Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

Brandschutz bei mehrgeschossigen Holzbauten – Praxiserfahrungen und neue Entwicklungen

M. Dehne, D. Kruse

Zusammenfassung Fünf Jahre nach der Erarbeitung eines ersten Entwurfes liegt die Richtlinie für brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) mittlerweile seit November 2004 als Muster vor und wurde bereits in einigen Bundesländern (z. B. Hessen 06/2005) eingeführt. Die Anzahl der nach dieser Konstruktionsrichtlinie erbauten Objekte steigt seitdem sukzessive an. Die Praxis zeigt, dass sich die Richtlinie bislang grundsätzlich bewährt hat. Hierzu hat die intensive Beteiligung einer Forschergruppe am Richtlinienentwurf maßgeblich beigetragen, denn so konnten Anforderungen an Holzbauteile formuliert werden, die sich direkt vom realen Brand- und Rauchdurchgangsverhalten ableiten lassen. Die Anforderungen der M-HFHHolzR stehen jedoch häufig im Widerspruch zu den Ideen und Vorstellungen von Bauherren und Architekten.
Dieser Beitrag zeigt Praxisprobleme in mehrgeschossigen Holzbauten und stellt kompensatorische Lösungsansätze vor, mit denen das erforderliche Sicherheitsniveau trotz vorhandener Abweichungen von den Bauvorschriften gewährleistet wird. Anhand eines Brandschutzkonzeptes für eine viergeschossige Wohnanlage in Freiburg wird erläutert, wie diese Lösungsansätze in der Praxis umgesetzt werden können.

Bild 1. Schule in Holzbauweise in Brannenburg [2]
Fig 1. School in timber frame construction in Brannenburg

Fire protection of multi-storey timber constructions – practical experience and new developments

Abstract In November 2004, the directive for fire safety requirements on high fire resistant structural components in timber frame construction (M-HFHHolzR) was finalised after a five year formulation period. Some federal states e.g. Hessen have already adopted this new directive. The practicality of this new directive has proven itself as evidenced by the increasing number of buildings being constructed compliant with it .The key success factor is the synergistic collaboration of a team of scientists from a wide range of disciplines and various research instituitions, cutting across concepts and addresses issues pertinent to end-users and architects .The team formulated requirements for wooden structural components deduced from the fire performance and the flue gas transition.
This paper describes the practical problems of multi-storey wooden buildings. It presents solutions through compensations which guarantee the mandatory safety level despite significant deviations from the building codes. It presents ways in which such solutions can apply on the basis of the safety of a four storey housing area.

Dr. Michael Dehne
Dehne, Kruse & Partner
Brandschutzingenieure
Windmühlenweg 22
38518 Gifhorn
www.kd-brandschutz.de

Dirk Kruse
Manager Brandschutz
Fraunhofer-Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Bienroder Weg 54e
38108 Braunschweig

1 Einführung

Durch ihre vielfältigen Möglichkeiten bleibt die moderne Holzbauweise nicht mehr auf Gebäude geringer Höhe beschränkt, sondern gewinnt auch im mehrgeschossigen und verdichteten Wohnungsbau an Bedeutung. Darüber hinaus entstehen zunehmend mehrgeschossige Produktions-, Freizeit- und Verwaltungsgebäude sowie Schulen und Pflegeheime in Holzbauweise. So ist es beispielsweise in Berlin-Lichtenberg geplant, ein sechsgeschossiges Pflegeheim in Holzbauweise zu errichten [1]. **Bild 1** zeigt eine dreigeschossige Schule in Brannenburg.
Grundlage für diese Entwicklung ist die Musterbauordnung 2002 (MBO 2002) [3], die eine Einteilung in die Gebäudeklassen (GK) 1 bis 5 beinhaltet (**Bild 2**). Gebäude in Holzbauweise werden bis zur Gebäudeklasse 4 ermöglicht. Diese Klasse umfasst Gebäude mittlerer Höhe, die eine Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen von bis zu 13 m und Nutzungseinheiten bis zu 400 m² aufweisen. Tragende, aussteifende und raumabschließende Bauteile müssen in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmend (F 60) ausgeführt werden.

Die Ausführung der Holzbauteile in F 60-Qualität bereitet den Zimmereibetrieben keine Probleme, da diese Feuerwiderstandsklasse mit den Standardkonstruktionen ohne weiteres erreicht werden kann und eine relativ große Auswahl an geprüften Wand- und Deckenkonstruktionen existiert [4]. Auch die Anforderungen an die Rauchdichtigkeit der Anschlüsse gemäß M-HFHHolzR [5] können mit relativ einfachen konstruktiven Maßnahmen erfüllt werden. Problematisch ist dagegen die Erfüllung der Anforderung der Kapselklasse K 60 durch eine Brandschutzbekleidung. Da z. B. eine gebräuchliche Bekleidung aus 2 x 12,5 mm GF- oder GKF-Platten lediglich die Kapselklasse K 30 erreicht, sind in der Kapselklasse K 60 weitaus dickere Bekleidungen aus GF-, GKF- oder GKB-Platten erforderlich. Dies treibt die Kosten der Gesamtkonstruktion in die Höhe und hat damit direkten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

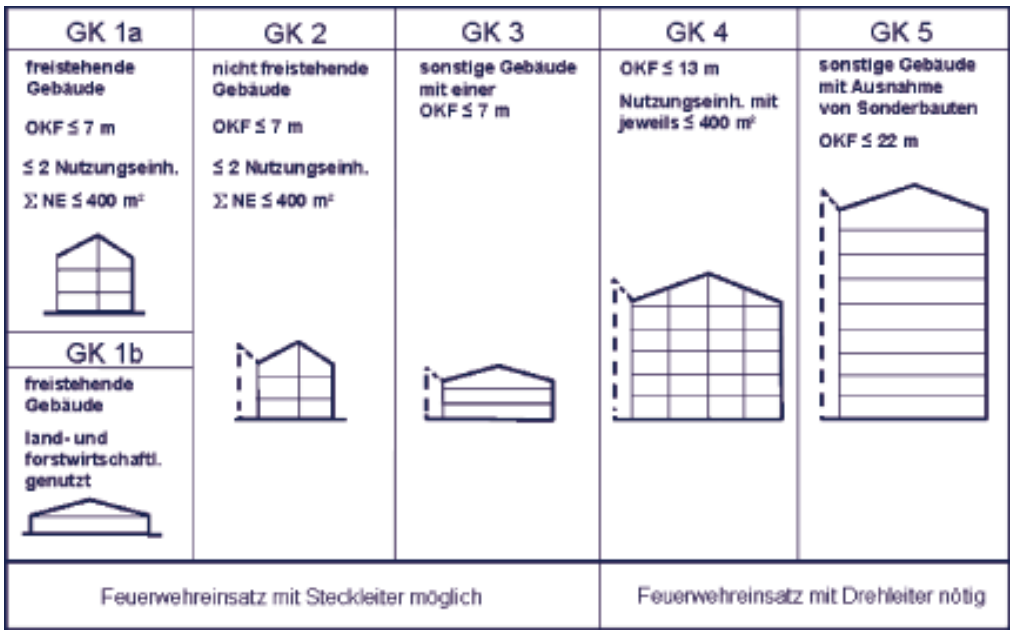

Bild 2. Einteilung der Gebäudeklassen gemäß MBO 2002
Fig. 2. Classification of buildings according to the Master building code

Ein weiteres Problem besteht darin, dass Bauherren mehrgeschossiger Holzbauten meist auch sichtbare Holzelemente und/oder brennbare Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wünschen. Dies ist jedoch gemäß MBO 2002 und M-HFHHolzR derzeit nicht zulässig. Schwierig gestaltet sich zudem bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise die Handhabung von Einbauten und Installationen bei hochfeuerhemmenden Bauteilen, insbesondere die Durchführung von Leitungen durch Decken. Die Industrie hält sich mit dem Erwirken von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Abschottungssysteme in hochfeuerhemmenden Holzbauteilen derzeit noch zurück und die auf dem Markt befindlichen Systeme sind im Regelfall nur für massive Bauteile zugelassen.

Im Folgenden werden diese Problemstellungen näher erläutert und Lösungsansätze vorgestellt.

2 Kapselklasse K 60 der Brandschutzbekleidung

2.1 Leistungskriterien und Prüfung der Brandschutzbekleidung

Der Gesetzgeber fordert auf Grundlage der MBO 2002 und der M-HFHHolzR in der Gebäudeklasse 4 Holzbauteile, die die Anforderung F 60 (Feuerwiderstand nach DIN 4102–2 [9]) und K 60 (Kapselklasse nach DIN EN 13501 [6] erfüllen. Die Anforderung K 60 bezieht sich dabei auf die Brandschutzbekleidung der Bauteile, die den darunter liegenden brennbaren Baustoff Holz während einer Zeitdauer von mindestens 60 Minuten vor einer Entzündung schützen soll. Im Zuge des Übergangs auf die europäische Klassifizierung von Bauteilen und der Einbindung in das deutsche bauaufsichtliche Verfahren wurde eine Norm zur Bestimmung der Brandschutzwirkung von Bekleidungen entwickelt. Diese europäische Norm DIN EN 14135 [7] legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Fähigkeit einer Brandschutzbekleidung fest, den darunter liegenden brennbaren Baustoff gegen Entzündung, Verkohlung und andere Schäden während einer definierten Normbrandbeanspruchung (ETK) zu schützen.

Werden die in dieser Norm festgelegten Leistungskriterien (Verhinderung der Entzündung bzw. Verkohlung des Holzes) eingehalten, wird die Brandschutzbekleidung je nach Dauer ihrer Schutzwirkung einer Kapselklasse nach DIN EN 13501 Teil 2 zugeordnet.

Zur Prüfung wird die Brandschutzbekleidung gemäß **Bild 3** auf eine Norm-Trägerplatte (gewöhnliche, nicht mit Flammschutzmitteln behandelte Holzspanplatte mit einer Dicke von (19 ± 2) mm und einer Dichte von (680 ± 50) kg/m³ montiert, die ihrerseits auf Holzbalken der Abmessungen mindestens 45/95 mm befestigt ist. An der Grenzschicht zwischen der Brandschutzbekleidung und der Holzspanplatte

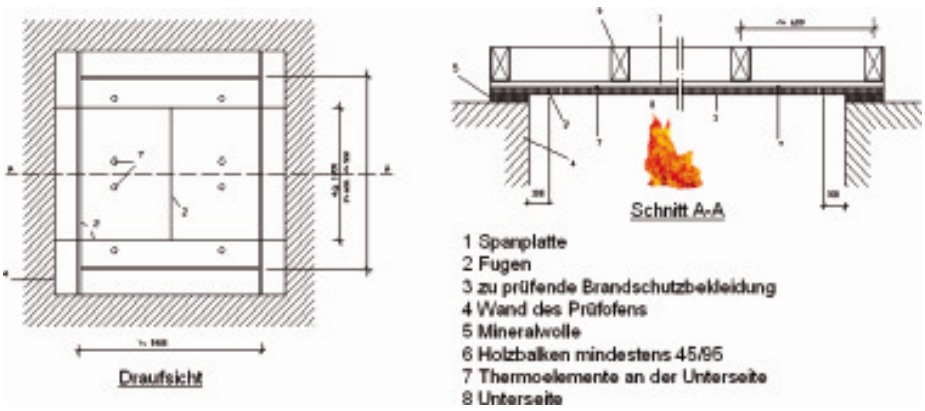

Bild 3. Bestimmung der Brandschutzwirkung (Kapselkriterium K) im Deckenofen
Fig. 3. Determination of fire protection ability (performance parameter K) in a ceiling furnace

werden Thermoelemente angebracht, welche die Temperaturerhöhung im Probekörper messen.
Bei der Prüfung des Feuerwiderstandes nach DIN 4102–2 [8] besteht eines der Leistungskriterien für den Nachweis des Raumabschlusses bzw. des Isolationskriteriums darin, dass die Temperaturerhöhung auf der feuerabgewandten Seite des Bauteils im Mittel kleiner als 140 K sein muss und an der heißesten Stelle maximal 180 K betragen darf (Bild 3). Dagegen wird bei der Prüfung der Kapselwirkung der Brandschutzbekleidung, das heißt bei der Überprüfung der Fähigkeit der Bekleidung, den dahinter liegenden brennbaren Baustoff vor der Entzündung zu schützen, die Temperatur direkt hinter der Bekleidung betrachtet. Im Mittel muss die Temperaturerhöhung dort kleiner als 250 K und an der ungünstigsten Stelle kleiner als 270 K sein. Dieses Leistungskriterium resultiert aus der Erkenntnis, dass die Entzündungstemperatur von Holzständern unter schneller Erwärmung bei ca. 270 °C bis 300 °C liegt.
Zudem darf kein Abbrand oder Verkohlung auf der Holzwerkstoffplatte auftreten. Schmelzen oder Schrumpfung wird als Schaden angesehen, Verfärbungen dagegen nicht.
Die Brandprüfung wird nach Erreichen der angestrebten Kapselungsdauer beendet. Der Prüfkörper wird schnellstmöglich vom Ofen genommen und gegebenenfalls auftretende Feuer im Prüfkörper werden gelöscht. Danach wird die Brandschutzbekleidung von der Norm-Trägerplatte entfernt, um diese auf Beschädigungen (Verkohlung oder Abbrand) zu untersuchen.

2.2 Kompensationsmaßnahmen bei Reduzierung der Kapselklasse

Auf Grund der allseitig eingekapselten Bauteile und der Tatsache, dass aus schallschutztechnischen Gründen in der Regel eine Mineralfaserdämmung vorhanden ist, weisen Holzbauteile mit einer Bekleidung der Kapselklasse K 60 meist einen Feuerwiderstand von bis zu 120 Minuten auf (F 120 nach DIN 4102–2). Es kann aber davon ausgegangen werden, dass der Gesetzgeber einen solch hohen Feuerwiderstand in der Gebäudeklasse 4 nicht beabsichtigt hat. Daher wäre eine Reduzierung der erforderlichen Kapselklasse um 15 Minuten und eine Erweiterung der M-HFHHolzR in Form einer Abstufung der Kapselklassen in Abhängigkeit der Gebäudehöhe sinnvoll:

- K 30 bei Gebäuden mit bis zu 4 Vollgeschossen (OKF 10 m)
- K 45 bei Gebäuden mit bis zu 5 Vollgeschossen (OKF 13 m / K 45 ist in der DIN EN 13501–2 bislang nicht vorgesehen)

Um das Auftreten von Hohlraumbränden bei einer Reduzierung der Kapselklasse von K 60 auf K 45 oder K 30 auszuschließen, sind im Rahmen eines ganzheitlichen Brandschutzkonzeptes kompensatorische Maßnahmen möglich, die insgesamt ein vergleichbares Sicherheitsniveau ergeben wie bei Ausführung der Bekleidung in der Kapselklasse K 60.
Um eine Verringerung der Kapselklasse K 60 sinnvoll kompensieren zu können, muss zunächst das Schutzziel hinter der Anforderung verstanden werden:
Die Anforderung K 60 resultiert nicht aus dem Schutzziel, die Flucht der Bewohner sicher zu stellen. In der Regel haben die Bewohner spätestens innerhalb der ersten zehn Minuten nach der Brandentdeckung das Gebäude verlassen. Auch die Rettung der gegebenenfalls im Hause verbliebenen Personen durch die Einsatzkräfte der Feuerwehr findet gewöhnlich innerhalb der ersten 20 Minuten nach der Brandentdeckung statt. Vielmehr bestanden seitens der Feuerwehren Bedenken, ob in mehrgeschossigen Holzbauten das Schutzziel der Ermöglichung einer wirkungsvollen Brandbekämpfung erfüllt werden kann. Die Befürchtungen bestanden darin, dass mögliche Brände im Innern der Holzbauteile sowie eine unkontrollierte Brandausbreitung über Hohlräume einen Löscherfolg erschweren könnten. Zudem wurde befürchtet, die Einsatzkräfte könnten nach dem Löschangriff noch durch ein möglicherweise eintretendes verzögertes Tragwerksversagen infolge eines versteckten Weiterbrandes hinter der Bekleidung gefährdet werden [9].
Um diese Gefährdungen auszuschließen, wurde vereinbart, Holzbauteile in der Gebäudeklasse 4 so auszubilden, dass sie während der ersten 60 Minuten nach Brandbeginn einem nichtbrennbaren Massivbauteil gleichgesetzt werden können. Dies setzt voraus, dass sich die brennbaren Holztragglieder während dieser Zeitspanne nicht entzünden dürfen.
Die Anforderung K 60 resultiert also in erster Linie aus der Gewährleistung einer wirkungsvollen Brandbekämpfung durch die Feuerwehr. Wenn nun mittels geeigneter Anlagentechnik sicher gestellt wird, dass der Brand rasch entdeckt und die Feuerwehr früh alarmiert wird, erscheint es bei der Beibehaltung des geforderten Feuerwiderstandes vertretbar, die Kapselungsanforderung der Holzbauteile zu verringern.
Geeignet ist in diesem Zusammenhang eine automatische Brandmeldung. Die komplette Brandmeldeanlage nach DIN VDE 0833 Teil 2 [10] und DIN 14675 [11] sollte jedoch Sonderbauten, wie Versammlungsstätten, Hochhäusern, Krankenhäusern, Pflegeheimen oder Verkaufsstätten, vorbehalten bleiben. Denn Anlagen, die nach diesen Normen errichtet werden, ziehen eine ganze Reihe von erforderlichen technischen Einrichtungen nach sich:

- Übertragungsanlage (Anlage, die zur Aufnahme und Übertragung von Brandmeldungen zur Feuerwehr dient und von Personen zum unmittelbaren Hilferuf genutzt werden kann),
- Ersatzstromquelle und Verlegung der Kabel in Funktionserhaltsklasse E 30,
- Brandmelderzentrale (BMZ) mit Anzeigetableau, Feuerwehrlaufkarten und Übersichtsplänen für die Feuerwehr,
- Feuerwehrschlüsseldepot (FSD), wenn keine ständig besetzte Stelle vorhanden ist und
- gelbe Rundumkennleuchte (Dreh- oder Blitzleuchte) im Eingangsbereich zur Kennzeichnung der BMZ.

Es ist nachvollziehbar, dass der erhebliche technische Aufwand relativ hohe Investitionskosten nach sich zieht. Hinzu kommen Kosten für regelmäßige Wartung sowie Gebühren für die Aufschaltung zur Feuerwehr. Es gibt jedoch eine Möglichkeit, den Vorteil der automatischen Brandmelder im Rahmen von Brandschutzkonzepten für mehrgeschossige Wohnbauten in Holzbauweise zu nutzen, ohne den hohen finanziellen Aufwand in Kauf zu nehmen, der durch die Aufschaltung zur Feuerwehr entsteht. Der Ansatz besteht darin, in Absprache mit der zuständigen Genehmigungsbehörde und der Brandschutzdienststelle der Feuerwehr auf die Übertragungseinrichtung zur Leitstelle zu verzichten. Unter dieser Voraussetzung kann z. B. auf technische Einrichtungen wie die Rundumkennleuchte und das Schlüsseldepot im Eingangsbereich verzichtet werden. Das Ziel der frühzeitigen Entdeckung eines Brandes und der Alarmierung der Bewohner wird ebenso erreicht.
Alle Räume jeder Wohnung mit Ausnahme von Nasszellen sollten mit untereinander vernetzten automatischen Brand-

meldern ausgestattet werden. Auf diese Weise wird sicher gestellt, dass im Fall eines Brandes alle Bewohner des Hauses alarmiert werden – insbesondere dann, wenn die Personen der vom Brand betroffenen Wohnung nicht anwesend sind. Melder mit einer manuellen Rückstellmöglichkeit können so miteinander vernetzt werden, dass der Alarm im ganzen Hause erst dann ausgelöst wird, wenn der zuerst ausgelöste Melder nicht innerhalb von beispielsweise 60 Sekunden zurückgestellt wird. Auf diese Weise kann dem Problem der Fehlalarme begegnet werden. Alternativ können Melderlinien so geschaltet werden, dass bei Auslösen eines Melders im Rettungswegbereich (notwendiger Flur) zeitgleich auch alle anderen Melder auslösen. Bei Auslösen eines Melders in einer beliebigen Nutzeinheit lösen dagegen zeitgleich nur die Melder im Fluchtwegbereich aus. Diese Schaltung wird in der Regel auch in Hotels gewählt.

Wenn das Brandschutzkonzept eine bewohnerunabhängige Alarmierung der Feuerwehr vorsieht, besteht die Möglichkeit, die Rauchmelder mit einem einfachen Schnittstellenmodul zu verbinden und auf ein Telefonwählgerät aufzuschalten. Die Brandmeldung wird über das Telefonwählgerät automatisch an einen Wachdienst weitergegeben, der das Objekt umgehend inspiziert und gegebenenfalls die Feuerwehr alarmiert. Eine im Treppenraum installierte kompakte Brandmelderzentrale mit Anzeigetableau zeigt der eintreffenden Feuerwehr an, welche Melderlinie zuerst ausgelöst hat. Dadurch kann ein möglicher Brandherd schnell gefunden werden. Bei einer flächendeckenden Rauchmelderüberwachung kann auf die Ausführung der Leitungsanlagen in E 30-Qualität gemäß MLAR [12] verzichtet werden, da die Anlage nach der Brandmeldung ausfallen darf und das Schutzziel der frühzeitigen Alarmierung erfüllt wird.

Innerhalb einer halben Stunde nach Brandbeginn kann auf Grund der frühzeitigen Brandmeldung und Alarmierung überall in Deutschland mit dem Eintreffen der Feuerwehr gerechnet werden. Da die Wege in mehrgeschossigen Wohngebäuden im Gegensatz zu großflächigen oder hohen Sonderbauten (z. B. Hochhäuser) relativ kurz sind, geht die Entwicklung des Löschangriffs schnell vonstatten, so dass innerhalb dieser Zeitspanne auch von einem Löschangriff im Brandraum ausgegangen werden kann. In Verbindung mit weiteren kompensatorischen Maßnahmen wie einem verbesserten Fluchtwegkonzept sowie konstruktiven Maßnahmen im Bereich der Installationsführung und der Einbauten erscheint es unter diesen Umständen vertretbar, die Kapselung der Holzbauteile auf K 30 zu reduzieren.

Automatische Löschanlagen wie Sprinkler- oder Wassernebellöschanlagen sind ebenfalls geeignet, eine Verringerung der Kapselungsintensität der Holzbauteile zu kompensieren. Es ist bei Vorhaltung einer solchen selbsttätigen Löschanlage darüber hinaus vertretbar, die Feuerwiderstandsklasse um eine Stufe zu reduzieren, z. B. von F 60 auf F 30.

3 Sichtbare Holzkonstruktionen in der GK 4

3.1 Anforderungen der MBO 2002 und M-HFHHolzR

Die Verwendung von sichtbaren tragenden Holzkonstruktionen in mehrgeschossigen Holzbauten der Gebäudeklasse 4 ist nach MBO 2002 nicht zulässig, da in § 26 gefordert wird, dass die hochfeuerhemmenden tragenden und/oder raumabschließenden Holzbauteile allseitig eine Brandschutzbekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen aufweisen müssen. Die Bauherren mehrgeschossiger Holzbauten wünschen dagegen oftmals auch die Anordnung sichtbarer Holztragelemente wie Stützen und Unterzüge, um die Optik zu verbessern. Vielfach wird der Vorwurf geäußert, dass die Charakteristik eines Holzbaus bei Einkapselung der gesamten Tragkonstruktion verloren ginge. Bei Anordnung sichtbarer Holzelemente sind jedoch kompensatorische Maßnahmen im Rahmen eines ganzheitlichen Brandschutzkonzeptes erforderlich, die das erforderliche Sicherheitsniveau wieder herstellen.

3.2 Kompensatorische Maßnahmen bei sichtbaren massiven Holzbauteilen

Im Fluchtwegbereich (notwendige Flure und Treppenräume) sollten alle Bauteiloberflächen nichtbrennbar ausgebildet werden, um die Flucht und Rettung von Personen zu ermöglichen. Innerhalb der Nutzungseinheiten sind brennbare Tragkonstruktionen wie Holzstützen oder Brettstapeldecken denkbar, wenn ihre Beteiligung am Brandgeschehen verhindert oder zumindest hinausgezögert werden kann. Automatische Brandmelder alleine genügen nicht, da bereits vor dem Eintreffen der Feuerwehr eine Entzündung der unbekleideten Holzbauteile möglich ist. Kombiniert man dagegen automatische Melder mit neuartigen transparenten Brandschutzbeschichtungssystemen [13], die eine Entzündung der Holzkonstruktion für definierte Zeiträume verhindern, so läge eine durchaus genehmigungsfähige Situation vor.

Bei Vorhaltung einer automatischen Löschanlage sind sichtbare Holzbauteile ohne jegliche Bekleidung oder Beschichtung vorstellbar, wenn sie unter Berücksichtigung des Abbrands zumindest auf F 30-B dimensioniert sind. So ist auch im relativ unwahrscheinlichen Falle eines Versagens der Löschanlage ein bis zum Beginn wirksamer Löscharbeiten durch die Feuerwehr ausreichender Brandschutz der Tragkonstruktion gewährleistet.

Im Bereich des üblichen Wohnungsbaus ist diese anlagentechnische Maßnahme jedoch meist nicht finanzierbar, zumal neben den Anschaffungskosten auch Unterhaltungskosten berücksichtigt werden müssen. Bei Sonderbauten, wie z. B. Pflegeheimen, ist die Anordnung einer automatischen Löschanlage dagegen auf Grund der dort herrschenden höheren Anforderungen an den baulichen Brandschutz oft lohnenswert [1].

Bezüglich des Sachschutzes muss gerade im Bereich der Holzbauweise neben dem primären Schadensereignis Brand auch der potenzielle Schaden durch Löschwasser betrachtet werden. Daher ist es in Holzbauten sinnvoll, anstelle einer gewöhnlichen Sprinkleranlage einer (Hochdruck-)Wassernebellöschanlage den Vorzug zu geben. Diese Anlagen arbeiten nach dem Löschprinzip der Kühlung und der Sauerstoffverdrängung. Das Löschwasser wird unter hohem Druck vernebelt, wodurch sich die zur Kühlung verfügbare Reaktionsoberfläche des eingesetzten Wassers stark vergrößert. Die kleinen Wassertropfen verdampfen am Brandherd. Durch die Verdampfung wird das Volumen des Wassers um ein Vielfaches vergrößert. Dadurch wird der Sauerstoff lokal am Brandherd verdrängt. Infolgedessen entsteht am Brandherd ein lokaler Stickeffekt, ähnlich wie bei inerten Löschgasen, bei denen jedoch der Luftsauerstoffgehalt im Gegensatz zur Wassernebellöschanlage im gesamten Raum herabgesenkt werden muss. Hochdruckwassernebel-

löschanlagen benötigen lediglich ein bis zehn Prozent der Wassermenge herkömmlicher Sprinkleranlagen und verursachen demzufolge weitaus geringere Löschwasserschäden.

4 Brennbare Dämmstoffe in der GK 4

4.1 Anforderungen der MBO 2002 und M-HFHHolzR

Bei Verwendung brennbarer Dämmstoffe innerhalb von hochfeuerhemmenden Bauteilen in Holzbauweise besteht eine Abweichung zur MBO 2002, die in solchen Bauteilen ausschließlich nichtbrennbare Dämmstoffe vorschreibt. Gemäß Ziffer 3.1.2 der M-HFHHolzR müssen diese zudem einen Schmelzpunkt ≥ 1000 °C aufweisen. Im Rahmen eines ganzheitlichen Brandschutzkonzeptes sind brennbare Dämmstoffe in hochfeuerhemmenden Bauteilen bei Wahrung des erforderlichen Sicherheitsniveaus durchaus realisierbar. Es sind jedoch meist weitergehende Untersuchungen erforderlich, da nicht alle brennbaren Dämmstoffe gleich behandelt werden können. Es bestehen hier innerhalb derselben Baustoffklasse (i. d. R. normalentflammbar B2) erhebliche Unterschiede im Brandverhalten. Wesentlich zur Beurteilung der Eignung ist die Kenntnis der Entzündungstemperatur und des Pyrolyseverhaltens. Denn die Brandschutzbekleidung muss so dimensioniert sein, dass sie neben der Entzündung der Holztragglieder auch die Pyrolyse des Dämmstoffs verhindert, die erfahrungsgemäß bereits sehr viel eher einsetzt, als bei einer Temperaturerhöhung von 250 K (Leistungskriterium der Brandschutzbekleidung, siehe **Bild 4**).

Die Ausgasung (Pyrolyse) muss verhindert werden, weil brennbare Dämmstoffe oftmals ein erhebliches Rauchgaspotential aufweisen und ein Austreten von Rauch und Brandgasen in benachbarten Nutzeinheiten unter diesen Umständen nicht auszuschließen ist. Es wird daher empfohlen, zum Nachweis der Eignung des Systems aus Brandschutzbekleidung und brennbarem Dämmstoff den entsprechenden Bauteilaufbau mit einem Kleinbrandversuch [14] zu testen (praxisgerecht hergestellte Probekörper der Größe ca. 1 m²). In der Regel kann hierbei die Industrie miteinbezogen werden, so dass die Finanzierung solcher Untersuchungen auch bei kleineren Bauprojekten möglich ist (siehe Ziffer 6).

4.2 Kompensatorische Maßnahmen bei Verwendung von brennbaren Dämmstoffen in der GK 4

Die im Normbrandversuch ermittelten Temperaturen auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung müssen für den erforderlichen Zeitraum der Kapselung unterhalb der Pyrolysetemperatur des Dämmstoffes liegen. Diese kann, sofern sie nicht bekannt ist, mit dem Cone Calorimeter nach ISO 5660 [15] ermittelt werden. Bei dieser Untersuchung kann auch das Rauchgaspotential des Dämmstoffes bestimmt werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen dienen dann als Grundlage für die Erteilung einer Zustimmung im Einzelfall der obersten Bauaufsicht. Es ist neben der Anordnung einer geeigneten Brandschutzbekleidung äußerst empfehlenswert, bei Verwendung von brennbaren Dämmstoffen grundsätzlich eine flächendeckende Rauchmelderüberwachung vorzusehen.

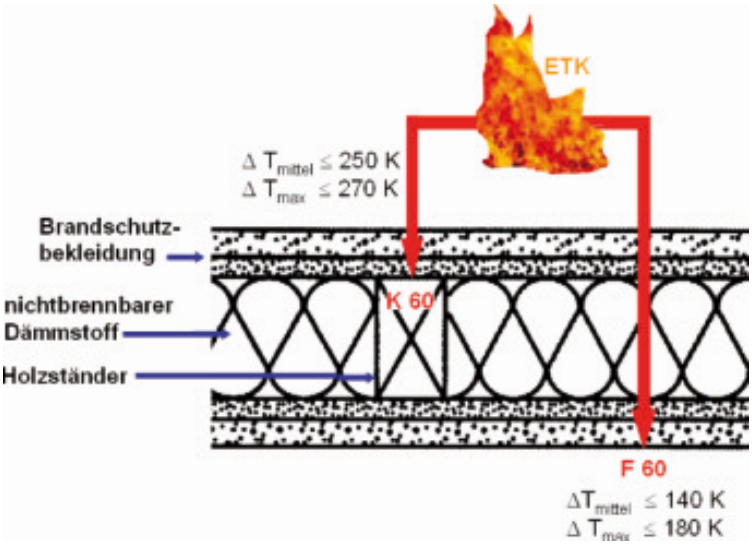

Bild 4. Leistungskriterien K 60 und F 60 im Vergleich bei hochfeuerhemmenden, raumabschließenden Bauteilen in Holzbauweise
Fig. 4. Comparison of fire protection ability K60 and REI 60 in high fire resisting structural components in timber frame construction

5 Einbauten und Installationen

5.1 Anforderungen der MBO 2002 und M-HFHHolzR

Ein häufiger Schwachpunkt in raumabschließenden Bauteilen bei allen Bauweisen besteht in Öffnungen für Einbauten und Durchführungen von Installationen. Darum wurden diese Details eingehend untersucht [14]. Da es im Bereich des Holzbaus noch keine bauaufsichtlichen Zulassungen für Abschottungssysteme gibt, wurde im Rahmen der Forschungsbrandversuche zunächst ein für Massivbauteile zugelassenes Kabelschott hinsichtlich der Übertragbarkeit auf Holzbauteile geprüft. Die Ergebnisse waren grundsätzlich positiv, denn bei Betrachtung der Prüfkriterien aus DIN 4102–9 [16] könnte das bisher im Massivbau eingesetzte System auch im Holzbau verwendet werden. Dabei muss jedoch sehr sorgfältig auf eine brandschutztechnisch ausreichend dimensionierte Auslaibung im raumabschließenden Bauteil geachtet werden, damit die Entzündung benachbarter Holztragglieder wirksam verhindert wird. Der Einsatz in der Praxis ist bislang nur über eine Zustimmung im Einzelfall möglich, da in Deutschland zurzeit noch keine Zulassungen für Abschottungen in hochfeuerhemmenden Holzbalkendecken vorliegen.

Um beim Einbau von Öffnungen für Einbauten eine Einleitung von Feuer in die Wand- und Deckenbauteile zu verhindern, ist die Brandschutzbekleidung grundsätzlich auch in den Öffnungslaibungen entsprechend **Bild 5** vorzusehen.

Um der Gefahr einer Brandentstehung und Weiterleitung z. B. durch Kurzschluss bei elektrischen Leitungen vorzubeugen, werden Brandlasten in Form von Kabelbündeln innerhalb der Bauteile im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 generell nicht zugelassen. Durch das Auslagern in die Schächte und Vorwandebenen bleiben die Installationen mittels der Brandschutzbekleidung von den tragenden und aussteifenden Holzbauteilen getrennt. An die Vorwandebene selbst werden keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, Kabel, Leitungen und Mehrfachsteckdosen in Kanälen innerhalb der Wände zu verlegen, die in der Art der Brandschutzbekleidung aus-

geführt werden. Die Brandschutzbekleidung darf bei der Montage der Kanäle jedoch in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt werden. Einzelne Kabel oder bis zu drei Kabel innerhalb eines Rohres aus nichtbrennbaren Baustoffen dürfen innerhalb von Wänden und Decken geführt werden. Bei Durchführung der Kabel durch die Brandschutzbekleidung sind die verbleibenden Hohlräume in der Brandschutzbekleidung mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verspachteln.

5.2 Konstruktionsvorschlag für Durchführungen in hochfeuerhemmenden Decken

Um die Gefahr eines Einbrands im Bereich der Öffnungsauslaibung für Durchführungen zu vermeiden, können innerhalb der Holzbalkendecken im Bereich der Schachtdurchführungen z. B. Porenbetonplatten eingesetzt werden. Die Porenbetonplatten werden bündig zwischen zwei Holzbalken angeordnet und durch Schrauben oder Gewindestangen mit diesen verbunden (**Bild 6**). In die Porenbetonplatten können für Massivdecken zugelassene Abschottungssysteme für Rohre und Kabel eingesetzt werden. Die Abstände der Rohr- und Kabelabschottungen untereinander innerhalb der Porenbetonplatte sind gemäß Zulassung der Abschottungssysteme einzuhalten.

Solange noch keine Rohr- und Kabelabschottungen in R 60 und S 60 – Qualität existieren, müssen Abschottungen in R 90– und S 90-Qualität verwendet werden. Die Konstruktion der Rohr- und Kabelabschottung in Deckenebene erfolgt somit analog dem Kommentar zur Muster-Leitungsanlagenrichtlinie (MLAR) [12].

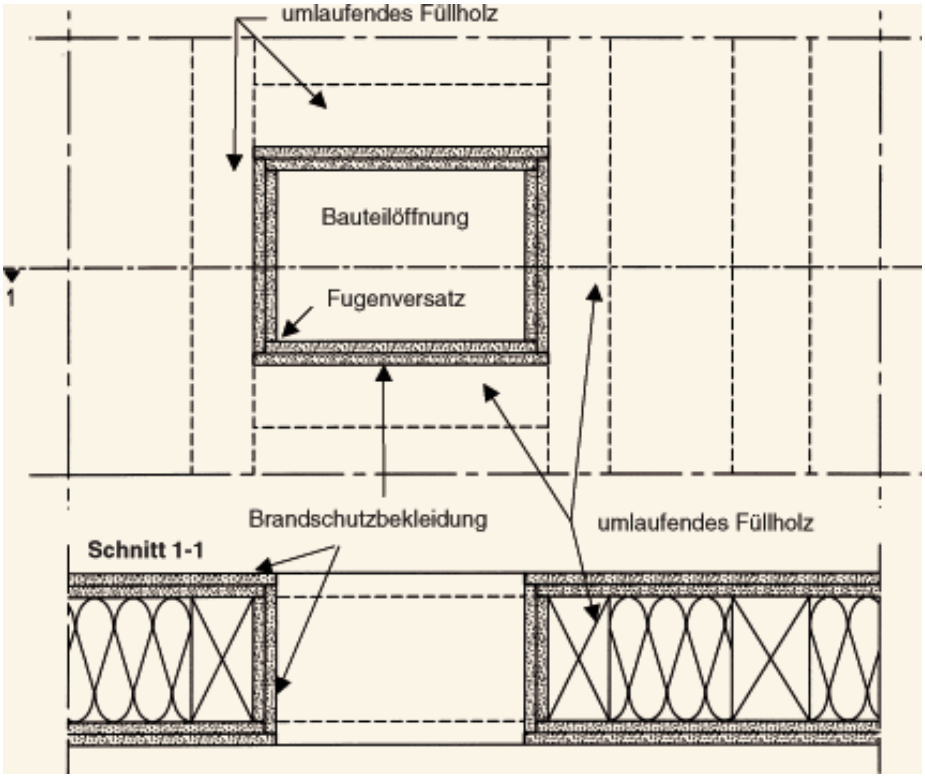

Bild 5. Bauteilöffnung mit Brandschutzbekleidung und Darstellung der Ausführung des Fugenversatzes
Fig. 5. Structural component with covering and illustration of the keyed joints

6 Brandschutzkonzept für eine viergeschossige Wohnanlage in Freiburg

In Baden-Württemberg ist die Errichtung eines nach wohngesundheitlichen Aspekten geplanten Gebäudes in Holztafelbauweise vorgesehen [17]. Die Wohnanlage besitzt rechteckige Abmessungen (ca. 27 m x 12 m), ist voll unterkellert und hat vier oberirdische Geschosse. Die Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen liegt bei ca. 9,10 m. Im Gebäude befinden sich insgesamt acht Nutzeinheiten (Wohnungen). Die vier obersten Wohnungen erstrecken sich jeweils über zwei Geschosse (Maisonettewohnungen). Auf dem teilweise verglasten und teilweise extensiv begrünten Flachdach befinden sich Terrassen, die von den Maisonettewohnungen über interne Treppen erschlossen werden.

Die Bewertung des Brandschutzes erfolgte auf Basis der einschlägigen Vorschriften des Landes Baden-Württemberg. Für die baurechtliche Einstufung des Gebäudes und die sich daraus ergebenden Anforderungen an den baulichen Brandschutz wurde zusätzlich die MBO 2002 in Verbindung mit der M-HFHHolzR herangezogen. Durch die frühzeitige Vorstellung eines brandschutztechnischen Grobkonzeptes bei der zuständigen Bauaufsichtsbehörde und der Brandschutzdienststelle der Freiburger Feuerwehr konnten die für die Genehmigungsfähigkeit des Objektes relevanten Punkte abgestimmt werden, um Planungssicherheit zu erlangen.

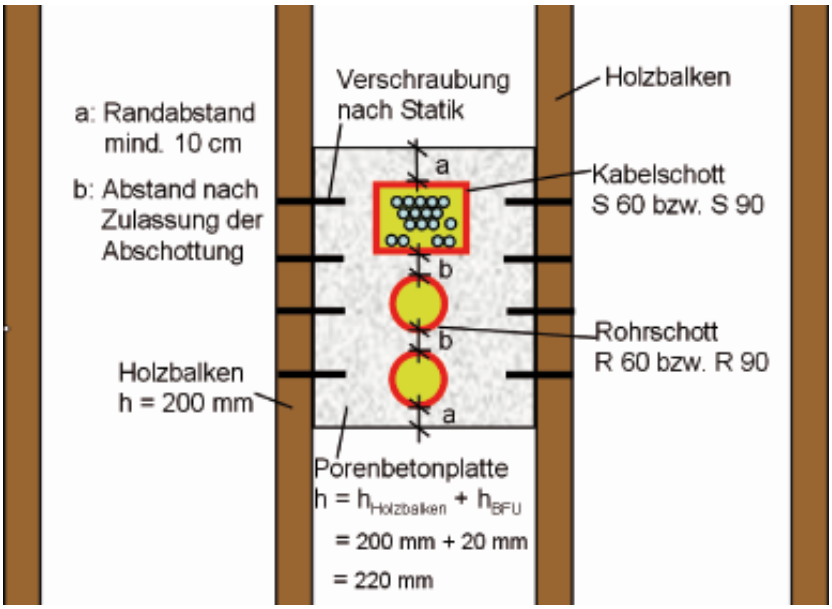

Bild 6. Geplante Ausführung von Abschottungen für Schachtdurchführungen in den raumabschließenden Decken
Fig 6. Planned execution of the bulkhead in the ceiling

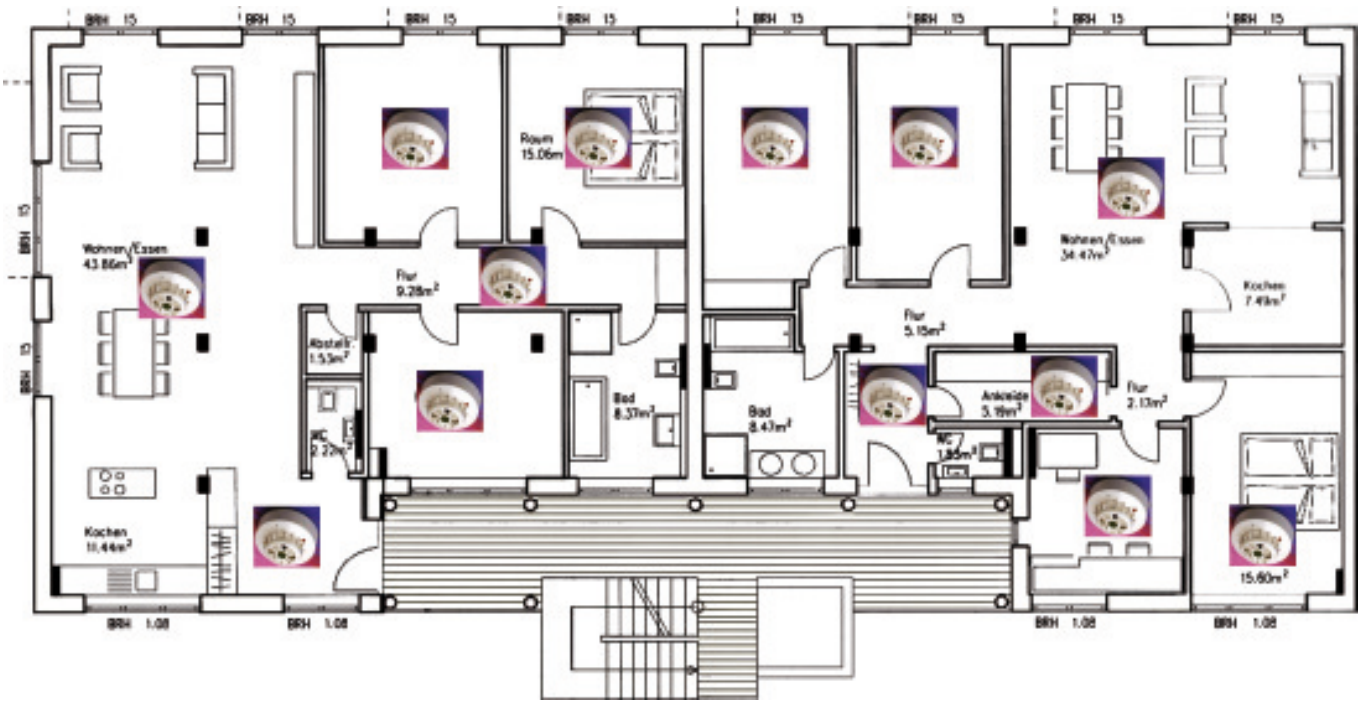

Bild 7. Flächendeckende Anordnung der Rauchmelder im EG
Fig 7. Area wide disposition of the smoke detectors in the ground floor

Die Besonderheit bei diesem Projekt bezüglich des Brandschutzes besteht in der Verwendung von brennbaren Dämmstoffen innerhalb der Wandkonstruktion. Da jedoch Zellulosefasern (Baustoffklasse B2 normalentflammbar) zum Einsatz kommen, die eine vergleichbare Entzündungstemperatur aufweisen wie Holz, ist sicher gestellt, dass die geplante zweilagige Bekleidung aus Gipsfaserplatten neben der Kapselung der Holztragglieder auch die Entzündung der Zellulosefasern ausreichend lange verhindert. Innerhalb der Decken kommt Mineralwolle zum Einsatz.

Als weitere Abweichung ist es entgegen Ziffer 3.2 der M-HFHHolzR vorgesehen, die Kapselklasse der Brandschutzbekleidung von K 60 auf K 30 zu reduzieren. Als eine von mehreren Kompensationsmaßnahmen für diese Abweichungen von der MBO 2002 werden flächendeckend miteinander vernetzte Rauchwarnmelder (in Küchen Wärmemelder) nach DIN 14675 angeordnet. **Bild 7** zeigt beispielhaft die Anordnung der Rauchmelder im Erdgeschoss. Es ist davon auszugehen, dass die Freiburger Feuerwehr spätestens innerhalb von 30 Minuten nach Brandbeginn mit wirksamen Löschmaßnahmen beginnen kann. Ein Brandeintrag in die Konstruktion kann daher mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Ein von der Anordnung der erforderlichen Feuerwehraufstellflächen bis zur Planung der einzelnen Rettungsfenster detailliert ausgearbeitetes Fluchtwegkonzept [17] sorgt für eine sichere Evakuierung der Bewohner im Brandfall. Die

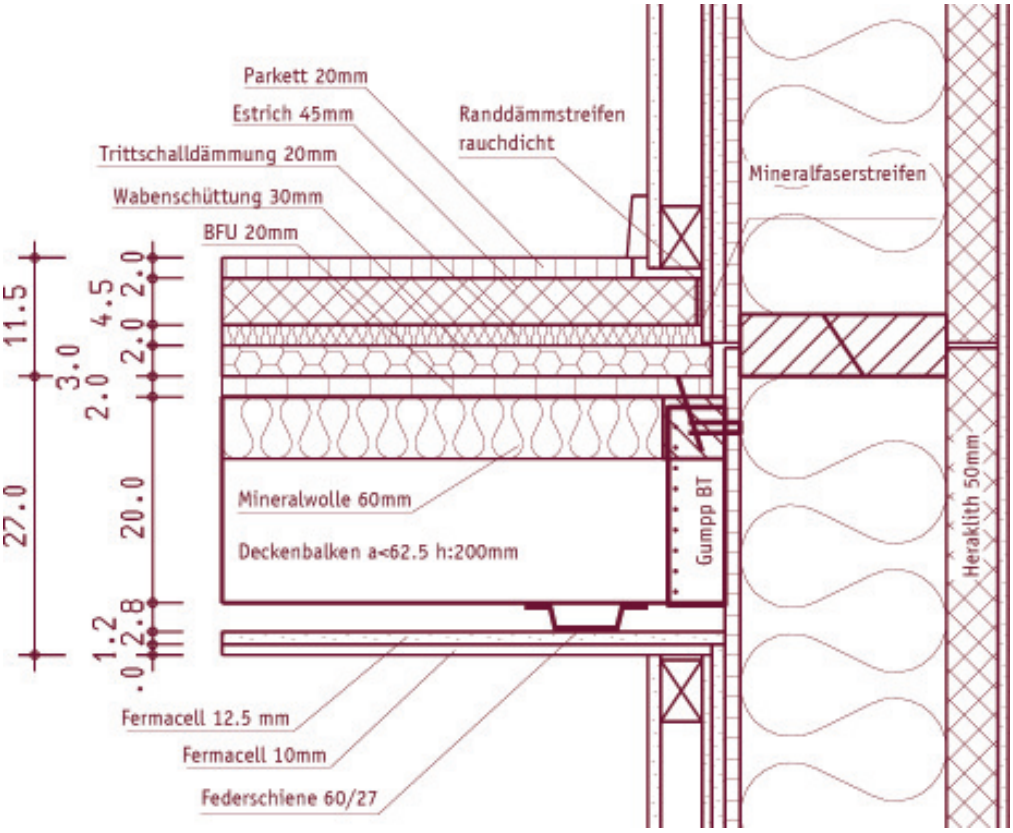

Bild 8. Anschluss Außenwand/Decke
Fig 8. Junction external wall/ceiling. (Copyright: Zimmerei Grünspecht e. G.)

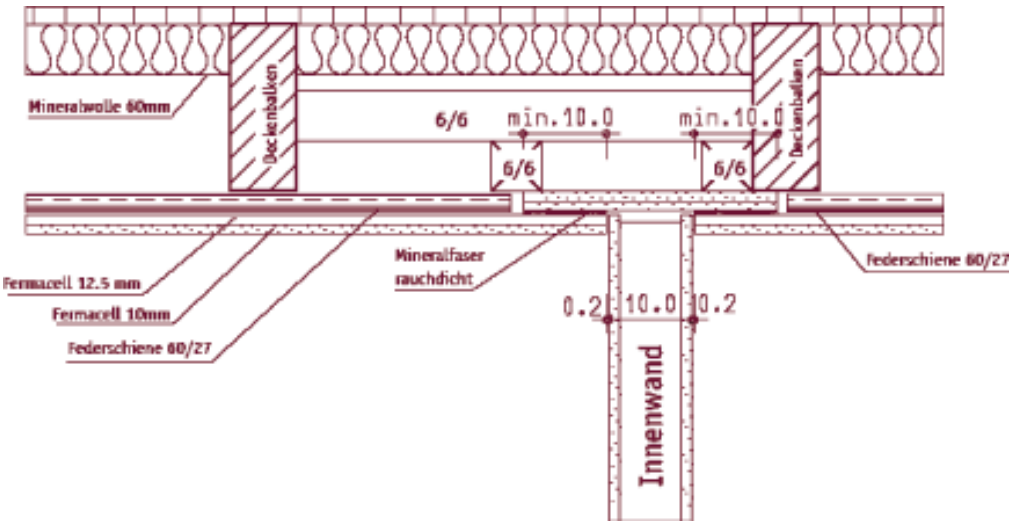

Bild 9. Anschluss einer nicht tragenden, nicht raumabschließenden Innenwand an eine raumabschließende Decke.
Fig 9. Junction of a non load-bearing partition wall and the ceiling. (Copyright: Zimmerei Grünspecht e. G.)

Fluchtweglänge beträgt maximal 20 m, zulässig wären nach Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO) 40 m. Durch die Ausbildung der tragenden, aussteifenden und raumabschließenden Bauteile in F 60-BA-Qualität gemäß MBO 2002 bleiben mögliche Brände 60 Minuten auf eine Nutzeinheit beschränkt. Die Feuerwehr findet daher bei ihrem Eintreffen ein beherrschbares Szenario vor. Darüber hinaus bieten die Anordnung einer Feuerwehrbewegungsfläche in direkter Nähe zum Treppenraum sowie zweier Hydranten in unmittelbarer Nähe zum Grundstück den Einsatzkräften gute Bedingungen für wirkungsvolle Löschmaßnahmen. Hierzu trägt auch bei, dass die notwendige Treppe sowie die Gebäudeabschlusswand in Massivbauweise (Stahlbeton) hergestellt werden. Durch die Ausbildung der Bauteilanschlüsse gemäß den konstruktiven Anforderungen der M-HFHHolzR wird eine Rauchweiterleitung in benachbarte Wohneinheiten wirksam behindert (**Bild 8**).

Bild 10. Probekörper im eingebauten Zustand in der Wand des Brandofens
Fig 10. Sample attached to the wall of the furnace

Beim Anschluss von nicht tragenden und nicht raumabschließenden Innenwänden an die hochfeuerhemmenden Decken wird durch konstruktive Maßnahmen ein Brandeintrag infolge Versagens der nicht klassifizierten Wände verhindert (**Bild 9**). Installationen werden in Vorwandebenen verlegt, um eine Brandentstehung im Inneren der Tragkonstruktionsebene zu verhindern.

Die Kapselklasse K 30 der geplanten Brandschutzbekleidung, bestehend aus einer 12,5 mm und einer 10 mm dicken Gipsfaserplatte (Fermacell) wurde durch einen von der Gipsfaserplattenindustrie finanzierten Ofenbrandversuch in Anlehnung an DIN EN 14135 nachgewiesen. Die Versuchsergebnisse dienen als Grundlage für die Erteilung einer Zustimmung im Einzelfall. Die Prüfung erfolgte sowohl mit einem praxisgerecht hergestellten Wand- als auch mit einem Deckenelement jeweils im Kleinversuchsmaßstab (Probekörpergröße ca. 1,0 m x 1,0 m, siehe **Bild 10**). Der geprüfte Wandaufbau ist in **Bild 11** dargestellt, wobei der Brandversuch ohne Installationsebenen durchgeführt wurde, die im Brandfall als zusätzliche Verschleißschicht dienen. Damit liegt die Prüfung gegenüber dem tatsächlichen Aufbau auf der sicheren Seite.

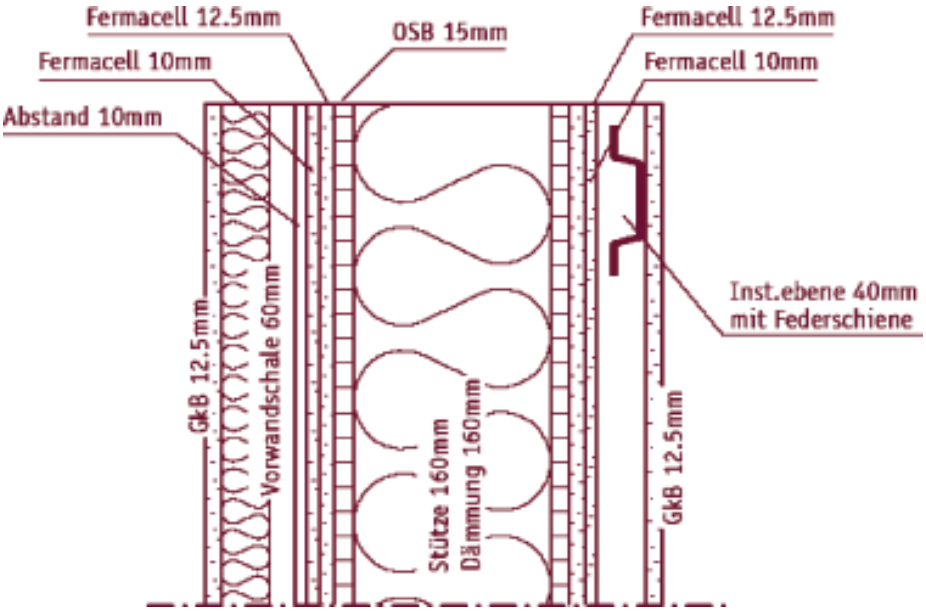

Bild 11. Aufbau der Wohnungstrennwände.
Fig 11. Set-up of the inter-apartment walls. (Copyright: Zimmerei Grünspecht e.G.)

Die Ergebnisse des Brandversuches zeigen, dass die gewählte Brandschutzbekleidung die Anforderungen der Kapselklasse K 30 nach DIN EN 13501–2 mit erheblichen Sicherheitsreserven erfüllt. Die Temperaturerhöhung auf der Indikatorplatte be-

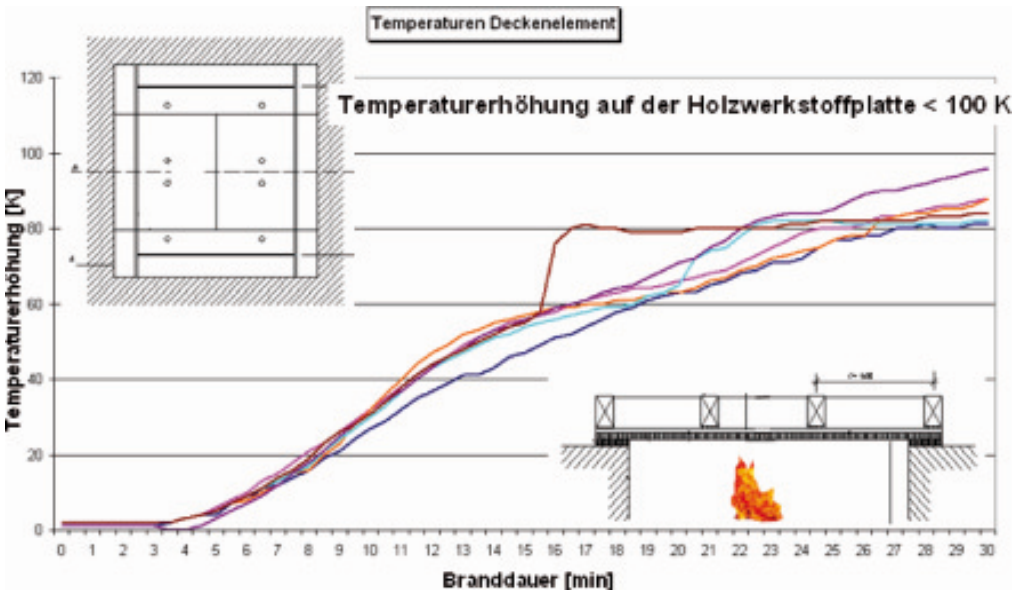

Bild 12. Temperaturverläufe hinter der Brandschutzbekleidung (Thermoelemente auf Holzwerkstoffplatte befestigt)
Fig 12. Temperature time graph of a fire test (thermal elements attached to the wooden board under the covering)

trug nach 30 Minuten Brandbeanspruchung maximal ca. 95 K. Zulässig wären nach DIN EN 14135 im Mittel 250 K und im Maximum 270 K.
Auf der Holzwerkstoffplatte waren nach dem Brandversuch weder auf beim Decken- noch beim Wandelement Verkohlungen festzustellen. Selbst im Bereich der Schrauben, die aufgrund des Temperatureintrags infolge Wärmeleitung oftmals eine Schwachstelle darstellen, traten keinerlei Verkohlungen auf. Auch Verfärbungen, die nach DIN EN 14135 toleriert werden, waren nicht feststellbar.
Aufgrund der geringen Temperaturen innerhalb der Wand kam es nicht zu einer Pyrolyse (Ausgasen) der Zellulosedämmung. Deren Rauchgaspotential trägt damit nachweislich für mindestens 30 Minuten nicht zum Brandgeschehen

Bild 13. Zustand der Holzwerkstoffplatte hinter der Brandschutzbekleidung nach dem Brandversuch (30 Minuten Brandbeanspruchung gemäß ETK)
Fig 13. Condition of the wooden board after the fire test (30 minutes according to standardized temperature-time curve)

Bild 14. Architektenplan mit Brandschutzeintragungen für das EG
Fig 14. Floor plan of the ground floor with fire safety enscriptions

bei. Dies ist von besonderer Bedeutung, da die konstruktiven Anforderungen der M-HFHHolzR an Anschlüsse ausschließlich nichtbrennbare Dämmstoffe im Bauteilinneren voraussetzen. Unter diesen Randbedingungen wurden die der M-HFHHolzR zugrunde liegenden Brandversuche durchgeführt. Bei einem Ausgasen von Dämmstoffen innerhalb der Bauteile könnte ein Durchgang von Rauch und toxischen Gasen in benachbarte Nutzeinheiten nicht ausgeschlossen werden. Diesbezüglich besteht noch Forschungsbedarf.
Zu bemerken ist, dass das Kapselkriterium (Temperaturerhöhung im Mittel ≤ 250 K, siehe Bild 4) gemäß DIN EN 14135 auf der Oberseite der Holzwerkstoffplatte abgeprüft wird, da diese aussteifend wirkt und damit zur Tragkonstruktion zählt. Wenn auch die Holzwerkstoffplatte nicht Bestandteil der Brandschutzbekleidung ist, so schützt sie dennoch die Zellulosedämmung zusätzlich vor einer vorzeitigen Erwärmung und trägt außerdem zum Feuerwiderstand der Gesamtkonstruktion bei. Auch bei Wandaufbauten, die im vorliegenden Fall aus statischen Gründen ohne die Holzwerkstoffplatte auskommen, ist aufgrund der Temperaturen unterhalb 100 °C auf der Rückseite der innen liegenden Gipsfaserplatte nicht von einer Pyrolyse der Zellulosedämmung auszugehen, diese setzt erst bei Temperaturen > 170 °C ein.

6 Ergebnis und Ausblick

Die MBO 2002 schafft in Verbindung mit der M-HFHHolzR neue Einsatzmöglichkeiten für den Holzbau. Die Bedenken der Bauaufsicht und der Feuerwehr gegenüber dieser Bauweise konnten mit Hilfe von theoretischen und experimentellen Grundlagenuntersuchungen weitgehend ausgeräumt werden [18]. Wenn die konstruktiven Anforderungen der M-HFHHolzR erfüllt werden, können die mit der Brandschutzbekleidung eingekapselten Holzkonstruktionen für den Zeitraum der Kapselklasse als gleichwertig zu Mauerwerks- oder Stahlbetonbauteilen betrachtet werden, da sich die Holztragglieder während dieser Zeitspanne nicht am Brand beteiligen.
Sichtbare Holzbauteile sind im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 derzeit nicht zulässig, obwohl die Feuerwehren gerade solchen Holzkonstruktionen gegenüber überwiegend positiv eingestellt sind, vor allem, wenn zumindest die Treppen und Treppenräume in Massivbauart feuerbeständig (F 90-AB) ausgeführt werden [9]. Schwer bekämpfbare Hohlraumbrände sind bei massiven Holzbauteilen praktisch nicht möglich, wohingegen diese Gefahr bei Holzständer- oder Holztafelbauten aufgrund der Hohlräume nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, wenn Konstruktionsmängel vorhanden sind. Neue Forschungsarbeiten zielen darum in die Richtung, die notwendigen Randbedingungen zu erarbeiten, um künftig auch sichtbare flächige Holzkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau zulassen zu können.
In diesem Beitrag wurden Kompensationsmaßnahmen vorgestellt, mit denen ungekapselte massive Holzkonstruktionen im Rahmen von ganzheitlichen Brandschutzkonzepten bereits jetzt genehmigungsfähig geplant werden können. Die damit erzielten Lösungen sind bezüglich des Sicherheitsniveaus mit anderen Bauweisen mindestens vergleichbar.

Literatur

[1] *Kerbl, R.; Peter, M.; Dehne, M.*: Sechsgeschossiges Pflegeheim in Holzbauweise. Bauen mit Holz, Fachzeitschrift für konstruktiven Holzbau und Ausbau, 1 (2005) 34–38

[2] *Dehne, M., Pape, H., Kruse, D., Krolak, M.*: Informationsdienst Holz spezial, Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockungen in Holzbauweise. Dezember 2005

[3] Musterbauordnung (MBO) Fassung 2002; www.is-argebau.de

[4] Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau IRB. www.irbdirekt.de

[5] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR). Fassung 2004; www.is-argebau.de

[6] DIN EN 13501–2, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen (mit Ausnahme von Produkten für Lüftungsanlagen), Deutsche Fassung Dezember 2003

[7] DIN EN 14135, Bestimmung der Brandschutzwirkung, Deutsche Fassung 14135:2004

[8] DIN 4102 Teil 2, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Bauteile: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Fassung September 1977

[9] Dehne, M.; Kruse, D.: Mehrgeschossiger Holzbau – Erhöhte Risiken für die Feuerwehr? Brandschutz Deutsche Feuerwehrzeitung, 6 (2005) 426 – 437

[10] DIN VDE 0833 Teil 2 Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall. Festlegungen für Brandmeldeanlagen (BMA). Deutsche Norm, Ausgabe Juli 1992

[11] DIN 14675 Brandmeldeanlagen, Aufbau und Betrieb. Deutsche Norm, Ausgabe November 2003

[12] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen. Muster-Leitungsanlagenrichtlinie MLAR, Fassung März 2000

[13] Dehne, M.; Kruse, D.; Simon, S.; Kampmeier, B.: Brandschutz – Oberflächen im Blickpunkt. Holzzentralblatt 24 (2004) 316 ff

[14] Hosser, D.; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise. Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Abschlussbericht Juli 2000

[15] ISO 5660 – Fire tests – Reaction to fire, Part 1: Heat release rate from building products (Cone calorimeter method)

[16] DIN 4102 Teil 9, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Kabelabschottungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Fassung Mai 1990

[17] Brandschutzkonzept 2005G103-B1 „Mehrfamilienhaus im Vauban“. Dehne, Kruse & Partner Brandschutzingenieure, Gifhorn August 2005

[18] Hosser, D.; Zehfuß, J.; Dehne, M.: Brandschutz bei Gebäuden mittlerer Höhe in Holzständerbauweise. vfdb-Zeitschrift, 2 (2001) 71–78