen konnten. Die Zwischensparrendämmung verhinderte, dass das Feuer in den Dachinnenraum gelangen konnte. Die Schädigung beschränkt sich dadurch auf die Oberseite der Dachsparren.

a)



b)

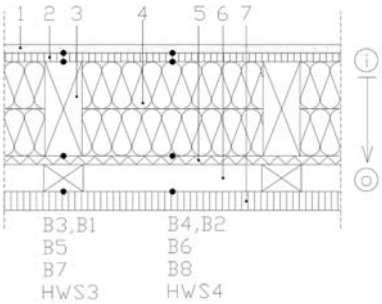
c)

Abb. 31: Dach DA1
a) Querschnitt, b) Außenansicht, c) Innenansicht - Stellbrett

AW1
Die Gipskarton-Bauplatten (1) wurden während des Brandes komplett und die Spanplatten (2) in großen Teilen zerstört. Die Tragkonstruktion (3) und Dämmung (4) wiesen deutliche Brandschädigungen auf.

Auf der Außenseite kam es im Bereich des Fensters zu einer kegelförmigen Brandausbreitung in Richtung der Traufe. Das Stahlblech am Fenstersturz und das Fensterbrett konnten der Brandbeanspruchung nicht standhalten. Die Brandausbreitung erfolgte hier auch im Bereich der Unterlüftung auf der Holzfaserplatte (5).

a)



b)

c)

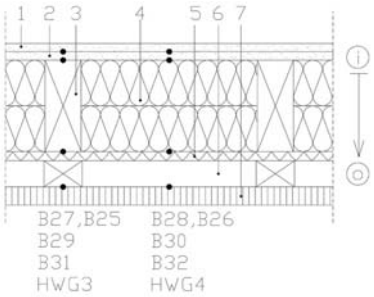
d)

Abb. 32: Außenwand AW1
a) Querschnitt, b) Detail – entfernte Fassadenplatte, dahinter unbeschädigte Außenbekleidung neben Fenster c) Innenansicht Schicht (2, 3, 4), d) Außenansicht

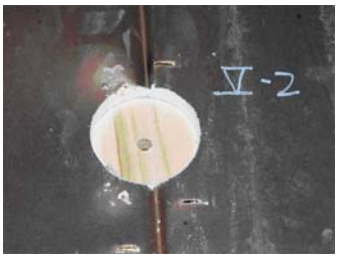
AW5

Die Gipskarton-Feuerschutzplatten (1) wurden während des Brandes zerstört. Bei der zweiten Lage Gipskarton-Feuerschutzplatten (2) war nur die Ummantelung verfärbt. An der Tragkonstruktion (4) und Dämmung (5) war in der Wandfläche und im Bereich des Fensters keine weitere Brandschädigung sichtbar. Von außen wurde die Außenwand im Fensterbereich nicht geschädigt. Das Fenster 3 wurde mit einer Brandschutzverglasung (G60-Brandschutzglas), die in einem Eichenrahmen eingebettet wurde, ausgestattet. Die Brandschutzverglasung verhinderte einen Brandüberschlag durch die Fensteröffnung. Als Schwachstelle des Fensters stellte sich die Verbindung zwischen Scheibe und Glasrahmen heraus. Nach ca. 25 Minuten wurde der Brandrauch, der durch die Fuge hindurch trat, deutlich sichtbar.

a)



b)



c)

d)

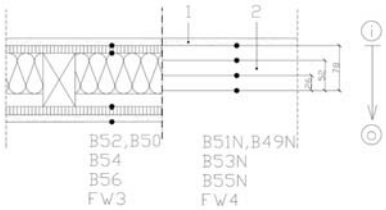
Abb. 33: Außenwand AW5
a) Querschnitt, b) Detail – unbeschädigte Stiele der Tragkonstruktion
c) Innenansicht Schicht (1, 2), d) Außenansicht

IW1.2

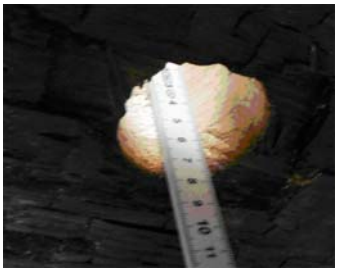
Die Gipskarton-Feuerschutzplatten (1) wurden während des Brandes zerstört. Bei der zweiten Lage Spanplatten (2) und Brettsperrholzelement (8) erfolgte eine oberflächige Brandbeanspruchung. An der Tragkonstruktion (3) waren keine Brandschäden sichtbar. Bei einem Gefach kam es an der Messstelle B52 zu einem Durchbrand. Zur Durchführung der Thermoelemente wurde ein Loch mit einem Durchmesser von ca. 25 mm gebohrt. Die Dämmung (4) zeigte in diesem Gefach deutliche Verfärbungen durch den eingedrungen Brandrauch. Die das Gefach begrenzenden Stiele zeigten keine Brandschäden. Die Brandausbreitung beschränkte sich auf die Oberfläche der Dämmung der brandraumzugewandten Seite. Das Gefach wurde durch die Feuerwehr geöffnet.

Innerhalb der Branddauer von 30 Minuten und dem nachfolgenden Zeitraum von ca. 10 Minuten stiegen Temperaturen in 25 mm Tiefe des Brettsperrholzelementes nicht über 100°C. Die gemessenen Temperaturen hinter den Hohlwanddosen (10 mm hinter Hohlwanddose) blieben unterhalb 145°C.

a)



b)



c)

d)

Abb. 34: Innenwand IW 1.2
a) Querschnitt, b) Detail – Abbrandtiefe Brettsperrholzelement
c) Innenansicht Schicht (2), d) Installation vor Brand

IW2.2

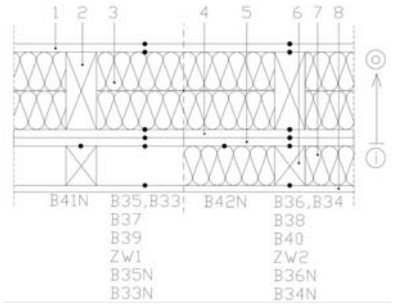
Die Gipskarton-Feuerschutzplatten (8) wurden während des Brandes zerstört. Die Installationsebene wurde mit/ohne Dämmung (7) ausgeführt. Zusätzlich wurden Installationsdosen getestet, die mit/ohne Ummörtelung erstellt wurden.

Bei der ungedämmten Installationsebene hat sich die Ummantelung der Gipskarton-Feuerschutzplatten (8) verfärbt. Der gedämmte Bereich zeigten eine Schädigung auf der Oberfläche der Dämmung (7).

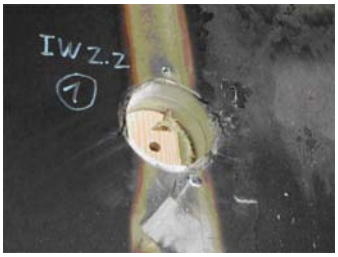
Es erfolgte keine Brandweiterleitung durch das Bauteil bzw. im Anschlussbereich auf die brandabgewandte Seite.

Innerhalb der Branddauer von 30 Minuten und dem nachfolgenden Zeitraum von ca. 10 Minuten stiegen Temperaturen in 25 mm Tiefe des Brettstapelelementes nicht über 100°C.

a)



b)



c)

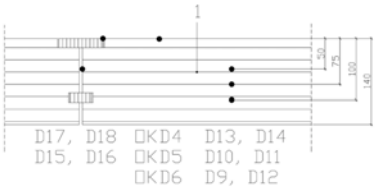
d)

Abb. 35: Innenwand IW2.2
a) Querschnitt, b) Detail – unbeschädigte Stiele der Tragkonstruktion
c) Innenansicht Schicht (5), d) Installationen vor Brand

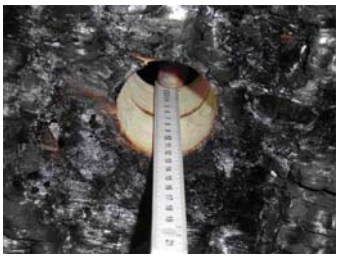
DE2

Die Brettstapeldecke (1) zeigte nach dem Brand einen gleichmäßigen Abbrand. Der Abbrand lag im Mittel bei ca. 20 mm. Auf der Brettstapeldecke war keine weitere Abdeckung vorhanden. Eine Brandausbreitung durch die Fugenausbildung in benachbarte Bereiche erfolgte nicht.

a)



b)



c)

Abb. 36: Brettschichtholzdecke DE2
a) Querschnitt, b) Detail – Abbrandtiefe Brettschichtholzelement, c) Ansicht von unten

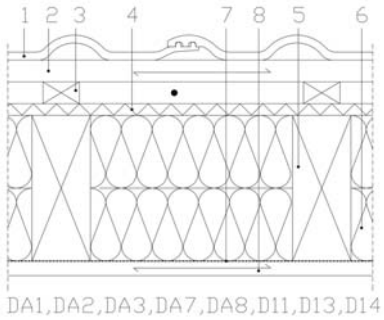
DA2

Die Dachziegel (1), Lattung (2), Konterlattung (3) und Holzfaserplatte (4) oberhalb des Fensters wurden stark brandbeansprucht. Die Einwirkbreite entspricht der Einwirkbreite der Flammen an der Traufe. Die Belüftungöffnung des Daches liegt an der Stirnseite. Die heißen Brandgase benötigten einen längeren Zeitraum, bis sie in den Hinterlüftungsspalt gelangten.

Die Zwischensparrendämmung verhinderte, dass das Feuer in den Dachinnenraum gelangen konnte. Die Schädigung der Sparren beschränkt sich dadurch auf einen sehr kleinen Bereich. An der Traufe wurden die Sparren über die gesamte Branddauer beansprucht. Die obere Bekleidung wurde aufgrund der zweiseitigen Brandbeanspruchung stark zerstört. Es kam zu einem Eindringen heißer Brandgase am Anschluss des Stellbrettes mit der Holzwerkstoffplatte am Dachüberstand. Bei der Brandbeanspruchung haben sich die Holzwerkstoffplatten nach oben gewölbt, wodurch ein Spalt mit einem Stich von
maximal 10 mm erzeugt wurde.

Es erfolgte keine Befestigung des Stellbrettes mit der Holzwerkstoffplatte. Im Gefachbereich konzentriert sich die Brandschädigung im Bereich des Stellbrettes.

a) b)



b)

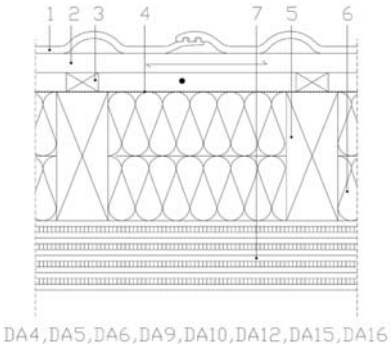
c)

Abb. 37: Dach DA2
a) Querschnitt, b) Außenansicht, c) Detail – beschädigtes Stellbrett

DA3

Die Dachziegel (1), Lattung (2), Konterlattung (3) und Unterspannbahn (4) oberhalb des Fensters wurden stark brandbeansprucht. Die Einwirkbreite entspricht der Einwirkbreite der Flammen an der Traufe. Die Belüftungsöffnung des Daches liegt an der Stirnseite. Die heißen Brandgase benötigten einen längeren Zeitraum, bis sie in den Hinterlüftungsspalt gelangten.

a) b)



b)

c)

Abb. 38: Dach DA3
a) Querschnitt, b) Außenansicht, c) Detail – unbeschädigtes Brettsperrholzelement

Die Zwischensparrendämmung verhinderte, dass das Feuer in den Bereich des tragenden Brettsperrholzelementes gelangen konnte. Die Schädigung beschränkt sich dadurch auf die Dachsparren.

An der Traufe wurden die Sparren über die gesamte Branddauer beansprucht. Die oberen zwei Bekleidungslagen wurden aufgrund der zweiseitigen Brandbeanspruchung komplett zerstört. Es kam zu keinem Eindringen heißer Brandgase in Bereiche hinter dem Stellbrett.

4.2.4 Brandverhalten Anschlussdetails

Die Temperaturmessungen an den Anschlussstellen der raumumschließenden Bauteile wiesen Temperaturen bis maximal 100 °C auf. An folgenden Anschlüssen kam es zu einer Brandweiterleitung:

AW2/IW1.1

Im Anschlussbereich breiteten sich heiße Brandgase in benachbarte Bereiche aus. Nach der Zerstörung der inneren Lage Gipskarton-Bauplatten konnte die Brandweiterleitung am Rähm der Außenwand AW2 erfolgen, da die Dreischicht-Massivplatten nicht bis zur Oberkante des Rähms geführt wurden.

AW2/DA1

An der Traufe wurden die Sparren über die gesamte Branddauer beansprucht. Die obere Bekleidung wurde aufgrund der zweiseitigen Brandbeanspruchung komplett zerstört. Es kam zu einem Eindringen heißer Brandgase am Anschluss des Stellbrettes mit der Holzwerkstoffplatte im Bereich des Dachüberstandes. Bei der Brandbeanspruchung haben sich die Holzwerkstoffplatten nach oben gewölbt, wodurch ein Spalt mit einem Stich von maximal 10 mm erzeugt wurde. Es erfolgte keine Befestigung des Stellbrettes mit der Holzwerkstoffplatte. Aufgrund der Dämmung im Gefachbereich konzentrierte sich die Brandschädigung auf den Bereich des Stellbrettes.

AW1/DA2

An der Traufe wurden die Sparren über die gesamte Branddauer beansprucht. Die obere Bekleidung wurde aufgrund der zweiseitigen Brandbeanspruchung komplett zerstört. Es kam zu einem Eindringen heißer Brandgase am Anschluss des Stellbrettes mit der Holzwerkstoffplatte im Bereich des Dachüberstandes. Bei der Brandbeanspruchung haben sich die Holzwerkstoffplatten nach oben gewölbt, wodurch ein Spalt mit einem Stich von maximal 10 mm erzeugt wurde. Es erfolgte keine Befestigung des Stellbrettes mit der Holzwerkstoffplatte. Aufgrund der Sparrenvolldämmung Im Gefachbereich konzentrierte sich die Brandschädigung auf den Bereich des Stellbrettes.

AW1/DA3

An der Traufe wurden die Sparren über die gesamte Branddauer beansprucht. Die obere Bekleidung wurde aufgrund der zweiseitigen Brandbeanspruchung komplett zerstört. Bei diesem Anschluss wurde ein Eindringen der heißen Brandgase in den Gefachraum verhindert. Die Anschlussausführung erfolgte mit zwei Stellbrettern.

Die Sanierung des Dachbereiches gestaltet sich einfach, da die Sparren auf einem tragenden Brettstapelelement aufgebracht sind und leicht ausgetauscht werden können. Die Weiterleitung der heißen Brandgase in den Hinterlüftungsspalt konnte nicht verhindert werden.

4.2.5 Zusammenfassung

Die raumumschließenden Bauteile und Bauteilanschlüsse haben, ausgenommen an einem Anschluss, die Brandausbreitung von innen nach außen wirksam verhindert. Es kam zu keinem Durchbrand von Bauteilen.

Bei der Brandbeanspruchung der Unterseite des Dachüberstandes hat sich gezeigt, dass die Temperaturen unterhalb der Traufe nahe den Brandraumtemperaturen liegen. Zusätzlich erfolgt in Abhängigkeit von der Branddauer eine zweiseitige Beanspruchung der Bekleidungswerkstoffe der Dachuntersicht, da heiße Brandgase in den Belüftungsspalt gelangen.

Bei dem zweiten Brandversuch wurden die Temperaturen im Belüftungsspalt von der Traufe bis zum First gemessen. An der Traufe wurden Temperaturen von ca. 800°C gemessen. Die heißen Brandgase kühlten bis zum First unter 100°C ab. Der Dachaufbau DA1 mit Unterspannbahn wies augenscheinlich die größte Schädigung auf. Die Schädigung nimmt bei DA2 mit Unterdeckplatte (Holzfaserplatte) bis zum Dachaufbau DA3 mit getrennter Trag- und Dämmkonstruktion ab.

Während des zweiten Brandversuches wurde im Nachbarraum die Gaskonzentration gemessen. Der Anteil an Kohlenmonoxid in der Raumluft stieg nach fünf Minuten auf ca. 0,035 Vol.-% an. Eine lebensbedrohliche Wirkung auf den Menschen ist bei dieser Konzentration und Einwirkzeit noch nicht zu erwarten. Schwindelgefühle, Schläfrigkeit und Übelkeit können je nach Gesundheitszustand bei der betroffenen Person auftreten. Die Veränderung der Innenraumluft zeigt, dass die Dichtigkeit der Anschlüsse zwischen den Brandräumen BR1 und BR2 nicht über die gesamte Branddauer gegeben war. Aus diesem Grund wurde die Bestimmung der Dichtigkeit von Anschlüssen in Abhängigkeit von der Branddauer und -temperatur wurde in weiteren Brandversuchen getestet. Der Anteil an Kohlendioxid war vom Beginn bis zum Ende des Brandversuches konstant.

Die Abgrenzung von Brand- und Löschwasserschäden gestaltet sich schwierig. Entsprechend der gesammelten Erkenntnisse aus den Versuchen zur „Kampagne Brandschutz“ wird folgende Vorgehensweise empfohlen, um die Schädigung infolge Löschwasser gering zu halten:

- Je schneller ein Brand entdeckt wird, umso schneller kann die Feuerwehr alarmiert und ein Innenangriff durchgeführt werden. Der Innenangriff soll dem Außenangriff vorgezogen werden.
- Weiterhin wird empfohlen, Löschwasser direkt nach dem Brand aus dem Gebäude zu entfernen oder Löschmittel zu verwenden, die durch Zugabe von Schaum mit weniger Wasser auskommen.
- Auffällig war, dass das Löschwasser durch die Speicherfähigkeit des Fußbodenaufbaus aufgenommen wurde. Nach dem Brand wurde der Fußbodenaufbau entfernt, so dass die Auffeuchtung der darunter liegen Deckenkonstruktion minimal war. Als Sanierungsmaßnahme hätte die Beplankung gesäubert und getrocknet werden müssen.

Die im Gebäude verteilten Rauchmelder, die bei Austreten von Brandrauch aus der Türöffnung rechtzeitig auslösten, erwiesen sich als sinnvolle Sicherheitsmaßnahme, da sie dafür sorgen, dass im realen Brandfall gefährdete Personen rechtzeitig gewarnt werden können.

Die Brandversuche haben gezeigt, dass eine Brandausbreitung durch geeignete Maßnahmen eingegrenzt werden kann. Im Bereich der Traufe müssen noch Modifikationen vorgenommen werden. Zur Verringerung des Schädigungsgrades bei Brandweiterleitung über Fensteröffnungen in den Dachbereich gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Die obere Bekleidung des Daches wird so ausgeführt, dass der Brand innerhalb einer definierten Branddauer nicht die Sparren erreicht.
- Die Tragkonstruktion wird getrennt von der Dämmkonstruktion ausgeführt. Werden Dachbereiche von außen brandbeansprucht, können beschädigte Teile der Konstruktion leicht ausgetauscht werden.
- Die Traufausführung wird so gestaltet, dass heiße Brandgase nicht in den Belüftungsspalt gelangen.

4.3 Kleinbrandversuche

4.3.1 Messung der Dichtheit bei Normaltemperatur

Die Übertragung des Prüfverfahrens zur Messung der Dichtheit von Türen auf Brandversuche nach Einheits-Temperaturzeitkurve scheitert daran, dass der Prüfstand nicht in ausreichendem Maße abgedichtet werden kann. Der Versuchsaufbau ist für Temperaturen bis 200 °C ausgelegt [33].

Eine Schwierigkeit besteht darin, die Dichtigkeit der Bauteilfuge ausschließlich über einen Rauchgaskanal in Verbindung mit der Lichttrübung zu messen. Aus diesem Grund wurden umfangreiche Kaltversuche zur Messung der Fugendichtheit vorgeschaltet, um die Leckrate von Anschlussvarianten zu bestimmen. Der Vorteil ist, dass verschiedene Schottmaßnahmen in einem Bauteilanschluss getestet und bewertet werden können.

Nachfolgend ist ein Anschluss in Plattformbauweise mit drei verschiedenen Dämmschotts aus Glasfaser-, Holzfaser- und Zellulosedämmung dargestellt. In Abhängigkeit vom Druck in der Messkammer wird der Volumenstrom an der Austrittsöffnung des Rauchgaskanals (vgl. Abb. 43) über ein Anemometer bestimmt.

Abb. 39: Dämmschott aus flexiblen Holzfaser-Dämmplatten

Abb. 40: Dämmschott aus flexiblen Zellulose-Dämmplatten

Abb. 41: Dämmschott aus Glasfaser-Dämmplatten

Bei einem Brand entsteht üblicherweise in dem betroffenen Raum ein Überdruck, der aufgrund der Temperaturverteilung über die Höhe des Raumes nicht konstant ist. Nach bisherigen Erfahrungen ist, unter Ausklammerung von Druckspitzen, mit Maximaldrücken von ca. 30 Pa zu rechnen. Die Messungen im kalten Zustand wurden von 5 bis 50 Pa durchgeführt.

Die Messungen zeigten, dass der Volumenstrom bei Zellulose-Dämmplatten deutlich geringer ist als bei Glasfaser- und Holzfaserdämmplatten.

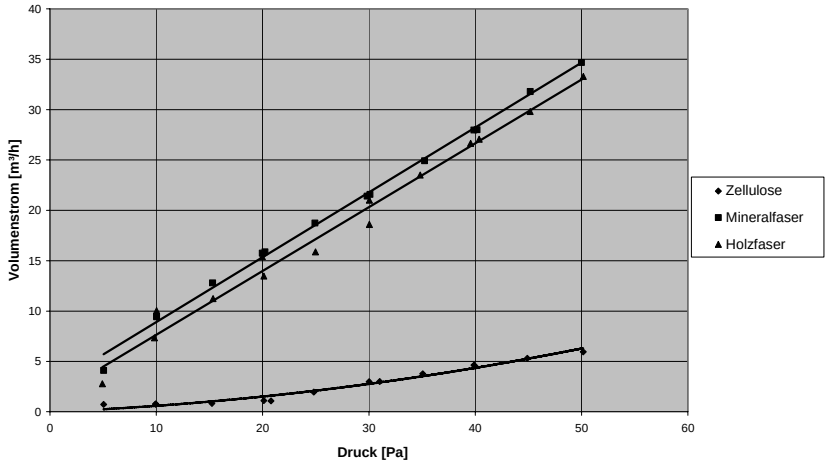


Abb. 42: Vergleich der Dichtheit von Anschlussfugen von verschieden Dämmschotts

4.3.2 Messung der Dichtheit im Brandversuch

Die bei einem Brand durch die Verbindungsfuge tretende Rauchmenge ist hauptsächlich abhängig von:

- Ausbildung der Bauteilfugen
- Druckdifferenz zwischen Brandraum und angrenzenden Raum
- Menge und Art der Brandlast

In Abb. 43 ist die Messanordnung zur Dichtemessung schematisch dargestellt.

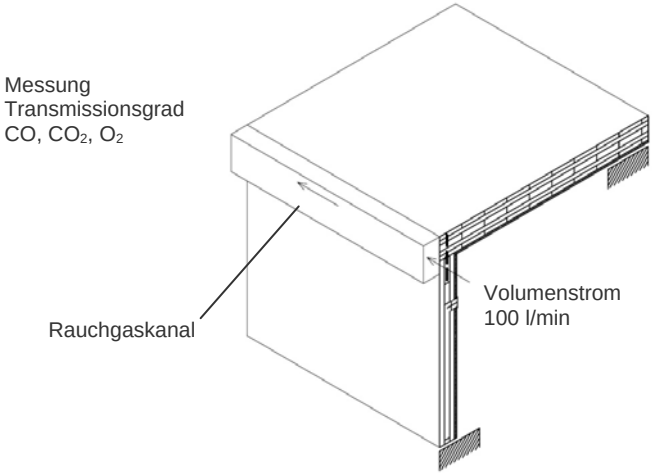


Abb. 43: Schematische Darstellung der Rauchdichtemessung von Bauteilfugen

In dem Rauchgaskanal wird ein konstanter Volumenstrom von 100 l/min erzeugt. Auf der gegenüberliegenden Seite erfolgt die Messung des Transmissionsgrades und der Luftzusammensetzung (CO, CO_2 und O_2). Im Brandofen wird der Druck gemessen.

Abb. 44: Brandversuchstand zur Messung der Dichtheit von Anschlussfugen

Abb. 45: Undichtheit in der Anschlussfuge – Rauchgaskanal füllt sich

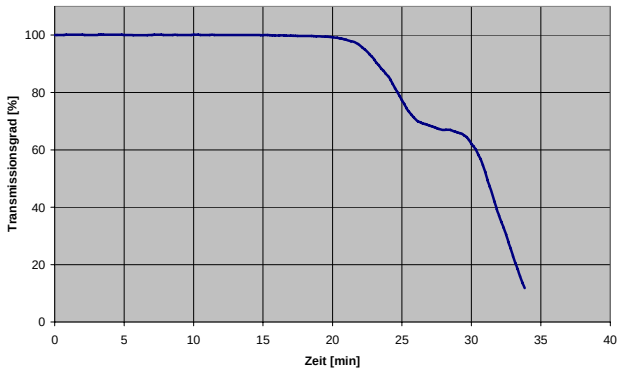


Abb. 46: Transmissionsgrad - Anschluss mit Zellulosedämmung unter Brandbeanspruchung

In Abb. 44 und Abb. 45 ist der Versuch mit einem Zellulosedämmschott abgebildet. Nach ungefähr 20 min wird die Anschlussfuge undicht und der Transmissionsgrad sinkt (vgl. Abb. 46).

Entsprechend der Ergebnisse der Kaltversuche kann man ermitteln, welche Rauchmenge in Abhängigkeit vom tatsächlichen Ofendruck bzw. Druck im Brandraum durch die Anschlussfuge in Hohlräume oder benachbarte Bereiche gelangen kann.

Eine umfassende Versuchsdokumentation mit Bildern und Diagrammen ist in dem Untersuchungsbericht zur Dichtheitsmessung von Anschlussfugen enthalten [34]. Aus dem Bericht können auch die Eigenschaften der Dämm- und Plattenwerkstoffe entnommen werden.

5 Entwurf des Konstruktionskataloges

5.1 Allgemeines

Der Katalog ist ausgelegt für Gebäude der Gebäudeklassen 1 bis 3, deren tragende, aussteifende oder raumabschließende Bauteile aus Holz und/oder Holzwerkstoffen bestehen und nach bauaufsichtlichen Vorschriften geringe oder keine Anforderungen an die Konstruktionen gestellt werden.

Der Entwurf des Maßnahmen- und Konstruktionskataloges wurde in enger Kooperation mit dem Teilprojekt TP02 erstellt.

5.2 Güteüberwachung

5.2.1 Zusammenschluss von Zimmereibetrieben und Planern

Die Motivation für Zusammenschlüsse zu Qualitätsgemeinschaften und Holzbauvereinigungen war, die bestehenden Systeme der Qualitätssicherung im Holzhausbau zu verbessern.

Zusammenschlüsse von Qualitätsgemeinschaften und Holzbauvereinigungen im Bereich handwerklich gefertigter Holzhäuser sind:

- Qualitätsgemeinschaft Holzbau und Ausbau e.V. (QHA),
  Berlin
- ZimmerMeisterHaus (ZMH),
  Schwäbisch Hall
- Arbeitskreis ökologischer Holzbau e.V (AKÖH),
  Herford

Die Mitgliedsbetriebe der Qualitätsgemeinschaften bzw. Holzbauvereinigungen sollen zukünftig die Gütesicherung nach den RAL-Bestimmungen durchführen, um einen einheitlichen hohen Qualitätsstandard zu gewährleisten. Die Qualitätsgemeinschaften und Holzbauvereinigungen bleiben weiterhin zuständig für die Erfassung, Weiterbildung und Förderung der engagierten Holzbaubetriebe und Planer.

Für Mitgliedsbetriebe, die bestehende Hauskonzepte unter Zahlung einer Aufnahme- und Lizenzgebühr verwenden, können die Qualitäts- bzw. Gütebestimmungen gleichermaßen angewendet werden. Nachfolgend sind beispielhaft drei Bausysteme aufgeführt, die auf der Holzrahmen- und Holztafelbauweise sowie auf der Massivholzbauweise beruhen.

Hauskonzepte:

- ZimmererProfiHaus®,
  Falkenberg
- 81FÜNF AG,
  Dannenberg
- LIGNOTREND®,
  Weilheim-Bannholz

Der Unterschied zwischen dem RAL-Gütezeichen und den unterschiedlichen Qualitätszeichen besteht darin, dass im Benehmen mit den Antragstellern und nach Zustimmung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit das RAL-Gütezeichen in die RAL-Gütezeichenliste übernommen wird. Anschließend wird das Gütezeichen als vom RAL anerkannt im Bundesanzeiger veröffentlicht. Dadurch können die Qualität und Güte im Holzhausbau auf eine einheitliche Gütesicherung konzentriert werden. Die jeweiligen Anforderungen an Gebäude sind herstellerneutral definiert.

Die Verwendung der RAL-Gütesicherung bei industriell und handwerklich gefertigten Holzgebäuden wurde möglich, nachdem in die Güte- und Prüfbestimmungen des RAL neben der Überprüfung der Herstellung vorgefertigter Bauprodukte, auch die Errichtung von Gebäuden eingearbeitet wurde. Letzteres war in den Qualitäts- und Prüfbestimmungen der Qualitätszeichenträger ohnehin schon enthalten. Ein Wechsel der Mitgliedsbetriebe von Qualitätsgemeinschaften und Holzbauvereinigungen zur RAL-Gütesicherung stellt damit keine wesentlichen technischen und organisatorischen Umstellungen dar.

Als unabhängig von den Qualitäts- oder Gütebestimmungen muss der bauaufsichtliche Bereich betrachtet werden. „Beidseitig bekleidete oder beplankte Wand-, Decken- und Dachelemente; z.B. Holztafeln für Holzhäuser in Tafelbauart“ zählen zu den geregelten Bauprodukten und werden in der vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) veröffentlichten Bauregelliste A, Teil 1, Ziffer 3.3.2 geführt. Die Verwendung des Bauproduktes ergibt sich aus der Übereinstimmung mit:

- DIN 1052-1, 2 und 3
- Richtlinie für die Überwachung von Wand-, Decken- und Dachtafeln für Holzhäuser in Tafelbauart nach DIN 1052-3

in der jeweils gültigen Fassung.

Zur Erfüllung der Schutzziele der Landesbauordnungen wird das Übereinstimmungsnachweis-Verfahren in Form eines Übereinstimmungszertifikates (ÜZ) gefordert. Die Ausstellung erfolgt durch eine für den jeweiligen Bereich nach Landesbauordnung anerkannte Zertifizierungsstelle.

5.2.2 RAL-Gütesicherung

Mit Einführung des RAL-Gütezeichens wurde ein wichtiger Schritt für eine Vereinheitlichung der Gütesicherung im Holzhausbau getan. Das RAL-Gütezeichen findet sowohl bei industriellen als auch handwerklich orientierten Holzbauunternehmen Unterstützung.

Voraussetzung für die Erteilung des Gütezeichens sind regelmäßige Prüfungen der Holzbaubetriebe durch anerkannte Überwachungsstellen. Mit der Verleihung von Gütezeichen soll die Qualität von Waren und Leistungen gekennzeichnet und bei fortschreitender technischer Entwicklung gesteigert werden.

Das RAL-Gütezeichen 422 [36] kann von folgenden Zeichenträgern verliehen werden:

- Bundes-Gütegemeinschaft Montagebau und Fertighäuser e.V. (BMF), Bad Honnef
- Gütegemeinschaft Deutscher Fertigbau e.V. (GDF), Stuttgart
- Gütegemeinschaft Holzbau-Ausbau-Dachbau e.V. (GHAD), Berlin (im Fachbereich Holzhausbau der Gütegemeinschaft sind QHA, ZMH und AKÖH vertreten)

Die Güte- und Prüfbestimmungen sind unterteilt in Herstellung und Montage:

- Teil I: Herstellung vorgefertigter Bauprodukte – RAL-GZ 422-1
- Teil II: Errichtung von Gebäuden (Montage) – RAL-GZ 422-2

Die Gütesicherung erfolgt für die nachfolgend genannten Bauarten: Holztafelbau/Holzrahmenbau, Holzskelettbau, Massivholzbau und Modulbau.

Unter Massivholzbau werden z.B. die Brettstapelbauart und sonstige Verbundbauarten aufgefasst. Bei der Modulbauweise werden vorgefertigte Raummodule mit Flächenelementen aus vorgefertigten Bauteilen verwendet.

5.2.3 Anforderungen an Holzgebäude

Die zu erfüllenden Anforderungen im Holzhausbau werden mit den Prüfbestimmungen vorgegeben. Die Eigenschaften eines gütegesicherten Gebäudes werden durch folgende Einzelspezifikationen dargestellt:

a) Tragkonstruktion

b) Bauphysikalischer Ausbau (Wärme-, Feuchte-, Brandschutz, …)

c) Dachdeckung

d) Fenster, Außentüren

e) Außenwandbekleidung, Fassade

Brandschutztechnische Anforderungen werden kontrolliert, wenn diese bauaufsichtlich gefordert werden. Die Prüfung beschränkt sich auf die Kontrolle der Feuerwiderstandsklasse der Bauteile. Es liegt kaum eine Sensibilisierung bezüglich einfacher brandschutztechnischer Details vor.

5.3 Inhalt des Kataloges

In dem Katalog werden Anforderungen gestellt, die sich insbesondere beziehen auf:

- Baustoffe
- (Brandschutz)bekleidungen und Beplankungen
- die konstruktive Ausbildung der Wand- und Deckenbauteile, Stützen und Träger einschließlich ihrer Anschlüsse
- Öffnungen in raumabschließenden Bauteilen (Türen, Fenster und sonstige Einbauten)
- Installationsführungen
- anlagentechnische Zusatzmaßnahmen (Rauchmeldung, Homesprinklerung)

Durch diese Anforderungen soll

- ein Brennen der tragenden und aussteifenden Konstruktion,
- die Einleitung von Feuer und Rauch in die Wand- und Deckenbauteile über Fugen, Installationen oder Einbauten sowie eine Brandausbreitung innerhalb der Bauteile,
- die Übertragung von Feuer und Rauch über Anschlussfugen von raumabschließenden Bauteilen in angrenzende Nutzungseinheiten und Räume

auf eine ausreichende Zeit behindert werden.

Die in dem Konstruktionskatalog durchgeführten Klassierungen von tragenden und/oder raumabschließenden Bauteilen erfolgen zunächst unabhängig von der Brennbarkeit in die Klassen REI 30, EI 30, R 30 und REI 45, EI 45, R45.

Die Anforderungen bezüglich der Brennbarkeit der Bekleidung und der sichtbaren Oberflächen der Baustoffe ergeben sich aus dem Umfang der zusätzlich angewendeten Kompensationen (z.B. anlagentechnische Zusatzmaßnahmen).

In dem Katalog wird zudem die Überwachung der Herstellung und Ausführung der Bauteile und Bauwerke geregelt. Sie gibt Hinweise zu qualitätssichernden Maßnahmen in Zuge der Projektierung, Ausführung und Nutzung von Gebäuden.

Zweck dieser Regelungen und Hinweise ist der Aufbau eines begleitenden Qualitätssicherungssystems, welches:

- die Gewährleistung der Brandsicherheit von Holzbauten und Holzbauteilen in den GKL 1 bis 3,
- die Festlegung von brandschutzrelevanten (versicherungsrelevanten) Qualitätsstandards bei der Planung und Ausführung,
- die Sicherung und Überprüfung dieser Standards durch eine kontinuierliche Eigen- und Fremdüberwachung,
- die Bereitstellung von Hilfsmitteln für Bauherr, Planende und Ausführende sowie Schadenversicherer zur Vermeidung von Fehlern, bei der Anwendung der Regelwerke

sicherstellt.

Die Brandschutzbekleidungen müssen eine Entzündung der tragenden einschließlich der aussteifenden Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen während des geforderten Zeitraumes (15, 30 oder 45 Minuten) verhindern und als $K_2$15, $K_2$30 oder $K_2$45 entsprechend DIN EN 13501-2 klassifiziert sein. Die Brandschutzbekleidung muss allseitig und durchgängig je nach Anforderung aus brennbaren oder nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

Nichtbrennbare Brandschutzbekleidungen werden in dem Katalog mit dem Anhang *nbb* bezeichnet (z.B. $K_2$15-nbb) und müssen der Europäischen Baustoffklasse A2-s1,d0 entsprechend DIN EN 13501-1 angehören. Brennbare Bekleidungen müssen mindestens als Baustoffklasse D-s2, d0 entsprechend DIN EN 13501-1 klassifiziert sein.

Der Bauteilkatalog wurde in Anlehnung an den Schweizer Katalog aufgebaut [35]. Dieser beruht auf der europäischen Norm EN 1995-1-2 und durchgeführten Versuchen. Die Versuche unter Verwendung von Holzfaser- und Zellulosedämmplatten bilden hierzu eine gute Ergänzung.

Der Neuentwurf zur Einstufung von brandsicheren Holzhäusern in Versicherungsklassen ist noch mit den Versicherungen und beteiligten Verkehrskreisen zu diskutieren. Auf eine Veröffentlichung kann daher an dieser Stelle noch nicht erfolgen.

Für die finanzielle und materielle Unterstützung des Projektes sei der Dank ausgesprochen an

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst,

Verband öffentlicher Versicherer,

Versicherungskammer Bayern,

Haas-Fertigbau GmbH

Homatherm GmbH

Verbände des Bayerischen Zimmer- und Holzbaugewerbes und

Bund Deutscher Zimmermeister.

Literatur

[1] Stein, R.: Vergleichende Bewertung der Brandausbreitung bei Gebäuden in Holz- und Massivbauweise. Diplomarbeit, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Leipzig, Lehrstuhl für Stahlbau und Holzbau (Prof. Winter). Leipzig, 2003

[2] Versicherungskammer Bayern: Wohngebäude mit FDL-Tarif – Tarifauszug. München, 2002

[3] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe – Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. 1998

[4] EN 13501-1: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten. 2002

[5] DIN 4102-2: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2: Bauteile - Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. 1977

[6] EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit Ergebnissen aus Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen. 2003

[7] Winter, S.; Stein, R.: Untersuchungen zur Einstufung von güteüberwachten, handwerklich gefertigten Holzgebäuden mit nicht brennbaren Beplankungen in die Bauartklasse II von Gebäudeversicherungen und deren Gleichsetzung bei den Versicherungsprämien mit Fertighäusern. Forschungsvorhaben im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, vorläufiger Abschlussbericht. Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion 2005

[8] EN 1995-1-2: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. 2004 + AC: 2006

[9] Muster-Richtline über brandschutztechnsiche Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – MHFHHolzR. 2004

[10] Kampmeier, B.: Verwendbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Holztafelbau. Tagungsband (Heft 199) zur 21. Fachtagung Brandschutz – Forschung und Brandschutz. TU Braunschweig – Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. 2007

[11] Tichelmann, K.: Bewertung des Brandlasteintrages und Risikoabschätzung von mehrgeschossigen Holzhäusern und deren raumabschließende Bauteile. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, Tagungsprogramm 8. Brandschutztagung. München, 1998

[12] Musterbauordnung – MBO. Fassung 2002

[13] Bayerische Bauordnung – BayBO. Fassung 2008

[14] Winter, S. et.al.: Holzbausysteme. Holzbau handbuch R1T1F4. Arbeitsgemeinschaft Holz In Zusammenarbeit mit Holzabsatzfonds (Hrsg.) Düsseldorf, 2000

[15] Wirtschaftsministerium Baden Württemberg (Hrsg.): Holzbausysteme im Wohnungsbau. Stuttgart 1998

[16] Kolb, J.: Holzbau mit System – Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. Lignum – Holzwirtschaft Schweiz und DGfH – Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (Hrsg.). Birkhäuser Verlag. Basel 2007

[17] Krause, H.; Kirmayr, T.: Innovative Haustechnik im Holzbau. Holzbau handbuch R3T2F3. DGfH Innovations- und Service GmbH (Hrsg.). München, 2002

[18] Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise. Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. (Hrsg.). Bad Honnef, 2001

[19] Schwarz, B. et.al.: Entwicklung neuer Konzepte der technischen Gebäudeausrüstung für den Holzbau. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen über die Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Abschlussbericht. Fachhochschule Rosenheim, 1999

[20] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR). 2005

[21] Planungs- und Montagehelfer für Elektroanlagen für den Fachbetrieb / Fachmann. Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. OHG (Hrsg.). Stand 2008

[22] Mut zur qualitätsorientierten Vergabe am Bau. holzbau report - Mitteilungen der Verbände des Bayerischen Zimmerer- und Holzbaugewerbes (Hrsg.). Ausgabe März 2008

[23] Luchs, K.: Haushaltsgeräte als Brandverursacher. VdS-Magazin Schadenverhütung + Sicherheitstechnik. März 2002

[24] Hochbaum, A.: Störungsarme Elektroinstallationen. Schadenprisma. April 2003

[25] Rudolphi, R.: Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden. BAM-Berichte Nr. 20. Berlin 1973

[26] Z-7.4-3361: Vorgefertigte Bauelemente zur Wanddurchführung von Schornsteinen, Abgasleitungen und Verbindungsstücken. Geltungsdauer bis 2012

[27] Giertlová, Z. et al.: Schwel- und Glimmbrandverhalten von Dämmstoffen. Heft 49, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau – Universität für Bodenkultur Wien. 2001

[28] Jank, W.; Rösler, W.: Glimm-Ringversuche an Baustoffen (Dämmstoffen) zur Bestimmung des Wiederhol- und Vergleichsstreuungsbereiches des B2-Glimmverfahrens. Versuchsbericht FB 01/94, MFPA Leipzig.1994

[29] Jank, W.; Rösler, W., Rönn, U.: Vergleich von Prüfverfahren zur Bestimmung des Glimm- und Schwelverhaltens von B2-Dämmstoffen. Versuchsbericht FB 02/94, MFPA Leipzig.1994

[30] Hölemann, H.: Schwel- und Glimmversuche an Baustoffen. wksb-Zeitschrift Nr. 4. 1984

[31] DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. 2001

[32] Stein, R.; Winter, S.: Untersuchung von brandschutztechnisch optimierten Wand- und Deckenaufbauten im Rahmen der „Kampagne Brandschutz“. Untersuchungsbericht 06-01. Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion 2006

[33] Salewski, P:: Untersuchungen zur Entwicklung und Erprobung eines Prüfverfahrens für die Rauchdichtheit von Türen. Gesamthochschule Wuppertal – Fachbereich 14 – Sicherheitstechnik, Diplomarbeit. 1976

[34] Stein, R.; Winter, S.: Untersuchungen zu der Dichtheit von Anschlussfugen. Untersuchungsbericht 7400791. Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion 2008 – noch unveröffentlicht

[35] Bauteile in Holz – Decken, Wände und Bekleidungen mit Feuerwiderstand. Lignum-Dokumentation Brandschutz. Ausgabe 2003

[36] RAL-GZ 422: Gütesicherung Holzhausbau – Güte- und Prüfbestimmungen. 2003-05