

Risikogerechte Brandschutzlösungen für den mehrgeschossigen Holzbau

von

Björn Kampmeier

Heft 206

BRAUNSCHWEIG
ISBN 978-3-89288-189-6
ISSN 1439-3875

2008

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

Eingereicht am	24. Oktober 2008
Disputation am	17. Dezember 2008
Berichterstatter	Prof. Dr.-Ing. D. Hosser Prof. Dr.-Ing. M. H. Kessel Prof. Dr. R. Marutzky

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Information bibliographique de la Deutsche Nationalbibliothek

La Deutsche Nationalbibliothek a répertorié cette publication dans la Deutsche Nationalbibliografie; les données bibliographiques détaillées peuvent être consultées sur Internet à l'adresse <http://dnb.d-nb.de>.

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig. Die Arbeit basiert auf Ergebnissen aus einem FNR-Forschungsprojekt über das Brandverhalten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, das vom BMELV gefördert wurde und einem DGFH-Forschungsprojekt über das Brandverhalten von Massivholzelementen, das vom HAF und dem DIBt gefördert wurde.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser, der mir stets großes Vertrauen während meiner Arbeit entgegenbrachte. Durch seine fachliche Unterstützung und Diskussionsbereitschaft war er mir eine wertvolle Hilfe.

Bei den Herren Prof. Dr. R. Marutzky und Prof. Dr.-Ing. M. H. Kessel bedanke ich mich für die Übernahme der Berichterstattung. Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Budelmann danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Bei allen Mitarbeitern des iBMB und der MPA möchte ich mich für die sehr gute Zusammenarbeit und Unterstützung herzlich bedanken.

Braunschweig, im Dezember 2008

Björn Kampmeier

Kurzfassung

Der Einsatz von Holz ist auf Grund seiner Brennbarkeit bauaufsichtlich beschränkt. Bis vor wenigen Jahren durften daher Gebäude mit einer tragenden Struktur aus Holz nur mit geringer Höhe bis 7 Meter errichtet werden. Gegen eine darüber hinausgehende Anwendung von Holzbauweisen bestanden Bedenken, weil durch einen unbemerkten Brandeintrag in die Konstruktion ein verzögertes Tragwerksversagen oder ein unbemerkter Durchbrand in eine angrenzende Nutzungseinheit ausgelöst werden könnte. Zudem wurde befürchtet, dass die raumabschließenden Bauteile in Leichtbauweise im Gegensatz zu monolithisch gefertigten Massivbauteilen keine ausreichende Rauchdichtigkeit aufweisen.

Erst mit Einführung der Musterbauordnung 2002 und der Muster-Holzbaurichtlinie aus dem Jahr 2004 wurde die Möglichkeit geschaffen, Holz für tragende Elemente bis zu einer Gebäudehöhe von 13 Meter einzusetzen. Allerdings wurde gefordert, dass die hölzernen Tragglieder mit einer nichtbrennbaren Bekleidung geschützt werden, die im Normbrand mindestens 60 Minuten lang eine Entzündung des Holzes verhindert (Klassifizierung K₂60). Zudem ist der Einsatz auf die Holztafelbauweise mit nichtbrennbarer Wärmedämmung beschränkt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst durch Brandversuche in unterschiedlichem Maßstab der Nachweis erbracht, dass es unter Beibehaltung der K₂60 Brandschutzbekleidung und bei Beachtung zusätzlicher konstruktiver Randbedingungen möglich ist, in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 auch Holztafelelemente mit brennbarer Wärmedämmung oder massive flächige Holzbauteile auszuführen, ohne das Sicherheitsniveau zu verringern.

In einem weiteren Arbeitsschwerpunkt wurden auf der Grundlage von Brandversuchen und begleitenden theoretischen Überlegungen Brandschutzkonzepte für Holzbauweisen erarbeitet, bei denen die Brandschutzbekleidung reduziert werden oder ggf. ganz entfallen kann, wenn die damit einhergehende Erhöhung des Brandrisikos im Rahmen von ganzheitlichen, schutzzielorientierten Brandschutzkonzepten durch andere Maßnahmen kompensiert wird.

Um Risikovergleiche zwischen verschiedenen Bauweisen und Brandschutzkonzepten praxisingerecht durchführen zu können, wurde eine in Skandinavien entwickelte semi-quantitative Risikomethode gewählt und für die Bewertung von mehrgeschossigen Wohngebäuden der Gebäudeklasse 4 nach deutschem Baurecht angepasst. Dabei wurde die Bedeutung der für die Brandsicherheit maßgebenden Parameter auf Grundlage einer Expertenbefragung neu gewichtet. Außerdem wurden die Parameter zur Berücksichtigung der Kapselbauweise im Holztafelbau überarbeitet und sog. Kompensationsgruppen zur Erfassung der gemeinsamen Wirkung von Kompensationsmaßnahmen zusätzlich eingeführt.

Die Anwendung der so entstandenen Indexmethode auf die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude der Gebäudeklasse 4 hat ergeben, dass auch die Holztafelbauweise mit brennbarer Wärmedämmung aus nachwachsenden Rohstoffen oder mit reduzierter Brandschutzbekleidung und die Holzmassivbauweise sogar in unbedeckter Ausführung bei entsprechenden Kompensationsmaßnahmen das durch die Brandschutzanforderungen der Musterbauordnung und Muster-Holzbaurichtlinie vorgegebene Sicherheitsniveau in vollem Umfang erreichen.

Abstract

The application of timber in multi-storey buildings is limited by the building code requirements because of its combustibility. Until a few years ago buildings with load bearing timber elements were restricted to a maximum height of 7 meters. The application of timber in higher buildings was not allowed because of the danger of unnoticed glowing combustion inside the construction that could lead to a delayed collapse. Furthermore it was assumed, that timber constructions do not have a sufficient smoke tightness like monolithic constructions made of concrete or brickwork.

With the new edition of the model building code in 2002 and a model guideline for fire protective requirements on multi-storey buildings made of timber in 2004 it is now possible to construct buildings out of timber up to a height of 13 m. The building code demands for these types of houses, that the load bearing timber elements are protected by a non-combustible cladding against ignition over a standard fire exposure of 60 minutes (classification K₂60). Furthermore, combustible insulation materials are not allowed inside the timber frame construction.

Within this work it was shown by fire tests in different scales that combustible insulation materials in timber frame elements as well as solid timber elements can be used if the non-combustible K₂60 cladding is kept and additional constructive requirements are fulfilled. Under these conditions the fire safety level according to the building code requirements will not be reduced.

Another part of the work dealt with the possibility to reduce the non-combustible cladding of the timber elements. Based on fire tests and theoretical studies, different fire safety concepts for timber structures have been elaborated which compensate a decrease of the cladding and the related increase of the fire risk by other preventive measures and therefore avoid a reduction of the presently accepted fire safety level.

A Scandinavian semi-quantitative risk index method was chosen and further developed for the evaluation of multi-storey buildings of building class 4 with timber construction in order to compare the fire risk of different types of construction and different safety concepts. The weights of the parameters defining the fire protection were modified on the base of a Delphi-inquiry of German experts. Additional parameters describing especially the timber construction with a non-combustible cladding, minimal requirement for all parameters and compensation groups to account for the common efficiency of several compensation measures were introduced.

This extended index method was applied to the developed alternative fire safety concepts for multi-storey apartment buildings of building class 4 with timber construction. The comparison of the calculated risk indices confirmed the results of the own fire tests and theoretical studies that the presently accepted safety level as it is given by the standard requirements of the building code and model guideline for multi-storey buildings made of timber will not be reduced.

INHALT

Vorwort	I
Kurzfassung	III
Abstract	V
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Forschungsarbeiten zur Muster-Holzbaurichtlinie	3
2.1 Experimentelle Grundlagenuntersuchungen.....	5
2.2 Umsetzung der Ergebnisse in der Praxis.....	8
2.2.1 Muster-Holzbaurichtlinie.....	9
2.2.2 Prüfung der Brandschutzbekleidung.....	12
3 Brandverhalten von Holztafelelementen mit brennbaren Dämmstoffen	13
3.1 Festlegung der Untersuchungsschwerpunkte.....	14
3.2 Bestimmung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung.....	15
3.2.1 Untersuchungen im Cone-Kalorimeter	15
3.2.2 Überprüfung der Rauchgasentwicklung.....	16
3.3 Normbrandversuche mit kleinformatischen Bauteilen.....	18
3.3.1 Versuchsaufbau	18
3.3.2 Bestätigung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung	18
3.3.3 Einfluss von Fugen in der Brandschutzbekleidung	19
3.3.4 Thermischer Schutz durch Holzwerkstoffplatten.....	20
3.3.5 Einfluss metallischer Verbindungsmittel	21
3.4 Belegversuch im mittleren Maßstab	21
3.5 Konstruktionsregeln.....	23
3.5.1 Brandschutzbekleidung	24
3.5.2 Fugen in der unteren Lage der Brandschutzbekleidung	24
3.5.3 Holzwerkstoffplatten als Teil der Brandschutzbekleidung	24
3.5.4 Schrauben, Klammern, Nägel in der Brandschutzbekleidung.....	24
3.5.5 Elektroinstallationen außerhalb der Bauteile	24
4 Brandverhalten massiver flächiger Holzbauteile	25
4.1 Festlegung der Untersuchungsschwerpunkte.....	26
4.2 Orientierende Brandversuche mit kleinformatischen Bauteilen	26
4.3 Normbrandversuche im mittleren Maßstab	29

4.4	Belegversuch im Realmaßstab.....	32
4.4.1	Temperaturentwicklung in den Bauteilen.....	33
4.4.2	Ermittlung der Abbrandtiefe.....	35
4.4.3	Untersuchung der Elementfugen.....	35
4.4.4	Untersuchung der Bauteilfugen.....	38
4.5	Entwicklung der Konstruktionsanforderungen.....	41
4.5.1	Brandverhalten der Fugen.....	41
4.5.2	Löschverhalten.....	42
4.5.3	Installationsführung.....	42
4.5.4	Massivholzelemente mit planmäßigen Hohlräumen.....	43
5	Qualitative Bewertung des Brandverhaltens.....	44
5.1	Holzbauteile mit einer K ₂ 60-Brandschutzbekleidung.....	44
5.1.1	Holztafelbau mit nichtbrennbarer Wärmedämmung.....	44
5.1.2	Holztafelbau mit brennbarer Wärmedämmung.....	44
5.1.3	Holzmassivbauweise.....	45
5.2	Holzbauteile mit einer K ₂ 30-Brandschutzbekleidung.....	45
5.2.1	Holztafelbau mit nichtbrennbarer Wärmedämmung.....	45
5.2.2	Holztafelbau mit brennbarer Dämmung.....	46
5.2.3	Holzmassivbauweise.....	47
5.3	Unbekleidete Holzmassivbauweise.....	47
5.4	Zusammenfassung der Brandschutzkonzepte.....	50
5.5	Besondere Anforderungen.....	51
5.5.1	Anforderungen an Brandwände und Treppenraumwände.....	51
5.5.2	Anforderungen an notwendige Flure.....	52
6	Beurteilung des Brandrisikos.....	53
6.1	Qualitative Risikoanalysen.....	53
6.2	Semi-quantitative Risikoanalysen.....	53
6.3	Quantitative Risikoanalysen.....	55
6.4	Bewertung der Risikomethoden.....	56
6.5	Vorstellung der FRIM-MAB.....	57
6.5.1	Struktur der FRIM-MAB.....	57
6.5.2	Gewichtung der Parameter.....	58
6.5.3	Evaluierung der FRIM-MAB.....	59
6.5.4	Anwendungsgrenzen.....	61

7 Weiterentwicklung der FRIM-MAB	62
7.1 Überprüfung der Gewichtungen.....	62
7.1.1 Grundlagen einer Delphi-Befragung.....	62
7.1.2 Durchführung der Delphi-Befragung.....	63
7.1.3 Auswertung der Delphi-Befragung.....	64
7.2 Anpassung der Parameter.....	68
7.2.1 P1 = Oberflächen in Nutzungseinheiten (linings in apartments).....	70
7.2.2 P2 = Brandbekämpfungseinrichtungen (suppression system)	72
7.2.3 P3 = Feuerwehr (fire service)	72
7.2.4 P4 = Größe der Nutzungseinheiten (compartmentation).....	74
7.2.5 P5 = Trennwände (structure-separating)	75
7.2.6 P6 = Türen (doors).....	80
7.2.7 P7 = Fenster (windows).....	82
7.2.8 P8 = Fassade (facades)	82
7.2.9 P9 = Dachraum (attic)	84
7.2.10 P10 = angrenzende Gebäude (adjacent buildings).....	85
7.2.11 P11 = Entrauchung (smoke control system)	86
7.2.12 P12 = Branderkennung (detection system).....	87
7.2.13 P13 = Brandmeldung (signal system).....	88
7.2.14 P14 = Rettungswege (escape routes)	89
7.2.15 P15 = Tragfähigkeit (structure – load bearing).....	90
7.2.16 P16 = Wartung und Schulung (maintenance and information).....	93
7.2.17 P17 = Be- und Entlüftung (ventilation system).....	94
7.3 Arbeitsanweisung zur Benutzung der FRIM-MAB-D	96
8 Durchführung der semi-quantitativen Risikoanalyse	97
9 Zusammenfassung und Ausblick.....	102
9.1 Zusammenfassung.....	102
9.2 Ausblick.....	103
Literatur.....	105
Normen und Richtlinien	108
Anhang.....	109

1 Einleitung und Zielsetzung

Der traditionelle Baustoff Holz hat aus brandschutztechnischer Sicht einen entscheidenden Nachteil gegenüber den konkurrierenden Materialien wie Stahl, Beton oder Mauerwerk: Er ist brennbar. Auf Grund seiner Brennbarkeit ist der Einsatz von Holz bauaufsichtlich beschränkt. Begründet werden die Einschränkungen mit den verheerenden Brandschäden im 2. Weltkrieg und schlechten Erfahrungen bei Bränden von oft behelfsmäßig errichteten Holzbauten in der Nachkriegszeit. Mit der Weiterentwicklung der Holzbauweisen und der industriellen Vorfertigung, insbesondere unter Verwendung nichtbrennbarer Bekleidungen aus Gipsbauplatten, konnte der Anwendungsbereich in Deutschland auf Gebäude geringer Höhe (bis 7 m) ausgedehnt werden.

Gegen eine darüber hinausgehende Anwendung von Holzbauweisen bestanden jedoch Bedenken, dass durch einen unkontrollierten Brandeintrag in die Tragkonstruktion ein verzögertes Tragwerksversagen bzw. ein unbemerkter Durchbrand in angrenzende Nutzungseinheiten ausgelöst werden könnte. Zudem wurde befürchtet, dass anders als bei monolithisch gefertigten Massivbauteilen die raumabschließenden Bauteile in Leichtbauweise keine ausreichende Rauchdichtigkeit aufweisen könnten [1].

Erst durch die Novellierung der Musterbauordnung (MBO) im Jahr 2002 [35] und die Einführung der „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise“ (M-HFHHolzR), kurz Muster-Holzbaurichtlinie [36], ist es möglich, Gebäude bis zu 13 m Höhe (Gebäudeklasse 4) in Holzbauweise zu errichten. Die Muster-Holzbaurichtlinie bezieht sich dabei im Wesentlichen auf die stabförmigen Holzbauweisen wie den Holztafelbau, Holzrahmenbau und die Fachwerkbauweise. Neben der Anordnung einer nichtbrennbaren Bekleidung ist ebenfalls die Verwendung nichtbrennbarer Dämmstoffe vorgeschrieben. Die Anwendung einer Brettstapeldecke stellt eine Ausnahme dar.

Eine Voraussetzung für die Erweiterung der Holzbauweise auf die neugeschaffene Gebäudeklasse 4 war der Nachweis, dass sich die Holzbauteile im Brandfall nicht schlechter verhalten als nichtbrennbare Massivbauteile aus Mauerwerk oder Beton. Als sicherzustellendes Schutzziel wurde definiert, dass sich die Holztragkonstruktion während einer Branddauer von 60 Minuten nicht am Brandgeschehen beteiligen darf. Auf diese Weise werden die thermische Umsetzung der zusätzlichen immobilen Brandlast der Konstruktion ausgeschlossen, von der Feuerwehr schwer zu bekämpfende Hohlraumbrände im Innern der Holzbauteile vermieden und ein verzögertes Tragwerksversagen sowie ein unbemerkter Durchbrand in benachbarte Nutzungseinheiten verhindert.

Zur Gewährleistung dieses Schutzzieles wurde als Leistungskriterium bei entsprechenden Brandversuchen festgelegt, dass die Holzentzündungstemperatur von 270 °C während der geforderten Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten nicht überschritten werden darf. Dies kann durch die Anordnung einer mindestens zweilagigen Brandschutzbekleidung sichergestellt werden. Damit war erstmals die Möglichkeit gegeben, Gebäude in Holzbauweise mit bis zu fünf statt wie zuvor drei Vollgeschossen zu errichten. Die Forschungsarbeiten des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, die zur Erstellung dieser Richtlinie geführt haben, sind in Kapitel 2 wiedergegeben [2].

Die Muster-Holzbaurichtlinie hat sich seit ihrer Einführung im Jahr 2004 in der Praxis vielfach bewährt. Auf Grundlage der Richtlinie sind zahlreiche Gebäude der Gebäudeklasse 4

errichtet worden. Anhand einer Analyse ausgewählter Beispiele ist allerdings auch festzustellen, dass es dabei aus verschiedenen Gründen zu Abweichungen von der Muster-Holzbaurichtlinie kam. In den meisten Fällen bestand die Abweichung in einer Reduzierung der Brandschutzbekleidung. Gründe hierfür waren zum einen wirtschaftliche Überlegungen und zum anderen der Wunsch nach schlankeren Konstruktionen. Die Holzmassivbauweise bietet Vorteile im Bereich des Schallschutzes und des Lastabtrages und wird daher zunehmend im mehrgeschossigen Holzbau verlangt. Des Weiteren wurde der Wunsch nach der Verwendung ökologischer Dämmstoffe geäußert, die jedoch brennbar und daher nicht zugelassen sind. Nicht zuletzt erwarten Bewohner eines Holzhauses, dass die ökologische Bauweise auch von außen erkennbar sein soll. Insbesondere bei der Verwendung massiver, flächiger Holzbauteile besteht der Wunsch nach sichtbaren Holzoberflächen, was den Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie hinsichtlich einer nichtbrennbaren Bekleidung grundlegend widerspricht [3].

Im Rahmen dieser Arbeit werden anhand eigener experimenteller und theoretischer Untersuchungen Konzepte und Nachweismethoden entwickelt, die entsprechende Abweichungen von Anforderungen der derzeit gültigen Muster-Holzbaurichtlinie ermöglichen, ohne das brandschutztechnische Sicherheitsniveau der MBO in Verbindung mit der Muster-Holzbaurichtlinie zu unterschreiten. Auf der Grundlage eigener Brandversuche werden Konstruktionsvarianten unter Verwendung von brennbaren Dämmstoffen oder Massivholzelementen für Wohngebäude der Gebäudeklasse 4 entwickelt. In den Kapiteln 3 und 4 werden die wesentlichen Ergebnisse der umfangreichen Brandversuche auszugsweise dargestellt. Die Funktionsfähigkeit der neu entwickelten Konstruktionsvarianten wird abschließend in zwei Belegversuchen im Realmaßstab nachgewiesen. Ziel der brandschutztechnischen Untersuchungen ist es, die Gleichwertigkeit mit der Holztafelbauweise der Muster-Holzbaurichtlinie zu belegen.

Anschließend erfolgt in Kapitel 5 eine qualitative Risikoanalyse der entwickelten Konstruktionsvarianten. Dabei werden ebenfalls Möglichkeiten zur Reduzierung der Anforderungen an die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung untersucht. Das durch den reduzierten Entzündungsschutz bedingte erhöhte Brandrisiko muss durch geeignete Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden. Im Rahmen von Brandschutzkonzepten ist darzustellen, dass mit den Kompensationsmaßnahmen das Schutzziel erreicht wird. Ein zahlenmäßiger Eignungsnachweis erfolgt durch eine vergleichende Risikoanalyse der entwickelten Bauteilaufbauten im Zusammenwirken mit Kompensationsmaßnahmen und der Holztafelbauweise gemäß Muster-Holzbaurichtlinie. Für diesen Risikovergleich wird die in Kapitel 6 vorgestellte Indexmethode weiterentwickelt, die bereits bei der Bewertung des Brandschutzes in historisch wertvollen Gebäuden erfolgreich eingesetzt wurde.

Diese Risikomethode wird in Kapitel 7 um sogenannte Kompensationsgruppen ergänzt, die eine weitestgehend objektive, risikogerechte Beurteilung von Kompensationsmaßnahmen innerhalb von Brandschutzkonzepten ermöglichen. Anhand der Indexmethode wird in Kapitel 8 abschließend gezeigt, dass bei Einhaltung der Konstruktionsvorgaben und Anordnung der bei einer Reduzierung der Brandschutzbekleidung erforderlichen Kompensationsmaßnahmen das allgemein akzeptierte brandschutztechnische Sicherheitsniveau beibehalten wird.

Die Ergebnisse der Arbeit werden in Kapitel 9 zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf aktuell laufende Forschungsprojekte sowie weiteren Forschungsbedarf im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 gegeben.

2 Forschungsarbeiten zur Muster-Holzbaurichtlinie

Vor der Novellierung der MBO im Jahr 2002 wurden Bauwerke nach ihrer Höhe in Gebäude geringer Höhe und Gebäude mittlerer Höhe eingeteilt. Gebäude geringer Höhe waren durch eine Fußbodenhöhe des obersten Geschosses von maximal 7 m gekennzeichnet. Die meisten tragenden oder raumabschließenden Bauteile dieser Gebäude mussten feuerhemmend ausgeführt werden. Gebäude geringer Höhe durften somit bei einer Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten ohne weitere Vorgaben in Holz hergestellt werden. Daran hat sich auch mit Einführung der MBO (2002) nichts geändert. An die Bauteile der Gebäude mittlerer Höhe (7 m bis 22 m) wurde für tragende und raumabschließende Bauteile die Anforderung feuerbeständig gestellt. Dies besagt, dass die Bauteile die Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F 90 erfüllen und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen müssen. Unter wesentlich werden die tragenden oder aussteifenden Teile verstanden. Gebäude mittlerer Höhe blieben damit den nichtbrennbaren Baustoffen wie Stahl oder Beton vorbehalten.

Mit Novellierung der MBO wurden Gebäude mittlerer Höhe bei 13 m zusätzlich unterteilt. Es war aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu vertreten, dass an 7 m hohe Gebäude die selben brandschutztechnischen Anforderungen gestellt werden wie an 22 m hohe Gebäude, obwohl das Brandrisiko als deutlich geringer einzustufen ist. Neben der Gebäudehöhe wird das Brandrisiko ebenfalls durch die Größe der Nutzungseinheiten beeinflusst. Für Gebäude in Zellenbauweise, die ein deutlich geringeres Brandausbreitungsrisiko aufweisen als Brandabschnitte ohne weitere Unterteilung, sind ebenfalls geringere Brandschutzanforderungen vertretbar. Neben der Gebäudehöhe von 13 m sind Gebäude der Gebäudeklasse 4 auch durch Nutzungseinheiten von weniger als 400 m² definiert.

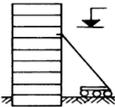
Gebäudeklassen nach MBO 2002				
1	2	3	4	5
Freisteh. Gebäude OKF \leq 7m; \leq 2 NE oder: landw. Gebäude	OKF \leq 7 m		7m < OKF \leq 13m NE < 400m ²	OKF > 13m (außer Sonderbauten)
	\leq 2 NE	\geq 3 NE		
				

Bild 1: Gebäudeklasseneinteilung entsprechend der Muster-Bauordnung 2002

Für diese neu geschaffene Gebäudeklasse wurden die Bauteilanforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer folgerichtig von 90 Minuten (feuerbeständig) auf 60 Minuten (hochfeuerhemmend) reduziert. Um Gebäude der Gebäudeklasse 4 in Holz ausführen zu können, muss allerdings der Nachweis erbracht werden, dass sich das Brandrisiko gegenüber der nichtbrennbaren Massivbauweise nicht erhöht.

Im Rahmen eines vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) geförderten Forschungsvorhabens wurden Mitte der 1990er Jahre in einem ersten Schritt theoretische Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holztafelbauweise durchgeführt [4], [5], [6], [7], [8].

Diese Untersuchungen beinhalteten, neben der Auswertung von Brandversuchen mit Holzbauteilen aus dem In- und Ausland unter neuen Fragestellungen und neben eines Vergleichs der zusätzlichen Brandlast aus der Konstruktion bei verschiedenen Holzbauweisen, insbesondere die Festlegung von speziellen Schutzziele, die im mehrgeschossigen Holzbau mit mehr als drei Vollgeschossen zu erfüllen sind.

Die wesentlichen zusätzlichen Risiken aus brandschutztechnischer Sicht beim Holztafelbau im Vergleich zum nichtbrennbaren Massivbau sind:

- zusätzlicher Eintrag von Brandlasten,
- erhöhtes Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisiko durch brennbare Oberflächen,
- erhöhtes Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisiko durch Verlegung von Elektroinstallationen innerhalb brennbarer Baustoffe,
- schwer zu bekämpfender Brand in der Hohlraumkonstruktion und
- fehlende Rauchdichtigkeit der raumabschließenden Bauteile [4].

Zusätzlicher Eintrag von Brandlasten

Zusätzliche Brandlasten können zu erhöhten Wärmefreisetzungsraten führen bzw. bei unterventilierten Bränden die Branddauer verlängern. Beide Effekte erhöhen aus brandschutztechnischer Sicht das Risikopotenzial eines Gebäudes. Der zusätzliche Eintrag von Brandlasten ist allerdings nur dann kritisch zu bewerten, wenn diese im Brandfall auch thermisch umgesetzt werden. Sind die Brandlasten der Konstruktion über die geforderte Feuerwiderstandsdauer vor einer Entzündung geschützt, gefährden sie nicht das Erreichen des Schutzziele. In diesem Fall ist das Risikopotenzial einer brennbaren Tragkonstruktionen mit einer nichtbrennbaren vergleichbar. Zur Kompensation des erhöhten Brandrisikos durch zusätzliche Brandlasten ist es also erforderlich, die hölzerne Tragkonstruktion über die geforderte Feuerwiderstandsdauer vor der Entzündung zu schützen.

Erhöhtes Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisiko durch brennbare Oberflächen

Ein kleiner Brandherd, wie ein brennender Papierkorb oder ein defekter Fernseher, kann sich umso schneller zu einem Vollbrand entwickeln, je leichter eine neue Brandlast hinzugeführt wird. So breitet sich ein Feuer bei brennbaren Oberflächen deutlich schneller als bei nichtbrennbaren Oberflächen aus. Der schnellen Brandausbreitung kann durch eine vollflächige, nichtbrennbare Bekleidung der Holzkonstruktion begegnet werden. Bei einer Betrachtung der üblichen Konstruktionen des Holztafelbaus ist festzustellen, dass dies bereits Stand der Technik ist und die Forderung daher problemlos erfüllt werden kann.

Erhöhtes Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisiko durch Verlegung von Elektroinstallationen innerhalb brennbarer Baustoffe

Werden Elektroinstallationen innerhalb einer Holztafel verlegt, haben sie direkten Kontakt zu brennbaren Baustoffen. Ein Kurzschluss kann sich unmittelbar zu einem Brand entwickeln, ohne frühzeitig bemerkt zu werden. Eine derartige Konstruktion bedeutet somit ein erhöhtes Risiko im Vergleich zur nichtbrennbaren Bauweise. Dem erhöhten Risiko kann dadurch begegnet werden, dass die Elektroinstallationen ohne Kontakt zur Holzkonstruktion entweder sichtbar auf einer nichtbrennbaren Bekleidung oder innerhalb einer Vorwand-Installationsebene verlegt werden.

Schwer zu bekämpfender Brand in der Hohlraumkonstruktion

Das größte Brandrisiko besteht durch die Hohlräume des Holztafelbaus. Ist ein Brand in einen Hohlraum eingedrungen, kann er sich unbemerkt von der Feuerwehr dort ausbreiten und es können keine wirksamen Löscharbeiten durchgeführt werden. Auch nach dem Löschangriff können Glutnester über längere Zeit bestehen bleiben und nach dem Abrücken der Feuerwehr zu Rückzündungen und letztendlich zu einem verzögerten Tragwerksversagen oder zu einem Durchbrand in angrenzende Nutzungseinheiten führen.

Bezüglich dieses Gefahrenpotenzials können Bauteile des Holztafelbaus nur mit Massivbauteilen gleichgesetzt werden, wenn über die gesamte Feuerwiderstandsdauer ein Hohlraumbrand ausgeschlossen werden kann. Daher muss die tragende Holzkonstruktion über 60 Minuten vor einer Entzündung geschützt werden.

Fehlende Raumdichtigkeit raumabschließender Bauteile

Des Weiteren musste für raumabschließende Bauteile des Holztafelbaus der Nachweis der Raumdichtigkeit geführt werden. Durch mehrere Brandversuche wurde nachgewiesen, dass mit geeigneten konstruktiven Maßnahmen der Rauchdurchgang minimiert werden kann. Entscheidenden Einfluss auf die Rauchweiterleitung hat dabei die Ausbildung der Fugen. Wenn diese bei einer mehrlagigen Bekleidung versetzt angeordnet werden, tritt sicht-trübender Rauch auf der feuerabgewandten Seite nicht auf.

Unter Berücksichtigung aller Aspekte hat sich die sogenannte „brandschutztechnisch wirksame Bekleidung“ als die entscheidende bauliche Kompensationsmaßnahme herausgestellt. Aufgabe dieser Bekleidung ist es, einen Entzündungsschutz der Holzbauteile unter Vollbrandbedingungen über die geforderten 60 Minuten Feuerwiderstandsdauer zu gewährleisten. Durch ihren 2-lagigen Aufbau wird ebenfalls die Raumdichtigkeit der raumabschließenden Bauteile sichergestellt.

2.1 Experimentelle Grundlagenuntersuchungen

Durch experimentelle Grundlagenuntersuchungen in Form von Laborbrandversuchen und Großbrandversuchen mit einer Brandbeanspruchung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) war der Nachweis zu erbringen, dass die neu entwickelten Konstruktionsvarianten die hohen Anforderungen des Entzündungsschutzes und der Raumdichtigkeit während der erforderlichen Zeiträume erfüllen [5], [6], [7], [8]. Dazu mussten mangels entsprechender Normen für die Überprüfung der aufgestellten Leistungskriterien zum Teil neue Untersuchungsmethoden entwickelt werden.

Zur Untersuchung des Brandverhaltens von Fichtenholz praxisüblicher Abmessungen und insbesondere zur Ermittlung der Entzündungstemperatur von praxisüblichen Holztraggliedern wurden Versuche im Labormaßstab mit dem Cone-Kalorimeter nach ISO 5660 durchgeführt [40]. Es handelt sich dabei um einen kegelförmigen, elektrisch beheizten Strahler (engl. Cone-Heater), der in der Ebene einer maximal 100 cm² großen Materialoberfläche eine homogene Wärmestromdichte erzeugt, durch die der zu untersuchende Probekörper erwärmt wird. Die Wärmestromdichte kann im Bereich von 0 bis 100 kW/m² (maximale Strahlertemperatur: 1000 °C) eingestellt werden. Die Versuche ergaben, dass die Entzündungstemperatur von Fichtenholz in praxisüblichen Maßen und Beschaffenheiten unter Berücksichtigung von zufällig streuenden Materialeigenschaften und Einbaubedingungen mindestens 300 °C beträgt.



Bild 2: Versuchsaufbau im Cone-Kalorimeter [5]

Auf Grundlage der Cone-Kalorimeter-Untersuchungen wurde als Leistungskriterium für Bekleidungen von raumabschließenden, tragenden und/oder aussteifenden Wand- und Deckenbauteilen in Holzbauten der Gebäudeklasse 4 vorgegeben, dass die Entzündungstemperatur von 300 °C an der Holzoberfläche während der gesamten Brandbeanspruchungsdauer einschließlich der Abkühlphase nicht erreicht oder überschritten werden darf. Um dies auch für die Abkühlphase der Normbrandversuche gewährleisten zu können, die je nach Ofen unterschiedlich verläuft, wurde der zulässige Grenzwert auf 270 °C herabgesetzt, mit der Erleichterung, dass die Abkühlphase in der Prüfung nicht mehr berücksichtigt werden muss [5], [8].

Die Einhaltung dieses Leistungskriteriums wurde im nächsten Schritt unter Normbrandbedingungen im Rahmen von Ofenbrandversuchen nach DIN 4102-2 an praxisgerecht hergestellten Wand- und Deckenbauteilen überprüft.

Um die Rauchdichtigkeit verschiedener Konstruktionen für mehrgeschossige Holzbauwerke zu beurteilen, wurde bei den Brandversuchen an Bauwerksausschnitten – „Eckausbildung Wand/Wand“ und „Eckausbildung Wand/Decke“ – jeweils im Fugenbereich der zusammengesetzten Elemente der Rauchdurchtritt gemessen. Bei einem der Versuche wurde zusätzlich der Rauchdurchtritt durch die Deckenkonstruktion mit Hilfe einer Messkammer festgestellt [2], [7], [8]. Die wesentlichen Elemente dieser Messeinrichtungen sind der Rauchauffangkasten und die dahinter angeordnete Messstrecke zur Rauchdichtebestimmung (vgl. Bild 3).

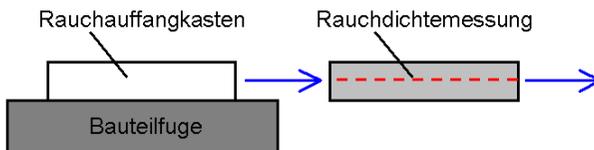


Bild 3: Prinzip der Rauchdichtemessung

Während des Versuchs wurde der Rauchauffangkasten von einem konstanten Luftstrom durchflossen. Am Ende des Rauchauffangkastens wurde der Luftstrom zur eigentlichen Messstrecke geleitet, in der die Rauchgasdichte aus der Schwächung eines Lichtstrahls ermittelt wurde. Die Messstrecke hatte eine Länge von 69,5 cm. Als Messsignal wurden die Lichttransmissionswerte angezeigt. Bei einem Lichttransmissionswert von 1,0 liegt keine Lichtschwächung vor, bei einem Wert von null erreicht das Licht nicht den Empfänger. Aus den Lichttransmissionswerten wird die Leckrate der Fuge bestimmt:

$$\dot{S}_{\text{Fuge}} = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \cdot \dot{V}}{L \cdot d}$$

mit:

$$\dot{S}_{\text{Fuge}} : \text{Leckrate} \left[\frac{\text{cm}^2}{(\text{min} \cdot \text{m})} \right]$$

$\frac{I_0}{I}$: Verhältnis von ungetrübtem zu getrübtem Licht [-]

L: Lichtmessstrecke [cm]

\dot{V} : Strömungsgeschwindigkeit $\left[\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right]$

d: berücksichtigte Fugenlänge [m]

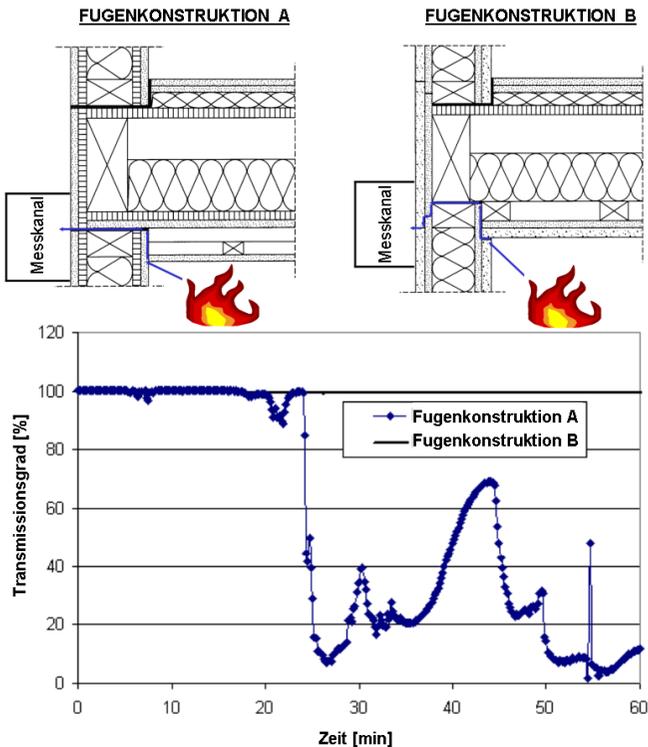


Bild 4: Transmissionsgrad bei unterschiedlichen Fugenausbildungen [1]

Bild 4 zeigt anhand des zeitlichen Verlaufes des Transmissionsgrades, wie stark sich unterschiedliche Fugenausbildungen bezüglich ihres Rauchdurchgangsverhaltens unterscheiden. Bei der Fugenkonstruktion A nahm ab etwa der 20. Versuchsminute der Rauchdurchgang deutlich zu, was sich anhand des abfallenden Transmissionsgrades im Diagramm nachvollziehen lässt. Hier wurde die vom Fertigungsaufwand her einfachste Konstruktion mit einer durchgehenden horizontalen Fuge verwendet. Ganz anders verhält sich die Fugenkonstruktion B, bei der neben einer verbesserten brandschutztechnischen Bekleidung auch die Ausbildung der Fuge optimiert wurde. Das Deckenbauteil wurde zudem zugfest über Schrauben mit dem Wandbauteil verbunden. Die Bekleidung im Anschlussbereich wurde zwischen Wand und Decke so montiert, dass die Fugen versetzt angeordnet waren. Fertigungstechnisch ist diese Konstruktion etwas aufwendiger, zur Verringerung des Rauchdurchtritts aber umso vorteilhafter. Während der Versuchsdauer konnte im Messkanal an der Fuge mit dem Rauchdichtemessgerät keine Lichtschwächung gemessen werden. Der Transmissionsgrad blieb annähernd konstant bei 100%. Auch der Durchgang von Brandgasen (CO, CO₂) fiel bei dieser Fugenausbildung äußerst gering aus [7], [8].

Als weiteres wichtiges Ergebnis der Brandversuche konnte festgestellt werden, dass eine Entzündung der Holztragkonstruktion bei ausreichender Dimensionierung der Brandschutzbekleidung (z. B. 2 x 18 mm Gipskarton-Feuerschutzplatte) verhindert werden kann. Bild 5 zeigt den Zustand der Holzträger nach einem Brandversuch. Die Holztragglieder waren hier durch eine zweilagige Bekleidung auf Gipsbasis geschützt. Die Holzträger waren nach einer Brandbeanspruchungsdauer von 60 Minuten entsprechend der ETK durchweg noch völlig unversehrt und hätten theoretisch wieder verwendet werden können [8].



Bild 5: Zustand der Holzträger nach einem Brandversuch [8]

2.2 Umsetzung der Ergebnisse in der Praxis

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens ermöglichten es, mit dem mehrgeschossigen Bauen in der Gebäudeklasse 4 und Gebäudeaufstockungen in dieser Höhe ein völlig neues Marktsegment für Gebäude mit mehr als 3 Geschossen zu erschließen.

Die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens flossen in den Entwurf einer „Muster-Holzbaurichtlinie“ ein, der von der Projektgruppe Brandschutz der Fachkommission

Bauaufsicht weiter bearbeitet wurde. Darin wurden Anforderungen an die Holzbauteile formuliert, die direkt vom realen Brand- und Rauchdurchgangsverhalten abgeleitet wurden [2], [36].

Die Grundidee dieser „Muster-Holzbaurichtlinie“ besteht darin, neben den im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgreich geprüften Konstruktionen die Vielfalt der Konstruktionsvarianten der Holztafel- und Holzrahmenbauweise zu erhalten. Deshalb wurden ausschließlich die konstruktiven Mindestanforderungen vorgeschrieben, die für die Einhaltung der brandschutztechnischen Leistungskriterien hinsichtlich des Entzündungsschutzes und der Rauchdichtigkeit notwendig sind.

Die Klassifizierung einer solchen Brandschutzbekleidung erfolgt nach DIN EN 13501-2, während die Prüfung nach DIN EN 14135 durchzuführen ist. Eine detaillierte Beschreibung zur Klassifizierung ist in Kapitel 2.2.2 enthalten.

2.2.1 Muster-Holzbaurichtlinie

Die „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise“ (M-HFHolzR), kurz „Muster-Holzbaurichtlinie“ [36] gilt für Gebäude der Gebäudeklasse 4, deren tragende und aussteifende Teile aus Holz oder Holzwerkstoffen bestehen. Die Richtlinie enthält eine Reihe konstruktiver Mindestanforderungen, bei deren Erfüllung insbesondere eine Entzündung der tragenden und aussteifenden Holzkonstruktionen und die damit verbundene Gefahr eines verzögerten Tragfähigkeitsverlustes ausgeschlossen werden können. Zudem sollen eine Übertragung von Feuer und Rauch in die Wand- und Deckenbauteile über Installationen und Einbauten sowie eine Brandweiterleitung innerhalb dieser Bauteile verhindert werden. Der Weiterleitung von Feuer und Rauch über Anschlussfugen von raumabschließenden Bauteilen in angrenzende Nutzungseinheiten oder Räume ist ebenfalls vorzubeugen.

Die in der Richtlinie enthaltenen Anforderungen beziehen sich auf die folgenden Bereiche:

- Baustoffe,
- Brandschutzbekleidung,
- Bauteil Ausbildung,
- Bauteilanschlüsse,
- Öffnungen in den Bauteilen,
- Installationsführung.

Baustoffe

Das verwendete Holz muss mindestens die Anforderungen der Sortierklasse S10 erfüllen und im Einbauzustand eine Feuchte von maximal 15 % aufweisen.

Die Dämmstoffe zwischen den Holzständern müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen und einen Schmelzpunkt $> 1000\text{ °C}$ aufweisen. Normalentflammbare Folien für die Bauteilabdichtung sind zulässig.

Brandschutzbekleidung

Die Brandschutzbekleidung muss allseitig und durchgängig aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Sie hat die Aufgabe, die Holzbauteile während eines Vollbrandes von 60 Minuten Dauer vor der Entzündung zu schützen. Die Fugen der Brandschutzbekleidung sind mit einem Fugenversatz, Stufenfalz oder einer Nut- und Federverbindung auszuführen. Es dürfen keine durchgehenden Fugen entstehen, die ein frühzeitiges Eindringen von Heißgasen in das Bauteil ermöglichen (Bild 6).

Bauteilausbildung

Tragende und aussteifende Wände und Decken sowie Träger und Stützen müssen mit einer allseitigen brandschutztechnischen Bekleidung hergestellt werden. Bei Deckenbauteilen kann der Entzündungsschutz auf der Oberseite auch durch den Fußbodenaufbau sichergestellt werden. Die Bauteile müssen eine hohlraumfüllende Dämmung (nichtbrennbar, Schmelzpunkt > 1000 °C) aufweisen.

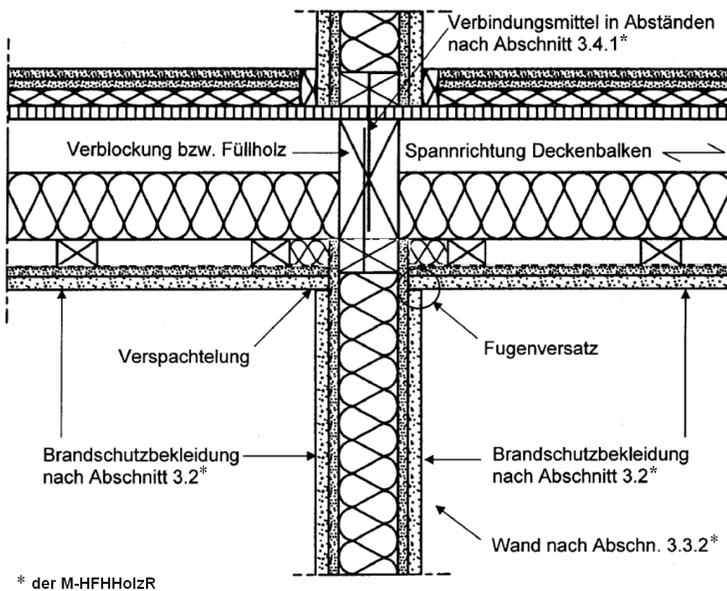


Bild 6: Beispiel zur Ausbildung der Brandschutzbekleidung [36]

Bauteilanschlüsse

Beim Anschluss von Wänden untereinander als auch an Decken muss eine kraftschlüssige Verbindung sichergestellt werden, um einen Rauchdurchgang durch die Bauteilfuge zu minimieren. Auch im Anschlussbereich ist die Brandschutzbekleidung durch Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen derart auszubilden, dass keine durchgängigen Fugen entstehen. Alternativ kann ein mindestens 20 mm dicker Dämmstoffstreifen komprimiert eingebaut werden.

Öffnungen in den Bauteilen

Öffnungen für Einbauten sowie Fenster und Türen in hochfeuerhemmenden Bauteilen können einen Schwachpunkt darstellen. Daher ist grundsätzlich eine Brandschutzbekleidung in den Öffnungslaibungen anzuordnen, die mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindung auszuführen ist (Bild 7). Werden an den Verschluss der Öffnung brandschutztechnische Anforderungen gestellt, muss der bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweis den Einbau in hochfeuerhemmende Holzbauteile beinhalten.

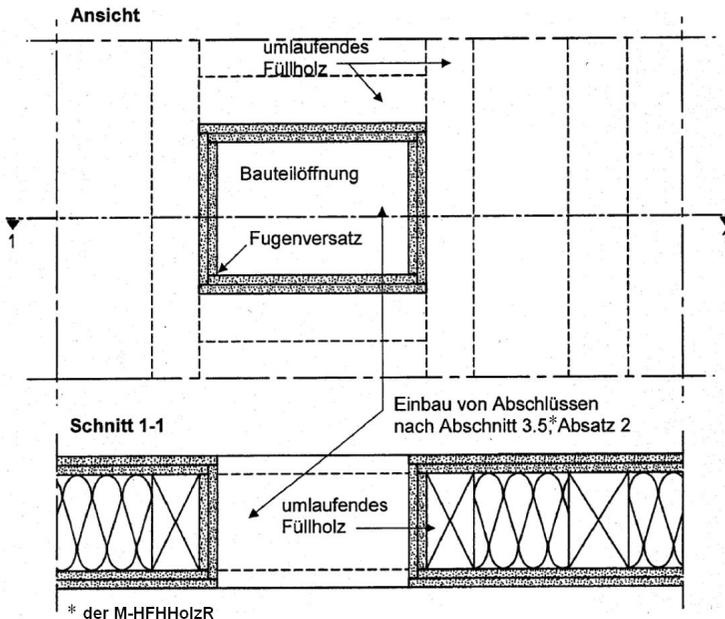


Bild 7: Führung der Brandschutzbekleidung in Öffnungslaibungen [36]

Installationen

Installationen dürfen nicht in hochfeuerhemmenden Holzbauteilen geführt werden, sondern müssen abgetrennt vor den Wänden bzw. unterhalb der Decken oder in Schächten oder Kanälen verlegt werden. Öffnungen für die Durchführung der Installationen müssen gemäß den oben beschriebenen Öffnungen ausgeführt werden. Eine Ausnahme hiervon bilden einzelne elektrische Leitungen oder Hüllrohre mit bis zu drei Leitungen, die innerhalb der Bauteile geführt werden dürfen. Beim Einbau von Elektroinstallationsdosen für Steckdosen, Schaltern und Verteilern ist auf die Einhaltung eines Mindestabstandes zum nächsten Holzständer zu achten. Gegenüberliegende Dosen sind gefachversetzt einzubauen.

2.2.2 Prüfung der Brandschutzbekleidung

Die Brandschutzbekleidung muss allseitig und durchgängig aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Sie hat die Aufgabe, die Holzbauteile während eines Zeitraums von 60 Minuten vor der Entzündung zu schützen. Die Klassifizierung (K₂60) der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung erfolgt bei erfolgreicher Prüfung nach der DIN EN 13501-2 [37]. Hinsichtlich ihrer Leistungskriterien werden die Brandschutzbekleidungen in K₁ und K₂ unterschieden. Während bei Brandschutzbekleidungen mit der Bezeichnung K₂ neben der Temperaturbegrenzung das dahinter angeordnete Material nicht Verkohlen oder Verbrennen darf, ist bei Brandschutzbekleidungen mit der Bezeichnung K₁ zusätzlich das Schmelzen und Schrumpfen des dahinter angeordneten Materials zu verhindern. Die Klasseneinteilung für die Brandschutzwirkung erfolgt entsprechend der Schutzdauer in K₁10 oder K₂60, K₂30 und K₂10.

Geprüft wird das Kapselkriterium K nach DIN EN 14135 [38]. Die Prüfung erfolgt mit einer Spanplatte, die als Deckenbauteil im Brandofen eingebaut wird. Diese Spanplatte wird durch das zu prüfende Bekleidungsmaterial geschützt. Die Beflammung erfolgt entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve nach DIN EN 1363-1 [39]. Die Prüfung wird direkt nach Erreichen der festgelegten Prüfdauer beendet und der Probekörper vom Brandofen abgenommen. Eventuell vorhandene Flammen werden gelöscht. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn keine Brand- und Verkohlungserscheinungen am Bauteil erkennbar sind. Gleichzeitig müssen die in DIN EN 13501-2 angegebenen Temperaturkriterien eingehalten werden. Sie besagen, dass die Temperatur in der Grenzschicht zwischen Brandschutzbekleidung und Spanplatte im Mittel um nicht mehr als 250 K und im Maximum nicht mehr als 270 K über die Anfangstemperatur ansteigen darf (Bild 8). Das Temperaturkriterium K darf nicht mit dem Temperaturkriterium zur Sicherstellung des Raumabschlusses I verwechselt werden, bei dem die Temperatur auf der brandabgewandten Bauteilseite um nicht mehr als 140 K im Mittel und 160 K im Maximum ansteigen darf.

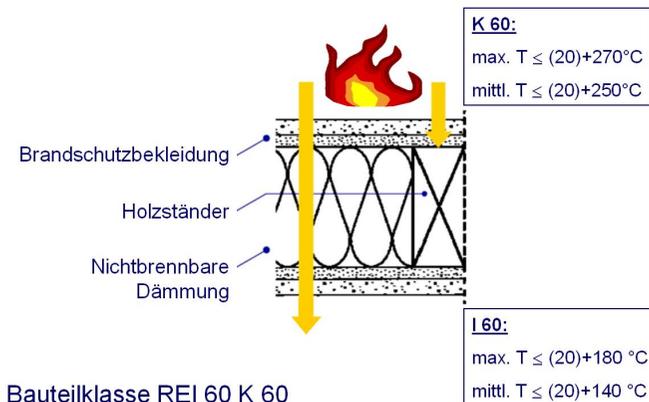


Bild 8: Prüfung einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung [16]

3 Brandverhalten von Holztafelementen mit brennbaren Dämmstoffen

Der Einsatz von brennbaren Dämmstoffen ist aufgrund bauaufsichtlicher Vorschriften im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 nicht möglich. Vorbehalte gegenüber brennbaren Dämmstoffen bestehen von Seiten der Bauaufsicht und der Feuerwehr vor allem wegen des Risikos der Brandausbreitung im Innern der Konstruktion, der Erhöhung der Brandlast und insbesondere der Vergrößerung des Rauchpotenzials, da der weitaus größte Anteil (ca. 80 %) der Brandtoten infolge von Rauch ums Leben kommt. Deshalb wurde gefordert, dass die Hohlräume der Holztafelemente mit nichtbrennbarer Dämmung mit einem Schmelzpunkt $> 1000\text{ °C}$ gefüllt werden. Brennbaren Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Hanf oder Flachs blieb damit der Einsatz im mehrgeschossigen Holzbau vorerst verwehrt, weil noch nicht durch entsprechende Versuche nachgewiesen wurde, dass durch gezielte konstruktive Maßnahmen eine Brandentstehung innerhalb der Konstruktion und eine Brand- und Rauchausbreitung in benachbarte Nuteinheiten beim Vorhandensein von brennbaren Dämmstoffen wirksam behindert werden.

Um den Anwendungsbereich brennbarer Dämmstoffe auf den mehrgeschossigen Holztafelbau erweitern zu können wurden im Rahmen dieser Arbeit eigene experimentelle Untersuchungen im Labormaßstab, als auch an praxisgerecht hergestellten Holzständerbauteilausschnitten durchgeführt, deren wesentliche Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst wiedergegeben werden. Eine ausführliche Darstellung dieser Arbeiten ist in [10] enthalten. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin zu belegen, dass bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Randbedingungen auch Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in hochfeuerhemmenden Holztafelementen eingesetzt und gleichzeitig die Schutzziele der Muster-Holzbaurichtlinie erreicht werden können.

Durch diese eigenen Untersuchungen konnte belegt werden, dass bei entsprechender Kapselung der Konstruktion eine Erhöhung des Rauchgaspotenzials und eine Brandentstehung innerhalb der Konstruktion praktisch auszuschließen sind [10], [11].

Es gibt eine Vielzahl von nachwachsenden Rohstoffen, die zur Herstellung von Dämmstoffen genutzt werden. Neben den etablierten Produkten wie Zellulose, Sisal, Jute, Stroh und Holz sind neuere Produkte wie Flachs, Hanf, Seegras oder Schafwolle hinzugekommen. Als Bezugsquelle kommen sowohl Rohstoffabfälle oder Recyclingprodukte in Frage als auch extra von der Landwirtschaft produzierte Güter. Die aus den Rohstoffen entstehende Produktpalette ist ebenso vielfältig. Die Dämmstoffe können als Platten, Matten oder Filze produziert werden oder in loser Form als Einblasdämmung, Schüttgut oder Stopfwolle zur Anwendung kommen. Zur Erfüllung der Mindestanforderungen für die Baustoffklasse B2 sind den Dämmstoffen bei der Produktion im Allgemeinen Zusatzstoffe als Flammschutzmittel beizugeben. Die Glimmneigung dieser Stoffe wird dadurch jedoch nicht wesentlich verbessert.



Bild 9: Beispiele von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen [9]

3.1 Festlegung der Untersuchungsschwerpunkte

Die Muster-Holzbaurichtlinie sieht ein Verfüllen der für den Holztafelbau typischen Hohlräume mit nichtbrennbarer Dämmung vor, um einer Brandentstehung und -ausbreitung im Innern der Konstruktion vorzubeugen. Werden diese Hohlräume nun mit brennbaren Dämmmaterialien gefüllt, wird das brandschutztechnische Risiko offensichtlich erhöht, weil zusätzliche Brandlasten eingebracht werden. Zudem neigen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zum Glimmen. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass sich bei brennbaren Dämmstoffen bereits bei Temperaturen unterhalb der Entzündungstemperatur aufgrund der thermischen Zersetzung brennbare Gase bilden und im Bauteilinnern ansammeln können. Dies kann eine Gefahr für die Feuerwehr darstellen, die beim Löschangriff die Konstruktion öffnen muss, um eventuell vorhandene Glutnester zu löschen. Bei der Zufuhr von Sauerstoff besteht die Gefahr, dass die Zersetzungsgase schlagartig durchzündeln. Das Schutzziel der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung muss demnach bei Verwendung brennbarer Dämmstoffe dahingehend erweitert werden, dass nicht nur die Entzündung der Dämmstoffe verhindert, sondern auch deren Ausgasung vermieden werden muss.

Darüber hinaus muss sichergestellt sein, dass die Brandschutzbekleidung keine Schwachstellen in Form von Elektroinstallationsdosen aufweisen darf. Während solche Einbauteile beim Holztafelbau mit nichtbrennbarer Dämmung nachweislich unbedenklich sind, sofern der Abstand zum benachbarten Holzständer mindestens 150 mm beträgt, können sie bei brennbarem Dämmmaterial zur Brandeinleitung in die Konstruktion führen. Aus dem selben Grund dürfen keine elektrischen Leitungen als potenzielle Zündquellen ungekapselt in den Bauteilen geführt werden.

3.2 Bestimmung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung

3.2.1 Untersuchungen im Cone-Kalorimeter

Mit Hilfe des Cone-Kalorimeters nach ISO 5660 [40] wurde zunächst im Labormaßstab unter praxisnahen Bedingungen die maximale Temperatur bestimmt, bei der eine thermische Zersetzung der Dämmstoffe gerade noch nicht stattfindet. Dazu wurde ein oben offener Kasten aus Vermiculit-Platten mit den Innenmaßen 100 x 100 mm² und einer Höhe von 50 mm hergestellt. Dieser Probenkasten wurde vollständig mit dem zu untersuchenden Dämmstoff in dessen Anwendungsdichte gefüllt und anschließend mit einer 18 mm dicken Gipskarton-Feuerschutzplatte (GKF) gemäß DIN 18180 [41] abgedeckt (Bild 10). Mittig auf der Unterseite der GKF-Platte wurde ein Thermoelement angeordnet, um die Temperaturentwicklung zu messen. Anschließend wurde der Probenkasten mit einer homogenen Wärmestromdichte von 20 kW/m² durch den elektrisch beheizten Strahler des Cone-Kalorimeters solange erwärmt, bis auf der Rückseite der GKF-Platte eine zuvor festgesetzte Temperatur zwischen 150 °C und 275 °C erreicht wurde. Dies geschah bei der gewählten Wärmestromdichte nach etwa einer Stunde, was der geforderten Schutzdauer von 60 Minuten entspricht. Nach Erreichen der Temperatur wurde der Versuch sofort beendet, der Probekörper aus dem Cone-Kalorimeter entfernt und die Gipskartonplatte abgenommen [10].



Bild 10: Probekörper im Cone-Kalorimeter [10]

Anhand der Verfärbung der Dämmstoffoberfläche wurde festgestellt, ob bereits eine thermische Zersetzung des Materials vorlag. Bild 11 zeigt die Verfärbung der Oberfläche bei Versuchsende am Beispiel der Hanf-Matte AF. Wie zu erkennen ist, kommt es bei Oberflächentemperaturen von 275 °C, 250 °C und 225 °C zu deutlichen Verfärbungen des Dämmmaterials. Erst bei einer Begrenzung der Oberflächentemperatur auf 200 °C trat keine thermische Verfärbung mehr auf. Die Grenztemperatur für die thermische Zersetzung konnte somit für die Hanf-Matte AF auf 200 °C festgelegt werden.



Bild 11: Dämmstoffoberfläche nach Erreichen von 275 °C, 250 °C, 225 °C und 200 °C im Cone-Kalorimeter [10]

Es wurden insgesamt 13 Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen auf diese Weise hinsichtlich ihrer Grenztemperatur untersucht. Mit dem zuvor geschilderten Versuchsaufbau im Cone-Kalorimeter ergaben sich Grenztemperaturen zwischen minimal 150 °C und maximal 225 °C. Die genaue Zuordnung der Grenztemperaturen zu den einzelnen Produkten ist Tabelle 1 unter Angabe anonymisierter Produktbezeichnungen zu entnehmen.

Tabelle 1: Grenztemperaturen der thermischen Zersetzung der untersuchten Materialien [10]

Dämmmaterial	Grenztemperatur [°C]
Cellulose-Einblasdämmstoff M	225
Cellulose-Einblasdämmstoff Q	225
Flachs-Matte K	225
Seegrass-Schüttung X	225
Cellulose-Platte M	200
Hanf-Matte AF	200
Hanf-Wolle L	200
Holzspan-Schüttung B	200
Lehm-Holzfaserschüttung AE	200
Roggen-Schüttung W	200
Flachs-Matte G	175
Schafwoll-Matte A	175
Holzfaser-Platte M	150

3.2.2 Überprüfung der Rauchgasentwicklung

Es musste weiterhin nachgewiesen werden, dass bis zum Erreichen der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung die Rauchgasentwicklung der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen nicht kritischer ist als bei nichtbrennbaren Dämmstoffen. Der Nachweis wurde in Anlehnung an das Prüfverfahren nach DIN 4102-1, Anhang A [42], „Prüfverfahren für die Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen – Zersetzung unter Verschwelungsbedingungen“ geführt.

Entgegen den Vorgaben der Norm, die Materialien bei Temperaturen zwischen 250 °C und 550 °C zu prüfen, wurde das Rauchgasverhalten der brennbaren Dämmstoffe bei den zuvor ermittelten Grenztemperaturen untersucht. Denn im Einbauzustand werden durch bauliche Maßnahmen wie die entsprechend dimensionierte Brandschutzbekleidung im Brandfall höhere Temperaturbeanspruchungen als die Grenztemperatur der thermischen Zersetzung verhindert.

Der Prüfaufbau besteht aus einem 1 m langen Glasrohr mit einem Durchmesser von 40 mm, in dem sich der zu untersuchende Dämmstoff befindet. Das Glasrohr wird von einem Ringofen umschlossen, der durch einen automatischen Vorschub mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeit von 10 mm/min über das Glasrohr bewegt wird.

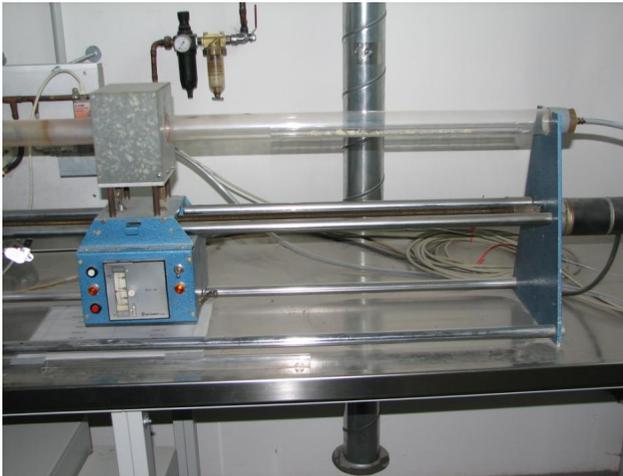


Bild 12: Prüfaufbau zur Bestimmung der Rauchgasentwicklung [10]

Während der Versuchsdauer von 25 Minuten wird der Dämmstoff auf die zuvor festgelegte Grenztemperatur erwärmt und die Lichtschwächung im Abgasstrom gemessen.

Wie Tabelle 2 zeigt, lag bei allen Dämmstoffen die mittlere Lichtschwächung bei der Grenztemperatur unter 5 % und damit deutlich unterhalb des für nichtbrennbare Baustoffe zulässigen Wertes von 30 %. Damit ist für alle untersuchten Materialien nachgewiesen, dass die Rauchentwicklung bei Einhaltung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung als unkritisch einzustufen ist.

Tabelle 2: Rauchtrübung in Anlehnung an DIN 4102-1, Anhang A [10]

Dämmmaterial	Prüftemperatur [°C]	Rauchtrübung [%]
Cellulose-Einblasdämmstoff M	225	0,1
Cellulose-Einblasdämmstoff Q	225	0,4
Flachs-Matte K	225	0,1
Seegras-Schüttung X	225	0,6
Cellulose-Platte M	200	3,0
Hanf-Matte AF	200	0,1
Hanf-Wolle L	200	0,0
Holzspan-Schüttung B	200	0,2
Lehm-Holzfaserschüttung AE	200	0,0
Roggen-Schüttung W	200	0,2
Flachs-Matte G	175	1,4
Schafwoll-Matte A	175	0,1
Holzfaser-Platte M	150	0,0

3.3 Normbrandversuche mit kleinformatischen Bauteilen

3.3.1 Versuchsaufbau

Durch Brandversuche in Anlehnung an DIN 4102-2 [43] im Kleinbrandofen nach DIN 4102-8 [44] wurde die Übertragbarkeit der Ergebnisse von den Laborbrandversuchen im Cone-Kalorimeter hinsichtlich der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung auf reale Einbaubedingungen geklärt. Der Einfluss von Schrauben und Plattenstößen in der Brandschutzbekleidung auf eine thermische Zersetzung des Dämmmaterials wurde dabei auch untersucht.

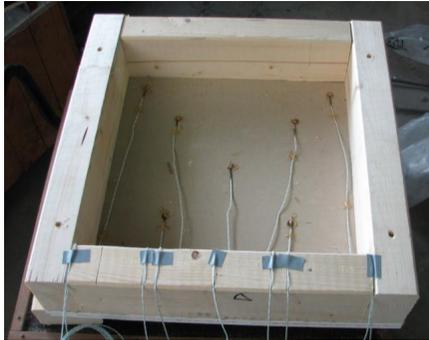


Bild 13: Probekörperherstellung für die kleinformatischen Normbrandversuche [10]

Die Probekörper bestanden aus einem Holzrahmen mit den Außenabmessungen 52 x 52 cm². Auf diesem Rahmen wurde die Brandschutzbekleidung befestigt und der Hohlraum mit einer Hanf-Matte AF in 10 cm Dicke gefüllt. Die Versuche wurden beendet, wenn auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung die Grenztemperatur des Dämmstoffs erreicht wurde.

3.3.2 Bestätigung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung

Zu Beginn musste generell überprüft werden, ob die im Cone-Kalorimeter ermittelten Grenztemperaturen auch unter realitätsnahen Bedingungen und Normbrandbeanspruchung zutreffen. Die Bekleidung des Holzrahmens erfolgte durch zwei Lagen GKF-Platten mit einer Dicke von jeweils 12,5 mm. Während der Versuchsdauer von etwa einer Stunde wurde die rückseitige Temperatur der Brandschutzbekleidung gemessen. Die Grenztemperatur von 200 °C für die Hanf-Matte AF konnte in dem Versuch bestätigt werden. Bild 14 zeigt, dass bei der Oberflächentemperatur von 200 °C noch keine thermische Schädigung des Materials vorliegt, während bei 225 °C eine deutliche Verfärbung erkennbar ist.



Bild 14: Oberfläche der Hanf-Matte AF nach Erreichen von 225 °C (links) und 200 °C (rechts) im Kleinbrandofen [10]

3.3.3 Einfluss von Fugen in der Brandschutzbekleidung

Darüber hinaus musste untersucht werden, welchen Einfluss Fugen in der Brandschutzbekleidung auf die thermische Zersetzung des Dämmstoffes haben. Dazu wurden die beiden Lagen GKF-Platten versetzt zueinander gestoßen und verspachtelt. Der Abbruch des Versuchs erfolgte, als im ungestörten Bereich auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung die Grenztemperatur von 200 °C erreicht war. Die Temperaturen im Bereich des Stoßes der unteren GKF-Platte lagen zu diesem Zeitpunkt bereits bei 240 °C, was eine Schädigung des Dämmstoffes bewirkte (Bild 15). Der Stoß in der oberen Lage der GKF-Platten wirkte sich hingegen nicht negativ aus.



Bild 15: Thermische Zersetzung der Hanf-Matte AF im Stoßbereich der Brandschutzbekleidung

3.3.4 Thermischer Schutz durch Holzwerkstoffplatten

Die Einbausituationen der Dämmstoffe im Holztafelbau lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien einteilen. Im ersten Fall befinden sich die Dämmstoffe direkt hinter der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus Gipskarton- oder Gipsfaserplatten. In diesem Fall muss die Brandschutzbekleidung sowohl die Entzündung der Holzbauteile als auch die thermische Schädigung der Dämmstoffe verhindern. Im zweiten Fall befindet sich jedoch zwischen Brandschutzbekleidung und Dämmstoff zusätzlich eine Holzwerkstoffplatte. Die Brandschutzbekleidung muss dann nur die Anforderungen an den Entzündungsschutz der Holzbauteile sicherstellen, während die thermische Zersetzung des Dämmmaterials durch die Holzwerkstoffplatte verhindert werden kann.

Bild 16 zeigt das Ergebnis eines Versuchs, bei dem der thermische Schutz für den Dämmstoff aus 2 Lagen GKF-Platten $d = 12,5$ mm und einer 8 mm dicken Spanplatte bestand. Der Versuch wurde beendet, als eines der Thermoelemente auf der dem Feuer zugewandten Oberfläche der Holzwerkstoffplatte (TE 12 bis TE 16) die für Holz festgelegte Entzündungstemperatur von 270 °C erreichte. Auf der Rückseite der Spanplatte herrschten zu diesem Zeitpunkt Temperaturen von ca. 110 °C, so dass keine Gefahr für eine thermische Zersetzung des Dämmstoffes bestand. Dies wurde durch eine Begutachtung der Dämmstoffoberfläche nach dem Versuch bestätigt.

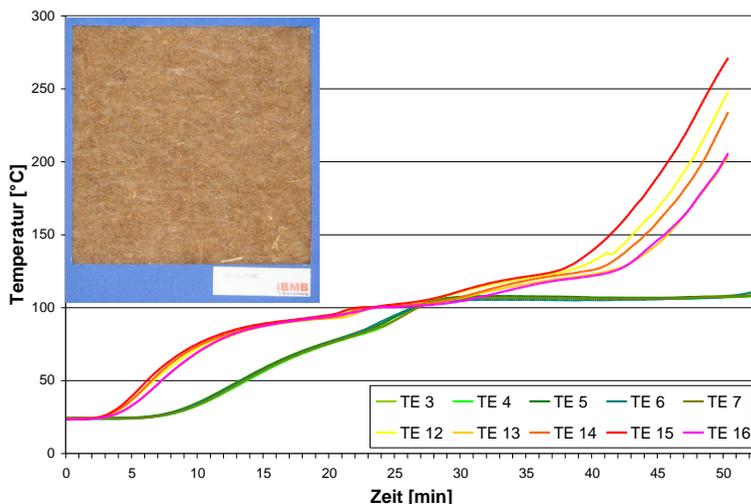


Bild 16: Temperaturentwicklung auf der Hanf-Matte AF bei thermischem Teilschutz durch eine Holzwerkstoffplatte

3.3.5 Einfluss metallischer Verbindungsmittel

Abschließend ist der Einfluss von Schrauben auf das thermische Zersetzungsverhalten der Bauteile zu untersuchen. Dazu wurden Schrauben durch beide Lagen bzw. nur durch die untere Lage der Brandschutzbekleidung in das Dämmmaterial geführt. Der Versuch wurde abgebrochen, als auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung ohne Einfluss der Schrauben die Grenztemperatur von 200 °C erreicht wurde.

Wie zu erwarten war, strömte durch die Schrauben lokal zusätzlich Wärme in das Dämmmaterial. Entsprechend war in einem Radius von ca. 3 cm das Dämmmaterial verkohlt (Bild 17). Schrauben, die durch die obere Lage der Brandschutzbekleidung geschützt waren, wiesen zwar eine deutlich geringere Verkohlungs auf, auch hier war jedoch eine punktuelle Verkohlung erkennbar.

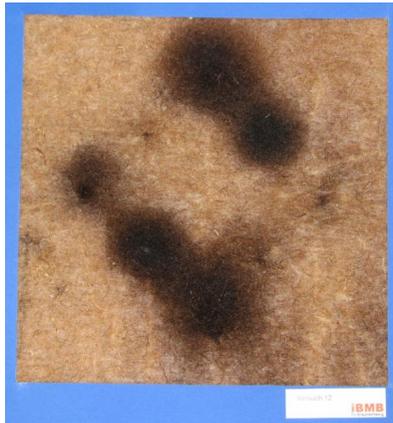


Bild 17: Thermische Zersetzung auf der Hanf-Matte AF bei durchgehenden Schrauben

Dieser Versuch zeigte, dass metallische Verbindungsmittel mit direktem Kontakt zum Dämmstoff zu vermeiden sind. Wird diese Einbausituation dennoch ausgeführt, muss die Gewährleistung des thermischen Schutzes für den Dämmstoff im Vorfeld durch Brandversuche nachgewiesen werden.

3.4 Belegversuch im mittleren Maßstab

Zum integralen Beleg der bisherigen Untersuchungsergebnisse wurde ein abschließender Normbrandversuch in Anlehnung an DIN EN 14135 mit einem Deckenelement und zwei Wandelementen in realer Größe durchgeführt. In diesem Versuch sollten Bauteile mit bereits klassifizierten Brandschutzbekleidungen in Verbindung mit brennbaren Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen geprüft werden. Zum Einsatz kamen bei dem Deckenelement eine K₂60-Bekleidung und bei den Wandbauteilen eine K₂30-Bekleidung in Verbindung mit einer Holzwerkstoffplatte. Ziel der Untersuchungen war auch, weitere Erkenntnisse zum Brandverhalten von Bauteilen mit einem thermischen Teilschutz durch Holzwerkstoffplatten zu gewinnen.

3 Brandverhalten von Holztafelementen mit brennbaren Dämmstoffen

Das Deckenbauteil bestand aus einem 1,20 x 1,70 m² großen Fichtenholzrahmen, der durch ein Längs- und ein Querholz in vier Felder unterteilt wurde. Der thermische Schutz erfolgte durch 2 Lagen GKF-Platten d = 18 mm, die jeweils auf einem Holzständer gestoßen und verschraubt waren. Die Felder 1 und 3 wurden mit dem Dämmstoff Hanf-Matte AF (Grenztemperatur = 200 °C) gedämmt, die Felder 2 und 4 mit Schafwoll-Matten A (Grenztemperatur = 175 °C). Maßgebend für die Dimensionierung der Brandschutzbekleidung ist der Bereich der Verbindungsmittel, an denen zuerst eine Verkohlung zu erwarten ist. Demzufolge stieg während des Versuchs die Temperatur in den Feldern auf maximal 120 °C an. Das bedeutet, dass der thermische Schutz der als K₂60-geprüften Bekleidung ebenfalls für die untersuchten brennbaren Dämmstoffe ohne zusätzliche Maßnahmen ausreichend ist.

Nach 60-minütiger Beflammung wurde der Versuch beendet und der Dämmstoff sofort entnommen. Alle Thermoelemente zeigten Temperaturen von maximal 130 °C, die deutlich unter den Grenztemperaturen der Materialien lagen. Demzufolge waren auch keine thermischen Verfärbungen auf den Dämmstoffen erkennbar (Bild 18).



Bild 18: Dämmstoffoberflächen nach 60-minütigem Normbrand

Die Wandbauteile bestanden aus 0,60 x 1,00 m² großen Fichtenholzrahmen, die durch ein Querholz in zwei Felder unterteilt wurden. Zum Einsatz kam eine K₂30-Brandschutzbekleidung in Verbindung mit einer 12 mm dicken Spanplatte bzw. mit einer 15 mm dicken OSB-Platte. Die Bekleidung bestand aus 2 Lagen GKF-Platten d = 12,5 mm gemäß DIN 18180. Die GKF-Platten wurden ohne Stoß montiert. Die Holzwerkstoffplatten waren entlang des Querbalkens auf halber Wandhöhe gestoßen und verschraubt. Der Schraubenabstand auf dem Querbalken variierte zwischen 15 cm und 10 cm. Die Dämmung der Felder erfolgte mit Cellulose-Platten M (Grenztemperatur = 200 °C) bzw. Flachs-Matten K (Grenztemperatur = 225 °C).

Aus Vorversuchen war bekannt, dass der thermische Schutz dieser Bekleidung im ungestörten Feldbereich die Temperatur über mehr als 50 Minuten auf 270 °C begrenzt. Die Differenz zwischen der Entzündungstemperatur von Holz (270 °C) und der zulässigen Grenztemperatur der thermischen Zersetzung sollte bei diesem Versuchsaufbau durch die Holzwerkstoffbekleidungen ausgeglichen werden.

Anhand der Temperaturen auf der Spanplattenoberfläche war erkennbar, dass sich die Spanplatte ungefähr in der 55. Minute entzündete. Obwohl bei Versuchsende die Temperatur auf der Rückseite der Spanplatte mit ca. 100 °C deutlich unterhalb der Grenztemperatur der Dämmstoffe lag, wiesen die Dämmstoffe am Rand in der Mitte des Querholzes leichte Verfärbungen auf. In der Fläche waren die Dämmstoffe jedoch unversehrt.

Der Grund für die Verfärbungen am Rand war die Stoßfuge der Holzwerkstoffplatte, durch die Heißgase eindringen konnten. Eine Analyse der Stoßfuge zeigte den Grund des Verhaltens. Die Abstände der Schrauben zur Befestigung der Spanplatte variierten zwischen 10 cm an den Rändern und 15 cm in der Mitte (Bild 19). Der mittlere Bereich wies eine starke Verkohlung der Spanplatte bis zum Holzriegel auf, während in den Randzonen nur die oberflächennahen Bereiche der Spanplatte verkohlt waren.

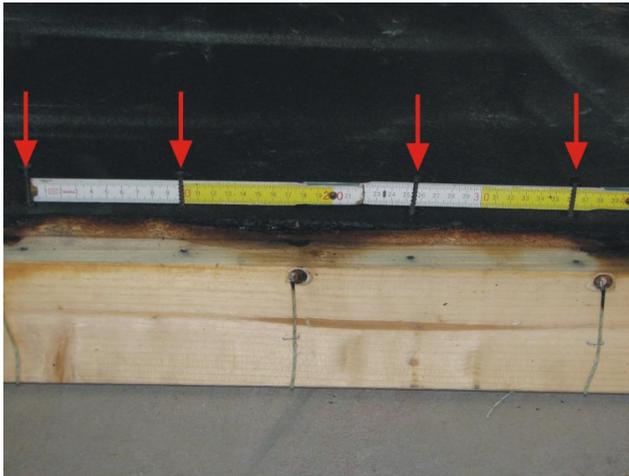


Bild 19: Schädigung der Spanplatte im Bereich des Plattenstoßes

Der abschließende Belegversuch hat die durch die Labor- und Kleinbrandversuche gewonnenen Erkenntnisse im Wesentlichen bestätigt. Er zeigte jedoch, dass bei Einsatz einer Holzwerkstoffplatte zum thermischen Teilschutz der Abstand der Verbindungsmittel aus brandschutztechnischer Sicht reglementiert werden muss. Auf Basis der Versuchsergebnisse wird in Fugenbereichen ein maximaler Abstand der Verbindungsmittel von 8 cm vorgeschlagen, der ein frühzeitiges Eindringen der Heißgase verhindern soll.

3.5 Konstruktionsregeln

Auf der Grundlage der Risikoanalyse und der eigenen Brandversuche sind besondere Konstruktionsregeln entwickelt worden, die es bei der Herstellung hochfeuerhemmender Bauteile in Holztafelbauweise unter Verwendung von brennbaren Dämmstoffen zu beachten gilt. Die Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie sind ebenfalls einzuhalten.

3.5.1 Brandschutzbekleidung

Die gemäß Muster-Holzbaurichtlinie erforderliche brandschutztechnisch wirksame Bekleidung muss gewährleisten, dass im Brandfall an der Oberfläche eines brennbaren Dämmstoffes dessen Grenztemperatur der thermischen Zersetzung nicht überschritten wird. Die Grenztemperatur ist definiert als diejenige Temperatur, bei der im Einbauzustand keine thermische Schädigung der Dämmstoffe auftritt und die Rauchfreisetzung im Vergleich zu nichtbrennbaren Dämmstoffen als unbedenklich einzustufen ist.

Als Prüfmethode für die Ermittlung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung kann der zuvor beschriebene Prüfaufbau im Cone-Kalorimeter nach ISO 5660 verwendet werden. Zusätzlich ist das „Prüfverfahren für die Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen“ bei reduzierter Temperatur in Anlehnung an DIN 4102-1, Anhang A heranzuziehen.

3.5.2 Fugen in der unteren Lage der Brandschutzbekleidung

Fugen in der unteren Lage der Brandschutzbekleidung sind auf einem Ständer auszuführen. Wenn freie Stöße erforderlich sind, muss die Unbedenklichkeit gesondert durch Brandversuche nachgewiesen werden.

3.5.3 Holzwerkstoffplatten als Teil der Brandschutzbekleidung

Wenn die Grenztemperatur des Dämmstoffes unterhalb der rückseitigen Temperatur der Brandschutzbekleidung liegt, kann eine vorhandene Bekleidung aus Holzwerkstoffplatten zur Sicherstellung des vollständigen Temperaturschutzes mit herangezogen werden. Erforderliche Stöße der Holzwerkstoffplatte müssen dann auf einem Ständer angeordnet und kraftschlüssig verschraubt werden; der maximale Abstand der Verbindungsmittel darf 8 cm nicht überschreiten.

3.5.4 Schrauben, Klammern, Nägel in der Brandschutzbekleidung

Werden Schrauben, Klammern oder Nägel auf einem Ständer ausgeführt, so ist der Nachweis der Unbedenklichkeit bereits durch die Klassifizierung der Brandschutzbekleidung nach DIN EN 14135 erbracht. Wenn die Verbindungsmittel auch im Feld, das heißt mit direktem Kontakt zur brennbaren Dämmung, angeordnet werden, muss zusätzlich nachgewiesen werden, dass die Grenztemperatur eingehalten wird.

3.5.5 Elektroinstallationen außerhalb der Bauteile

Es dürfen keine Zündquellen innerhalb der Bauteile vorhanden sein. Elektroinstallationen wie Steckdosen, Lichtschalter, Elektrokabel und Verteilerdosen müssen außerhalb der Brandschutzbekleidung, z. B. in einer Vorwandinstallationsebene, geführt werden.

4 Brandverhalten massiver flächiger Holzbauteile

Die bislang durchgeführten Branduntersuchungen an Holzbauteilen für die Gebäudeklasse 4 konzentrierten sich ausschließlich auf den Holztafelbau. Die Holzmassivbauweise fand lediglich als Ausnahme in Form eines Deckenbauteils Berücksichtigung in der Muster-Holzbaurichtlinie. Der Grund hierfür ist zum einen, dass die Erweiterung in Richtung des mehrgeschossigen Bauens mit Holz schrittweise unter Beobachtung der Erfahrungen in der Praxis vollzogen werden sollte. Zum anderen fehlten auch die entsprechenden Versuche zur abschließenden Beurteilung des Brandverhaltens dieser Bauteile.

Unter der Holzmassivbauweise werden flächige, hohlraumfreie Holzbauteile verstanden. Der wesentliche Unterschied zur Holztafelbauweise ist somit, dass die Tragstruktur von der Dämmebene getrennt ausgeführt werden muss. Aus Sicht des Brandschutzes haben Massivholzelemente allerdings den Vorteil, dass auf Grund der massiven Querschnitte die Gefahr von Hohlraumbränden nicht besteht.

Die Herstellung von Massivholzelementen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Eine mögliche Umsetzung stellen Brettstapelelemente dar. Es handelt sich dabei um plattenförmige Elemente, die durch stehend angeordnete Bretter hergestellt werden. Die Verbindung der einzelnen Brettlagen erfolgt durch Nägel, Schrauben oder Hartholzdübel. Eine Alternative stellt die Verklebung der einzelnen Brettlagen dar. In diesem Fall wird von Brettschichtholzelementen (BSH) gesprochen. Ein wesentlicher Nachteil der Brettstapel- und Brettschichtholzelemente ist das Schwind- und Quellverhalten quer zur Faserrichtung. Im Gegensatz dazu bestehen Brettsperrholzelemente (im Folgenden mit BSpH abgekürzt) aus mindestens drei kreuzweise miteinander verklebten oder verdübelten Lagen aus Nadelholz Brettern. Durch die kreuzweise Anordnung der einzelnen Lagen wird das Schwinden und Quellen unterdrückt. Die Bretter einer Lage können zusätzlich seitenverleimt sein. Holzwerkstoffelemente werden industriell aus Nadelholzspänen hergestellt. Diese werden zu dicken Flachpressplatten oder OSB-Platten verpresst. Eine andere Möglichkeit, die erforderliche Plattendicke zu erzielen, ist die Verklebung mehrerer Holzwerkstoffplatten zu einem dicken Element. Darüber hinaus werden unter „Massivholzelementen“ auch Bauteile verstanden, die im Gegensatz zu den zuvor dargestellten Systemen planmäßig Hohlräume aufweisen. Sie bestehen entweder aus parallel oder kreuzweise miteinander verleimten Brettern oder Brettlagen. Eine andere Art von „Massivholzelementen“ mit Hohlräumen entsteht durch das Zusammenfügen einzelner Holzlamellen zu Hohlkastenelementen. Bei dem traditionellen Blockbohlenbau handelt es sich ebenfalls um eine Holzmassivbauweise. Auf Grund seiner kleinteiligen Struktur, des geringeren Vorfertigungsgrades, Schwächen im Lastabtrag und der hohen Anfälligkeit hinsichtlich Kriech- und Schwindverformungen hat er keine wirtschaftliche Bedeutung im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 und bleibt von den folgenden Untersuchungen ausgeschlossen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll auf der Grundlage eigener Brandversuche der Nachweis geführt werden, dass bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Randbedingungen auch Massivholzelemente in der Gebäudeklasse 4 eingesetzt werden können, ohne das akzeptierte Sicherheitsniveau im Brandschutz abzusenken. Dabei soll ebenfalls eine Reduzierung oder sogar der Verzicht auf die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung untersucht werden. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Folgenden zusammengefasst vorgestellt. Eine ausführliche Darstellung der Brandversuche ist in [12] enthalten.

4.1 Festlegung der Untersuchungsschwerpunkte

Als Grundvoraussetzung für den Einsatz unbekleideter massiver flächiger Holzbauteile in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 muss zunächst das Löschverhalten der Bauteile untersucht werden. Neben dem zusätzlichen Eintrag von Brandlasten, der erhöhten Brandausbreitungsgeschwindigkeit auf brennbaren Oberflächen und der damit verbundenen Personengefährdung durch Rauchgase ist zu klären, ob die Holz-Massivbauteile nach einem Vollbrand durch einen anschließenden üblichen Löschangriff der Feuerwehr gelöscht werden können. Entzünden sich die Massivholzelemente, entsteht als Produkt der Verbrennung eine Holzkohleschicht. Infolge der geringen Dichte der Holzkohleschicht hat sie eine gute wärmeisolierende Wirkung. Dies hat den positiven Effekt, dass die Wärme des Brandes die Pyrolysefront langsamer erreicht und die Abbrandgeschwindigkeit abnimmt. Auf der anderen Seite kann bei Löschmaßnahmen die Kühlwirkung des Wassers ebenfalls schlechter an die Pyrolysefront vordringen. Die Auswirkungen dieser Verkohlungsschicht auf das Löschverhalten der Bauteile werden durch Brandversuche mit anschließendem Löschangriff geklärt.

Des Weiteren muss durch die Brandversuche die Rauchdichtigkeit der Elemente einschließlich ihrer Bauteiffugen untersucht werden. Die Vorgaben der Muster-Holzbaurichtlinie zur Ausführung der Brandschutzbekleidung besagen, dass diese 2-lagig mit versetzten Fugen anzuordnen ist. Diese aufwändige Ausführung ist notwendig, um die Rauchdichtigkeit der Bauteile über 60 Minuten Brandbeanspruchung sicherzustellen. Bei einem möglichen Verzicht auf die Brandschutzbekleidung ist die Rauchdichtigkeit durch alternative Maßnahmen zu gewährleisten.

Zur Untersuchung der Rauchdichtigkeit werden die in Kapitel 2.1 beschriebenen Messeinrichtungen genutzt, die über die Lichtschwächung die Berechnung der Leckrate eines Bauteils oder einer Fuge erlauben.

4.2 Orientierende Brandversuche mit kleinformatigen Bauteilen

Zur Klärung der grundsätzlichen Löschbarkeit und der Rauchdichtigkeit massiver flächiger Holzbauteile wurden orientierende Brandversuche im Labormaßstab mit einer Brandbeanspruchung entsprechend der ETK im Brandofen nach DIN 4102-8 durchgeführt. Je Versuch wurden zwei Probekörper seitlich in den Brandofen eingebaut. Bei einem Probekörper wurde über Mantelthermoelemente die Temperaturentwicklung des Querschnitts beobachtet, sowohl während der Beflammungsphase als auch während des Löschvorgangs. Die Löschwasserbeaufschlagung im direkten Anschluss an die Beflammung erfolgte über ein Drucksprüngerät. Bei dem anderen Probekörper wurde die Rauchdichtigkeit während der Beflammungsphase untersucht [12].

Für diese Versuchsreihe wurden jeweils 10 Probekörper hinsichtlich ihres Löschverhaltens und 10 Probekörper hinsichtlich ihrer Rauchdichtigkeit untersucht. Der Versuchsplan ist in Anhang A enthalten. Die Proben wurden auf die Abmessungen 52 x 52 cm² zugeschnitten. Die beflamte Fläche betrug 45 x 45 cm², die Dicke der Proben variierte je nach Elementtyp. Bei dieser orientierenden Versuchsreihe kamen neben Brettstapelelementen ebenfalls Brettperrholz- und Brettschichtholzelemente sowie Holzwerkstoffelemente aus OSB-Platten zur Anwendung.



Bild 20: Versuchsaufbau der kleinformatischen Versuche im Brandofen nach DIN 4102-8 [12]

Zur vergleichenden Beurteilung der Wirkung des Löschwassers diente ein aus Brettstapелеlementen hergestellter Bezugsprobekörper, der direkt nach der Beflammung aus dem Ofen herausgeschwenkt, aber erst nach etwa drei Stunden gelöscht wurde. Die Temperaturentwicklung dieses Probekörpers ist in Bild 21 dargestellt. Nach der Beflammung brannte das Element zunächst oberflächlich weiter. Die offenen Flammen an der Oberfläche erloschen allerdings nach wenigen Minuten und es kam zu einer Abkühlung des Elements in den oberflächennahen Bereichen. Durch Glutnester unter der Kohleschicht stieg die Temperatur im Innern mit der Zeit an. Trotz der Abkühlung im Außenbereich kam es im Innern vereinzelt immer wieder zu Temperatursteigerungen auf Grund von Glutnestern, die dauerhaft weiterglimmten. Ohne den anschließenden Löschangriff nach 3 Stunden wäre der Probekörper vermutlich vollständig verglimmt.

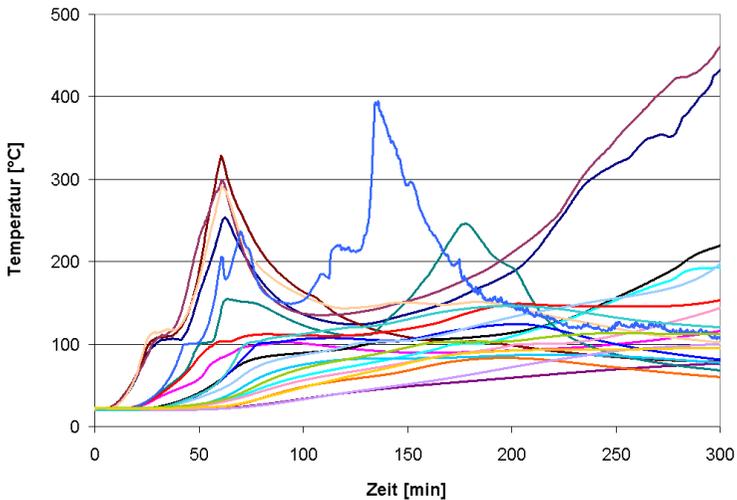


Bild 21: Temperaturentwicklung ohne Löschangriff [12]

Im Vergleich dazu ist die Temperaturentwicklung eines identischen Probekörpers mit sofortigem Löschangriff in Bild 22 dargestellt. In einer Holztiefe $z = 30$ mm wurde nach 60 Minuten eine Temperatur von etwas mehr als 300 °C gemessen. Die Temperaturen fielen infolge des ersten Löschangriffs rasch ab. Die offenen Flammen wurden mit einem feinen Wassernebel gelöscht, die weitere Kühlung erfolgte durch einen Wasserstrahl. In Anbetracht der schnell fallenden Temperatur auf Werte $< 100\text{ °C}$ sind die Bildung von Glutnestern und die Gefahr einer Rückzündung auszuschließen.

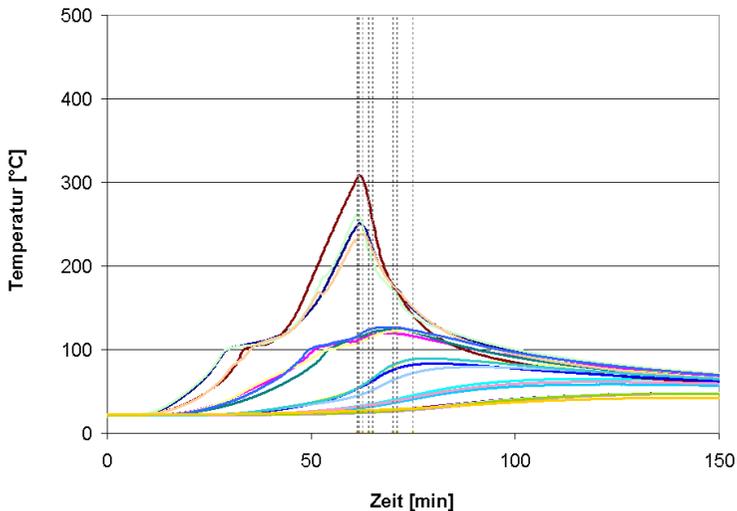


Bild 22: Temperaturentwicklung mit anschließendem Löschangriff [12]

Bei allen untersuchten Schnittholzelementen konnte ein ähnliches Löschverhalten festgestellt werden. Bei zwei Versuchen wurden die Probekörper nach der Beflammung ausgebaut und in horizontaler Lage von unten als Deckenbauteil gelöscht. Dabei konnten keine wesentlichen Unterschiede zum Löschverhalten in vertikaler Lage festgestellt werden.

In Bild 23 sind die Ergebnisse der Rauchdichtemessungen für die untersuchten Elemente dargestellt. Die Untersuchungen an den BSH-, BSpH- und Holzwerkstoffelementen entsprechend Anhang A zeigen, dass diese als rauchdicht angesehen werden können, da die Messwerte im Rahmen der Messungenauigkeiten bei null liegen. Die genagelten und gedübelten Brettstapelelemente müssen hingegen als nicht rauchdicht eingestuft werden. Dies war zu erwarten, da es sich bei diesen Elementen um die einzigen handelt, bei denen durchgehende, nicht verklebte Fugen vorliegen.

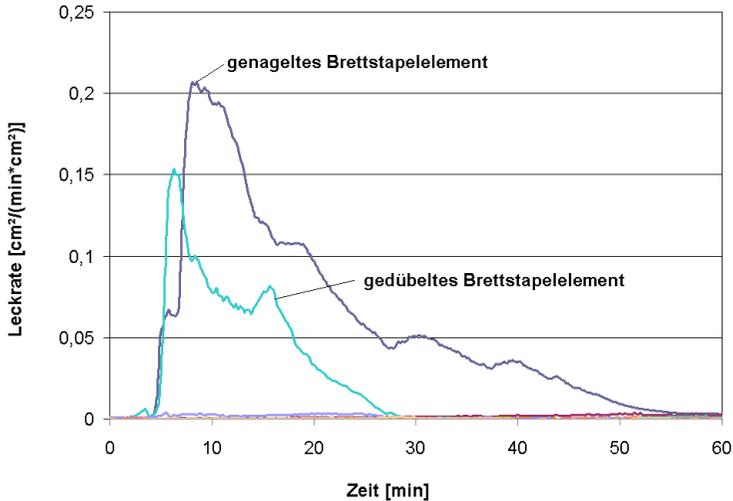


Bild 23: Rauchdichtigkeit der untersuchten Holzelemente [12]

Neben der Rauchdichtigkeit der Elemente wurde ebenfalls die Rauchdichtigkeit von drei unterschiedlichen Fugenausbildungen untersucht, die in Bild 24 dargestellt sind. Als Probekörper kam dabei ein BSpH-Element zum Einsatz. In Fuge A wurde das 16 cm dicke BSpH-Element stumpf gestoßen und ein 10 mm starker Mineralwollestreifen in die Stoßfuge eingelegt und komprimiert. Bei Fuge B wurden beidseitig Vertiefungen eingefräst, in die Koppelbretter mit einem ebenfalls 10 mm starken Mineralwollestreifen angeschraubt wurden. Fuge C wurde als Übergreifungsstoß ausgeführt, ein 10 mm starker Mineralwollestreifen eingelegt und anschließend verschraubt. Es konnten keine signifikanten Nachteile hinsichtlich der Rauchdichtigkeit im Vergleich zu identischen Elementen ohne Fuge festgestellt werden. Ein eingelegter, komprimierter Mineralwollestreifen stellt somit grundsätzlich eine Möglichkeit zur rauchdichten Ausbildung von Bauteilfugen dar.



Bild 24: Darstellung der untersuchten Fugentypen

4.3 Normbrandversuche im mittleren Maßstab

Um die Löschbarkeit der Bauteile und die Rauchdichtigkeit der Element- und Bauteilfugen genauer zu untersuchen, wurden zwei Brandversuche im mittleren Maßstab im sogenannten kleinen Deckenbrandofen in Anlehnung an DIN EN 13501-2 durchgeführt. Die Brandbeanspruchung erfolgte entsprechend der ETK über 60 Minuten, der Söldruck im Brandraum betrug 20 Pa. Anschließend wurde der Brandraum geöffnet und die Bauteile wurden realitätsnah im Ofen gelöscht. Zum Einsatz kam ein C-Rohr mit Zerstäuberstrahlrohr. Der Zerstäubungsgrad entspricht ungefähr dem eines modernen Hohlzylinderstrahlrohres. Bei beiden Versuchen wurde jeweils der Ausschnitt einer Raumecke untersucht. Die Raumecke bestand aus zwei Wandbauteilen mit den Abmessungen 120 cm x 50 cm und

4 Brandverhalten massiver, flächiger Holzbauteile

160 cm x 50 cm und einem Deckenbauteil mit den Abmessungen 210 cm x 160 cm. Der Versuchsaufbau ist Bild 25 zu entnehmen.



Bild 25: Probekörper für Kleinbrandversuche

Während der Branddauer und auch während der Abkühlphase wurden die Temperaturen innerhalb der Bauteile in verschiedenen Tiefen gemessen. Des Weiteren erfolgte während der Beflammung die Untersuchung der Rauchdichtigkeit der Elementfuge bei beiden Deckenelementen und der Bauteilfugen Wand – Decke auf die in Kapitel 2.1 beschriebene Weise.

Im ersten Versuch wurden BSpH-Elemente untersucht. Die Bauteile wiesen eine Dicke von 11 cm auf. Als Elementstöße dienten einfache Nut-Feder-Verbindungen. Die Bauteilanschlüsse Wand – Decke wurden stumpf gestoßen. Die Abdichtung der Fugen erfolgte mit einem 10 mm starken Mineralwollestreifen.

Im zweiten Versuch wurden BSH-Elemente untersucht. Die Bauteile wiesen eine Dicke von 10 cm auf. Als Elementstöße kamen Doppel-Nut-Feder-Verbindungen zur Anwendung. Die Bauteilanschlüsse waren ebenfalls stumpf gestoßen und mit Mineralwolle abgedichtet.

Es konnte auch im mittleren Maßstab nachgewiesen werden, dass trotz der Verkohlungs-schicht die Kühlwirkung des Löschwassers die Pyrolysefront erreicht. Bei einer Tiefe von 10, 25 und 40 mm trat die Senkung der Temperatur durch die Löschwasserbeaufschlagung sofort ein. Die Messung des Temperaturprofils in Bild 26 zeigt für die BSH-Elemente, dass nach den drei Löschphasen alle Temperaturen im Bauteilinnern unter 200 °C lagen. Die weitere Temperaturaufzeichnung belegte, dass die Gefahr von Rückzündungen und des Weiterglimmens nicht mehr bestand, da die Temperaturen ohne weitere Löschwasserbeaufschlagung auf etwa 100 °C abfielen [12].

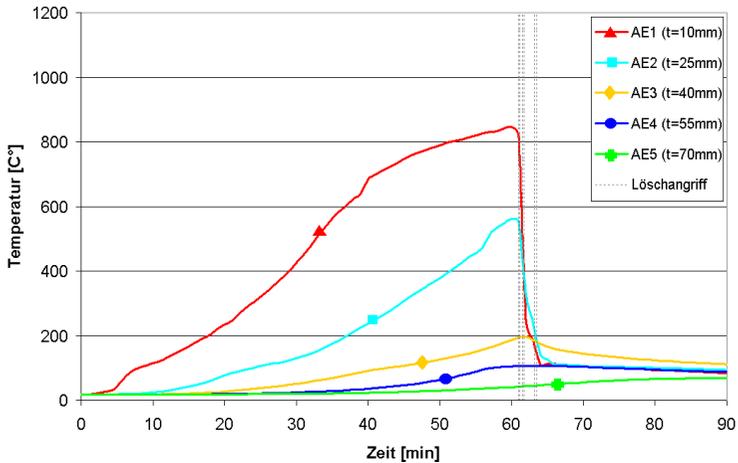


Bild 26: Mittelwerte der Temperaturprofile des massiven BSH-Querschnitts [12]

Die BSpH-Elemente erfuhren eine schnellere Durchwärmung sowie eine deutlich tiefere Verkohlung. Dies ist auf die Fugen zwischen den nicht verklebten Brettern einer Lage zurückzuführen. Es war jedoch zu beobachten, dass bei den BSpH-Elementen durch die Löschwasserbeaufschlagung ein großer Teil der Verkohlungsschicht abfiel. So konnte das Löschwasser im Vergleich zu den BSH-Elementen noch schneller die Pyrolysefront erreichen. BSpH-Elemente zeigen daher ein günstigeres Verhalten während des Löschangriffs als BSH-Elemente.

Die in den beiden Brandversuchen untersuchten Elementfugen sind in Bild 27 dargestellt. Die Untersuchungen ergaben für die einfache Nut-Feder-Verbindung einen erhöhten Einbrand, wohingegen die Ausbildung als Doppel-Nut-Feder-Verbindung keinen erhöhten Einbrand im Vergleich zum Vollquerschnitt aufwies.

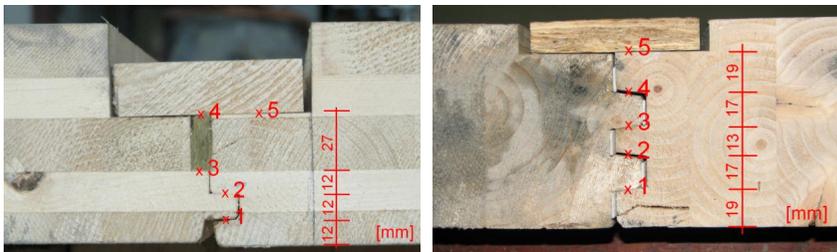


Bild 27: Darstellung der untersuchten Elementfugentypen

Die Rauchdichtigkeitsanalyse zeigte, dass die einfache Nut-Feder-Verbindung die Rauchdichtigkeit nicht über die gesamte Versuchsdauer von 60 Minuten gewährleisten kann. Das Brandverhalten der einfachen Nut-Feder-Verbindung kann vermutlich durch eine stärkere Verdichtung des Mineralwollestreifens verbessert werden. Die doppelte Nut-Feder-Verbindung kann dagegen als rauchdicht angesehen werden.

Die Bauteulfugen zwischen den Wandbauteilen und der Decke waren über die Dauer von 60 Minuten rauchdicht. Die Deckenfugen von Elementstößen, die über die raumabschließenden Wände hinweggeführt werden, haben eine frühzeitige Rauchweiterleitung zur Folge. Dies konnte durch zusätzliches Verstopfen der Fugen mit Mineralwolle unterbunden werden.

4.4 Belegversuch im Realmaßstab

Der abschließende Großbrandversuch diente dazu, die Ergebnisse der klein- und mittelformatigen Brandversuche im Realmaßstab zu belegen. Ziel des Versuchs war der Nachweis der Löschbarkeit der Bauteile bei einem üblichen Löschangriff sowie der Rauchdichtigkeit der Elementfugen während der Beflammung bei annähernd realen Bauteilabmessungen. Die Brandbeanspruchung erfolgte, wie auch schon in den bisherigen Brandversuchen, entsprechend der ETK über 60 Minuten. Anschließend wurde ein Löschangriff durch die Berufsfeuerwehr Braunschweig durchgeführt.

Auf den Brandofen wurde der Probekörper bestehend aus vier Wänden und einer Decke aufgesetzt. Der Probekörper wies eine Grundfläche mit den Innenmaßen 3,8 m x 3,8 m und eine Innenhöhe von 1,5 m auf. Mit der Innenhöhe des Brandofens von 1,4 m entstand ein Brandraumvolumen vom $3,8 \times 3,8 \times 2,9 \text{ m}^3$. Zwei Wände des Versuchsaufbaus bestanden aus BSpH-Elementen, die beiden anderen Wände und die Decke wurden aus BSH-Elementen hergestellt. Die BSH-Elemente hatten eine Dicke von 11,6 cm, die BSpH-Elemente wiesen eine Dicke von 12,0 cm auf. Zwei der vier Wandecken wurden mit GKF-Platten in der Qualität K₂15 und K₂30 bekleidet, um auch das Brand- und Löschverhalten dieser Ausführungsvariante abschließend beurteilen zu können. Die restlichen Oberflächen wurden unbekleidet ausgeführt. Die BSH-Bauteile bestanden aus 70,5 cm breiten Einzelementen mit einer Doppel-Nut-Feder-Verbindung, die BSpH-Elemente waren aus 62,5 cm breiten Elementen aufgebaut und mit einer einfachen Nut-Feder-Verbindung ausgeführt. In die Eckverbindungen wurde ein Steinwollestreifen eingefügt, der im Einbaustand von 10 mm auf etwa 5 mm komprimiert war. Die Bauteilanschlüsse Wand – Decke wurden ebenfalls stumpf gestoßen und die Anschlussfugen zusätzlich mit einem 10 mm starken Mineralwollestreifen abgedichtet.

Während der Beflammung gingen die Ölbrennerflammen auf Grund einer zu geringen Sauerstoffzufuhr zwischen der 5. und 15. Minute zweimal aus, wodurch die Brandraumtemperaturen deutlich unterhalb der ETK lagen. Dieses Problem konnte dadurch gelöst werden, dass die Brandraamtür etwas geöffnet wurde und zusätzlich Sauerstoff in den Brandraum gelangen konnte. Das hatte jedoch zur Folge, dass der Überdruck im Brandraum von 20 Pa nicht aufrecht erhalten werden konnte. Erst nach etwa 45 Minuten war es möglich, die Tür wieder zu schließen und den gewünschten Überdruck herzustellen. Zum Ausgleich der Unterschreitung der ETK zu Beginn des Versuchs wurde die Beflammung bis zur 63. Minute (statt bis zur 60. Minute) weitergeführt.

Während des Brandversuchs konnte beobachtet werden, dass an mehreren Stellen Rauch durch die Bauteulfugen drang. Zusätzlich wurde die Rauchentwicklung an ausgewählten Bereichen über die in Kapitel 4.1 beschriebenen Rauchmessstrecken aufgezeichnet.

Der anschließende Löschangriff wurde in mehreren Intervallen zwischen der 65. und der 89. Minute durchgeführt. Zwischen der 85. und 90. Minute wurde die Brandschutzbekleidung in den beiden Wandecken entfernt [12].



Bild 28: Versuchsaufbau des Großbrandversuchs

4.4.1 Temperaturentwicklung in den Bauteilen

Während der Beflammungsdauer, des Löschangriffs und der anschließenden Abkühlphase wurde die Temperatur in den Bauteilen in 10, 25, 40, 55 und 70 mm Tiefe (Maßangabe von der beflamten Oberfläche) gemessen.

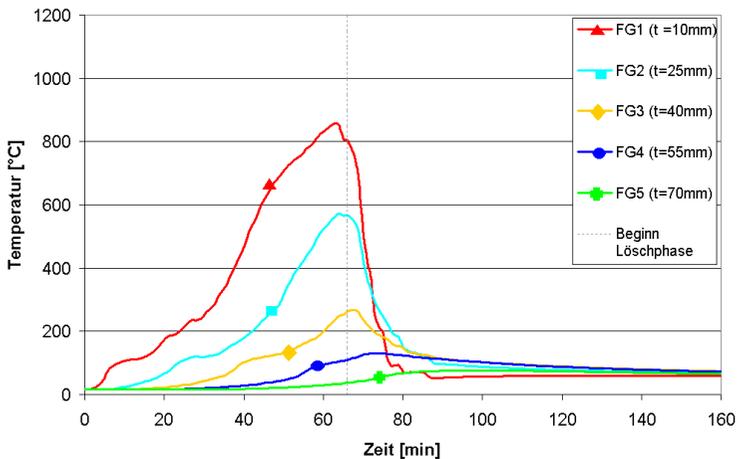


Bild 29: Mittelwert aus den Temperaturprofilen der unbedeuteten BSH-Decke [12]

Die Auswirkungen der Löscharbeiten sind mit den Ergebnissen der Brandversuche im mittleren Maßstab vergleichbar. Bei den nahe an der Oberfläche gelegenen Thermo- elementen in 10 und 25 mm Tiefe wurde ein rascher Temperaturabfall festgestellt. Die tiefer gelegenen Thermo- elemente erfuhren mit geringer Verzögerung den Abfall der Temperatur. Ab der 75. Minute lagen alle Messwerte unter 200 °C. Die folgenden Aufzeichnungen zeigten ein weiteres Absinken der Temperaturen, so dass keine Gefahr der Rückzündung und des Weiterglimmens mehr bestand. Wie bereits bei den Kleinbrandversuchen festzustellen war, stieg die Temperatur der Thermo- elemente in 70 mm Tiefe während des Löschangriffs zunächst weiter an. Danach war auch in dieser Tiefe ein Absinken der Temperatur zu beobachten.

Es wurden ebenfalls Temperaturprofile unterhalb der Brandschutzbekleidungen aufgenommen. Das Temperaturprofil ist für die BSH-Elemente mit einer K₂30-Bekleidung in Bild 30 dargestellt. Neben den Messstellen in 10 bis 70 mm Tiefe wurde die Temperatur in der Grenzschicht Bekleidung – Massivholzelement ermittelt. Dazu wurden jeweils vier Thermo- elemente zwischen Bekleidung und Massivholzelement angeordnet und hieraus der Mittelwert gebildet.

Die Bekleidung bewirkt eine deutliche Reduzierung der Temperatur während der Beflammungsphase. Bei den K₂15-Bekleidungen wurde die definierte Entzündungstemperatur von 270 °C etwa zur 29. Minute überschritten, während bei den K₂30-Bekleidungen dieser Wert zur 55. Minute überschritten wurde. Die Abkühlung erfolgte im Vergleich zu den unbekleideten Bauteilen mit einer leichten Verzögerung. Die Temperaturverläufe zeigten jedoch auch, dass bereits vor dem Abschlagen der Bekleidung durch die Feuerwehr ab der 85. Minute die Temperaturen unterhalb von 200 °C lagen und somit als unkritisch einzustufen waren.

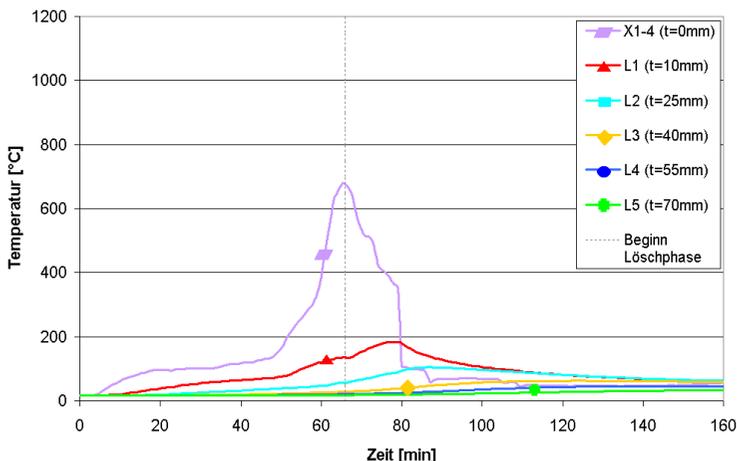


Bild 30: Temperaturprofil der BSH-Wand mit einer K₂30 Brandschutzbekleidung [12]

4.4.2 Ermittlung der Abbrandtiefe

Neben der Temperaturentwicklung ist die Abbrandtiefe ein weiterer Beweis für den schnellen Erfolg des Löschangriffs. Die Abbrandtiefe der Bauteile wurde über die Restdicke anhand von Bohrkernen sowie an Schnittkanten ermittelt. Die Bohrkern wurden den Decken- und Wandbauteilen in den bekleideten und unbekleideten Bereichen entnommen.



Bild 31: Bestimmung der Abbrandtiefe; links mittels Bohrkernen, rechts an Schnittkanten

Der Mittelwert aller gemessenen Abbrandtiefen lag bei den unbekleideten BSH-Bauteilen bei 4,5 cm. Bei den unbekleideten BSpH-Bauteilen lag dieser mit 6,0 cm deutlich höher. Der erhöhte Abbrand der BSpH-Elemente ist auf die fehlende Seitenverklebung der einzelnen Brettlagen zurückzuführen. Die Werte entsprechen damit etwa den Literaturangaben [13]. Bei der K₂15-bekleideten BSH-Wand betrug die mittlere Abbrandtiefe 1,7 cm, während die K₂15-bekleidete BSpH-Wand eine Abbrandtiefe von 1,9 cm aufwies. Die K₂30-Bekleidung reduzierte die mittlere Abbrandtiefe bei der BSH-Wand auf 0,5 cm und bei der BSpH-Wand auf 0,6 cm. Die Abbrandtiefen der BSpH-Elemente lagen insgesamt über den Abbrandtiefen der BSH-Elemente. Bei der Bewertung der Abbrandtiefen ist zu beachten, dass nach Beendigung der Beflammung eine weitere Schädigung des Holzes eintrat. Die ermittelten Abbrandtiefen bestätigen, dass es nach dem Löschangriff zu keinem Weiterglimmen der Bauteile kam [12].

4.4.3 Untersuchung der Elementfugen

Die Ausführung der Elementstöße bei den BSH-Elementen erfolgte durch doppelte Nut-Feder-Verbindungen. Die Verbindung zwischen den einzelnen Elementen stellte wie in den Kleinbrandversuchen ein 15 mm dicker OSB-Streifen dar, der mit Klammern auf der Rückseite befestigt wurde. Die Fugenausbildung erfolgte entweder mit Keramikpapierstreifen, intumeszierenden Dichtungsbändern oder ohne Dichtungsbänder.

Die BSpH-Elemente wurden mit einer einfachen Nut-Feder-Verbindung zusammengefügt. Die Verbindung stellte ein 2,65 cm dickes und 9,5 cm breites, auf der brandabgewandten Seite aufgeklemmtes Koppelbrett dar. In den etwa 1 cm breiten Spalt der Elementfuge wurden entweder Mineralwollestreifen oder eine Art Keramikpapierstreifen in unterschiedlicher Dicke angeordnet.

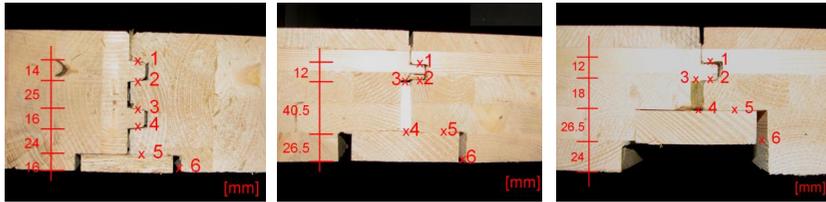


Bild 32: Ausführungsvarianten der Elementfugen

Der Versuch zeigte, dass bei den Fugen der BSpH-Elemente deutlich höhere Temperaturen gemessen wurden. Obwohl die Messstelle 1 bei den BSpH-Elementen mit 36 mm Tiefe 11 mm tiefer lag als die Messstelle 1 der BSH-Elemente, ist die Temperatur mit etwa 900 °C deutlich höher als die knapp 600 °C der BSH-Elemente. Dies ist zum einen auf die höhere Abbrandrate der BSpH-Elemente zurückzuführen, doch auch die Fugenausbildung ist hierfür verantwortlich. Die einfache Nut-Feder-Verbindung hat im Vergleich zur doppelten Nut-Feder-Verbindung einen höheren Temperatureintrag zur Folge. Entscheidend ist dabei die Ausbildung des dahinter liegenden Hohlraums. Die Komprimierung des Mineralwollestreifens von 20 mm auf 10 mm lieferte die besten Ergebnisse, führte jedoch bei der Montage auf Grund der hohen Druckspannungen zu einer Verformung der Wandlinie. Eine hohlraumfreie Fugenausbildung wie bei der doppelten Nut-Feder-Verbindung ist daher anzustreben.

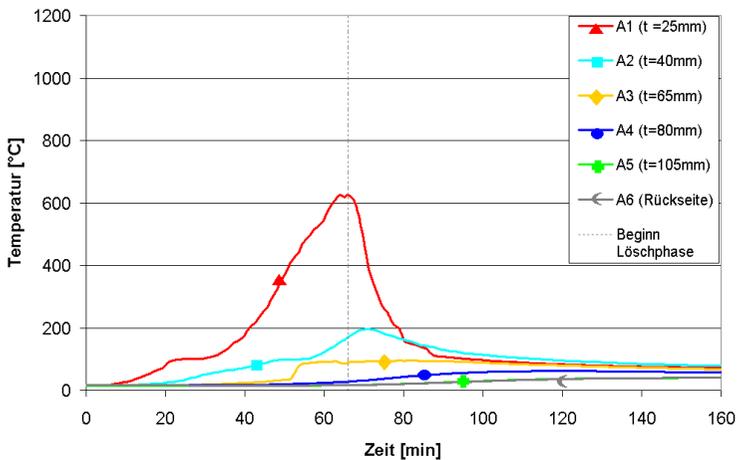


Bild 33: Temperaturentwicklung in der Fuge Typ A mit Keramikpapier [12]

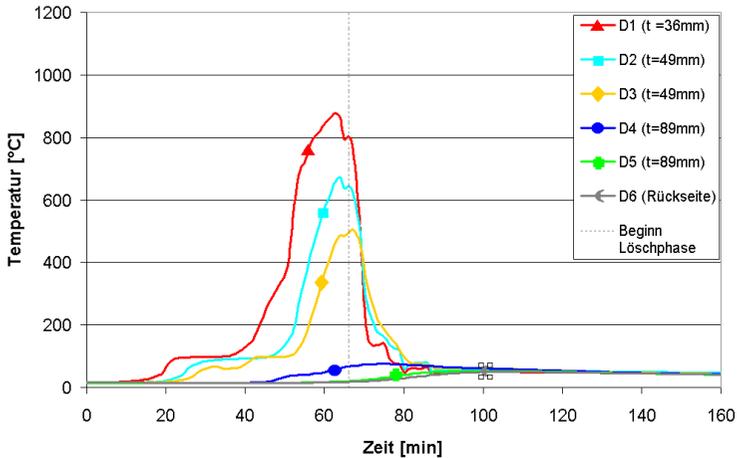


Bild 34: Temperaturentwicklung in der Fuge Typ B mit Steinwollestreifen (40 x 20 mm²) [12]

Die Temperaturverläufe innerhalb der Fugen machen ebenfalls deutlich, dass durch die Löschwasserbeaufschlagung ein sehr schnelles Absinken der Temperaturen eintrat und die Gefahr von Rückzündungen und des Weiterglimmens auch innerhalb der Fugen ab der 75. Minute ausgeschlossen werden konnte.

Auf Bild 35 (a) ist zu erkennen, dass bei der Fugenausbildung mit doppelter Nut-Feder-Verbindung die erste Feder verbrannt ist. Es ist keine verstärkte Verkohlung im Bereich der Fugen feststellbar. Die statisch wirksame Verbindung über das Koppelbrett weist keine Verkohlungserscheinungen auf. Dies belegt auch die Auswertung der mittleren Abbrandtiefe. Die mittlere Abbrandtiefe liegt bei ca. 4,7 cm und ist damit nur um 0,2 cm größer als im ungestörten Massivholzbereich.

In Bild 35 (b) ist bei der Fuge mit einfacher Nut-Feder-Verbindung eine stärkere Verkohlung im Vergleich zum ungestörten Holzbereich erkennbar. Bei der Fugenausbildung mit zurückgesetztem Koppelbrett war bereits eine Schädigung des Koppelbrettes festzustellen. Die dargestellte Nut-Feder-Verbindung war mit einem 15 mm starkem Steinwollestreifen abgedichtet.

Bei Verwendung eines 20 mm starken Steinwollestreifen und ansonsten identischer Fugenausbildung trat die verstärkte Verkohlung nicht in diesem Maße auf. Diese Ausführung erwies sich jedoch aus Montagegründen als ungeeignet, da die Druckspannungen des Mineralwollestreifens zu groß wurden.

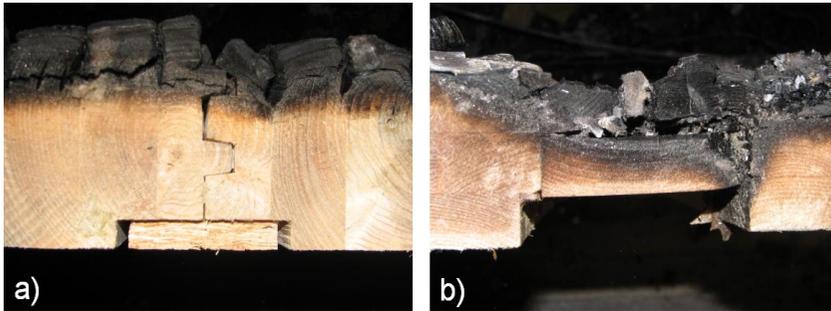


Bild 35: Verkohlungen bei den unterschiedlichen Fugenausbildungen

Die geringsten Abbrandtiefen traten bei den BSH-Elementen mit doppelter Nut-Feder-Verbindung ohne Hohlraum auf.

Während des Großbrandversuchs wurde bereits deutlich, dass sich die Ausführungen der Elementstöße als nicht rauchdicht erwiesen. Dies war nach der Montage der Holzelemente allerdings vorauszusehen. Bei den mittelformatigen Brandversuchen war es auf Grund der geringeren Bauteillängen noch möglich, die Anschlüsse rauchdicht auszuführen. Bei Bauteillängen von ca. 5 m führten Fertigungsungenauigkeiten unweigerlich dazu, dass die Elementfugen nicht über die gesamte Länge dicht geschlossen werden konnten. Bei den Wandelementen mit 1,5 m Länge trat diese Problematik nicht so stark auf. Aber auch hier konnte vereinzelt ein Rauchdurchtritt durch die Fugen beobachtet werden.

Die entsprechend Kapitel 2.1 durchgeführten Rauchdichtemessungen an drei Deckenfugen und zwei Wandfugen zeigten nur einen sehr geringen Rauchdurchtritt, alle Fugen hielten den vorgeschriebenen Grenzwert ein. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die „aufklaffenden“ Fugen an den Rändern der Decke befanden und die Messstrecken weiter in der Mitte angeordnet waren. Des Weiteren herrschte während der ersten 45 Minuten des Brandversuchs kein Überdruck im Brandraum.

Zusammenfassend kann zur Rauchdichtigkeit der Elementfugen festgestellt werden, dass diese nur bei sehr genauer Ausführung als rauchdicht angesehen werden können. Bereits kleinste Fertigungs- und Montageungenauigkeiten haben im Brandfall einen Rauchdurchtritt zur Folge. Diese Ungenauigkeiten sind bei großformatigen Bauteilen und dem natürlichen Baustoff Holz kaum zu vermeiden. Daher ist zur Sicherstellung der Rauchdichtigkeit eine Bekleidung anzuordnen.

4.4.4 Untersuchung der Bauteilfugen

Die Bauteilfugen zwischen den Wänden und der Decke wurden wie bei den mittelformatigen Brandversuchen stumpf zusammengefügt und anschließend verschraubt. In den Bauteilfugen kam ein 10 mm dicker Mineralwollestreifen (Schmelzpunkt > 1000 °C) zur Anwendung, der im Einbauzustand auf ca. 5 mm komprimiert war.

Die Temperaturentwicklung in der Bauteilfuge entsprach bei beiden Elementen etwa der des massiven Querschnitts. In geringeren Bauteiltiefen waren die Werte in der Bauteilfuge etwas höher und in größeren Bauteiltiefen etwas geringer.

Der Löschangriff durch die Feuerwehr bewirkte eine rasche Abkühlung der Temperaturen in der Bauteilfuge. Es bestand keine Gefahr der Rückzündung oder des Weiterglimmens.

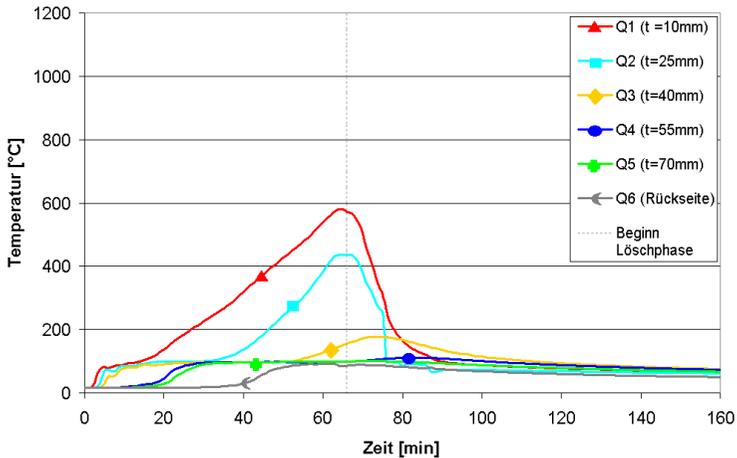


Bild 36: Temperaturverlauf in der Bauteilfuge Wand – Decke (BSH-Wand ohne Bekleidung) [12]

Bei den bekleideten Wandbauteilen wurden wie erwartet viel geringere Werte in den Bauteilfugen gemessen. Bei einem Vergleich zwischen der K₂30- und K₂15-Bekleidung lassen sich keine wesentlichen Temperaturunterschiede in der Bauteilfuge feststellen.

Die Temperaturen in der Bauteilfuge sind im Vergleich zum bekleideten Vollmaterial höher. Dies trifft insbesondere auf die größeren Messtiefen zu; so wurden in der Fuge in 70 mm Tiefe noch Temperaturen von ca. 90 °C gemessen. Der Temperatureintrag ist insgesamt jedoch als völlig unkritisch anzusehen.

Bild 36 zeigt ebenfalls, dass die Kühlwirkung des Löschwassers ein rasches Abfallen der Temperaturen bewirkte. Auch in den Bauteilfugen ist demnach ein unentdecktes Weiterglimmen nicht zu befürchten.

Die Bestimmung der Verkohlungstiefen in der Bauteilfuge Wand-Decke wurde sowohl im Hirnholz der Wand als auch an der Decke vorgenommen. Die mittlere Abbrandtiefe im Bereich der Bauteilfuge Wand-Decke betrug bei den unbekleideten BSH-Wandbauteilen 4,0 cm und bei den unbekleideten BSpH-Wandbauteilen 5,5 cm.

Es wurden ebenfalls die Abbrandtiefen an den Schnittpunkten der Elementfugen der Wände und der Bauteilfugen Wand-Decke bestimmt. Bild 37 zeigt ein solches Verkohlungsbild an einem BSH-Element. Bei der dargestellten doppelten Nut-Feder-Verbindung ist keine erhöhte Verkohlungstiefe im Bereich der Fuge erkennbar.



Bild 37: Abbrandtiefe in der Fuge Wand-Decke von BSH (am Elementstoß der Wand)

Im Gegensatz zu den BSH-Elementen wurde bei den BSpH-Elementen mit einfacher Nut-Feder-Verbindung zum Teil eine deutlich stärkere Verkohlung an diesen kritischen Schnittpunkten beobachtet. Bei den Verbindungen mit den zurückgesetzten Koppelbrettern fand sogar nach ca. 63 Minuten ein Durchbrand statt.

Der Temperatureintrag in die Eckverbindungen ist als unkritisch anzusehen und mit dem bei einem massiven Querschnitt vergleichbar. Die Kühlwirkung des Löschwassers erreichte auch im Eckfugenbereich rasch die Pyrolysefront, sodass die Temperaturen auch in größeren Bauteiltiefen schnell absanken (Bild 38).

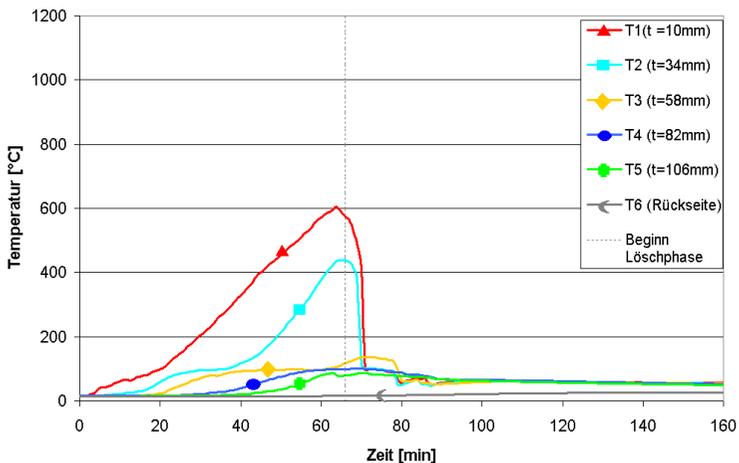


Bild 38: Temperaturentwicklung im Eckanschluss zwischen den BSH-Wänden [12]

Die Verkohlungen im Eckbereich sind im Vergleich zu den Verkohlungen an den Flächen als gering einzustufen. Dies ist auf den geometrisch bedingten geringeren Wärmeeintrag zurückzuführen.

4.5 Entwicklung der Konstruktionsanforderungen

Im Folgenden werden auf Grundlage von eigenen Brandversuchen an Massivholzbauteilen und unter Beachtung der wesentlichen Ergebnisse einer Literaturstudie [12] die Konstruktionsanforderungen für massive flächige Holzbauteile in der Gebäudeklasse 4 entwickelt. Diese Konstruktionsanforderungen sind Mindestanforderungen für Massivholzbauteile mit einem reduzierten Entzündungsschutz. Daher sind weitere Kompensationsmaßnahmen erforderlich, die in Kapitel 5.3 erarbeitet werden. Bei Ausführung der Massivholzbauteile als REI 60 K₂60 sind die Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie sinngemäß einzuhalten. Durch die Auswertung abgeschlossener Zulassungsprüfungen und die Erkenntnisse aus dem abschließenden Belegversuch konnte gezeigt werden, dass eine K₂60-Bekleidung auf Massivholzbauteilen ein ähnliches Brandverhalten aufweist wie auf Holztafelelementen. Die Schutzziele der Brandschutzbekleidung werden somit auch in gleicher Weise bei Massivholzelementen erreicht.

4.5.1 Brandverhalten der Fugen

Die Elementfugen müssen hohlraumfrei ausgeführt werden. Eine doppelte Nut-Feder-Verbindung ist zu bevorzugen. Das Spaltmaß zwischen den Elementen darf 2 mm nicht überschreiten, um einen verstärkten Einbrand zu verhindern [14]. Werden Fugen mit Hohlraum ausgeführt, ist dieser Raum mit nichtbrennbaren Baustoffen vollständig und rauchdicht auszufüllen.

4.5.1.1 Rauchdichtigkeit

Die Massivholzelemente sind mit Ausnahme der Brettstapelelemente als rauchdicht anzusehen. Dies war bereits auf Grund von Beobachtungen bei früheren Brandprüfungen bekannt und wurde durch eigene Laborbrandversuche im Zuge eines Forschungsvorhabens bestätigt [12].

Für Bauteilanschlüsse konnte die Rauchdichtigkeit durch das Einlegen eines mindestens 10 mm dicken Mineralwollestreifens mit einer Schmelztemperatur > 1000 °C bei eigenen Brandversuchen im mittleren Maßstab nachgewiesen werden. Die Verbindung ist dazu kraftschlüssig auszuführen, sodass der Mineralwollestreifen komprimiert wird. Da eine gleichmäßige Kompression auf Grund von Fertigungs- und Montageungenauigkeit nicht zuverlässig sichergestellt werden kann, sollte die Bauteiffuge bei unbekleideter Ausführung der Bauteile auf beiden Seiten durch eine dauerelastische Dichtungsmasse abgedichtet werden.

Auch die Rauchdichtigkeit der Elementfugen ist stark von den Fertigungs- und Montageungenauigkeiten abhängig und somit sehr fehleranfällig. Die Rauchdichtigkeit der Elementfugen muss daher auf eine andere Weise sichergestellt werden. Dies kann entweder durch die Anordnung einer beidseitigen rauchdichten Bekleidung oder alternativ durch eine einseitige K₂60-Bekleidung erfolgen. Die Ausführung eines zweischaligen Bauteilaufbaus mit einer innenliegenden Rauchdichtigkeitsebene ist ebenfalls denkbar.

4.5.1.2 Bauteilanschlüsse

Es dürfen keine (Element)-Fugen über raumabschließende Bauteile hinweggeführt werden, da diese auf Grund kaum vermeidbarer Fertigungs- und Montageungenauigkeiten nicht rauchdicht ausgeführt werden können. Eine Ausnahme bilden raumabschließende Wände zur Unterteilung derselben Nutzungseinheit in Teilbereiche (vgl. Kapitel 5.3). Schutzziel dieser Wände ist es, die Brandweiterleitung zu unterbinden. Die Rauchundichtigkeit ist als unkritisch anzusehen, da während des Großbrandversuchs durch den Wattebauschtest in Anlehnung an DIN 4102-2 nachgewiesen wurde, dass die Rauchgase nicht zu einer Brandweiterleitung auf der brandabgewandten Seite führen.

4.5.2 Löschverhalten

Durch die Brandversuche konnte eindeutig belegt werden, dass nach einem 60-minütigen Vollbrand massive Holzbauteile ohne vorheriges mechanisches Abtragen der Verkohlungs-schicht mit einem üblichen Löschangriff der Feuerwehr abgelöscht werden können. Dies gilt in gleicher Weise für die Elementfugen und Bauteilanschlüsse. Nach dem Löschen sind ein unbemerktes Weiterglimmen und eine Rückzündung der Bauteile nicht zu befürchten.

Die Temperaturaufzeichnungen zeigten zudem, dass auch unterhalb einer K₂30- oder K₂15-Brandschutzbekleidung die Wirkung des Löschwassers die Temperaturen auf unkritische Werte reduziert hat. Dennoch ist für diese Bereiche aus Sicherheitsgründen ein Abnehmen der Brandschutzbekleidung nach dem Löschangriff zu empfehlen, um ein Weiterglimmen zuverlässig ausschließen zu können.

4.5.3 Installationsführung

Installationen sind grundsätzlich außerhalb der Bauteile zu führen. Im Allgemeinen bietet sich hierfür die Schaffung einer Installationsebene an, die durch eine Vorsatzschale bzw. eine Unterdecke gebildet wird. Die Bauteiloberfläche der Massivholzelemente als Rückseite der Installationsebene muss aus einer nichtbrennbaren Bekleidung mindestens der Qualität K₂10 bestehen. Der Grund hierfür ist, dass bei einer Brandentstehung in der Installationsebene die Brandlasten der Konstruktion nicht direkt zugänglich sind.

Eine Ausnahme bilden elektrische Leitungen. Diese dürfen als Einzelleitung oder gebündelt zu maximal drei Leitungen auch innerhalb der Massivholzelemente geführt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Leitungen allseitig ohne Hohlraum durch nichtbrennbare Baustoffe umgeben sind. Dies ist sichergestellt, wenn in den Grund des Installationsschlitzes ein Gipsplattenstreifen eingelegt, anschließend die Leitung montiert und der restlichen Hohlraum durch eine nichtbrennbare Spachtelmasse verschlossen wird. Dies gilt insbesondere für Leitungsführungen in Bauteilebene (Bild 39).

Bei der Führung von Leitungen durch ein Massivholzelement hindurch kann von der Forderung nach einer nichtbrennbaren Ummantelung abgewichen werden, wenn es sich um ein mindestens schwerentflammbares Kabel [15] handelt, das hohlraumfrei geführt wird (Bild 39).

4.5.3.1 Elektroinstallationsdosen

Beim Einbau von Elektroinstallationsdosen ist darauf zu achten, dass diese bei gegenüberliegender Anordnung um mindestens 150 mm versetzt sind. Die Elektroinstallationsdosen müssen bei unbekleideter Ausführung der Bauteile auf ihrer Rückseite durch eine Gipsplatte vom Massivholzbauteil getrennt sein.

Bei Anordnung einer Brandschutzbekleidung muss diese in gleicher Qualität die Hohlraumdose umhüllen. Dies kann durch die Anordnung von Plattenmaterialien oder durch eine nicht-brennbare Spachtelmasse sichergestellt werden (Bild 39).

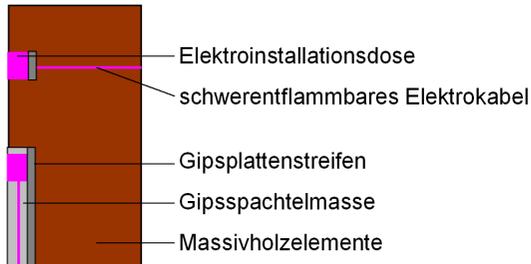


Bild 39: Führung von Elektroinstallationsdosen innerhalb massiver Holzbauteile

4.5.4 Massivholzelemente mit planmäßigen Hohlräumen

Bei Massivholzelementen mit planmäßigen Hohlräumen besteht wie bei der Holztafelbauweise die Gefahr von Hohlraumbränden. Ist ein Brand in den Hohlraum eingedrungen, kann er sich unbemerkt und vergleichsweise rasch ausbreiten. Die Gefahr ist von der Feuerwehr nur schwer zu erkennen und es können keine wirksamen Löscharbeiten durchgeführt werden. Nach dem Löschangriff bleiben Glutnester eventuell über längere Zeit bestehen, die nach dem Abrücken der Feuerwehr zu Rückzündungen führen können. In der Folge kann es letztendlich zu einem verzögerten Tragwerksversagen oder zu einem Durchbrand in angrenzende Nutzungseinheiten kommen.

Auf Grund dieses Gefahrenpotenzials sind Massivholzelemente mit planmäßigen Hohlräumen nur mit üblichen Massivholzelementen gleichzusetzen, wenn über die gesamte Feuerwiderstandsdauer sichergestellt ist, dass es nicht zu einem Hohlraumbrand kommt. Daher muss bei der Verwendung von Massivholzelementen mit planmäßigen Hohlräumen durch eine entsprechend dimensionierte massive Außenschicht sichergestellt sein, dass die Hohlräume nicht in das Brandgeschehen mit einbezogen werden. Als Maß wird der rechnerische Abbrand nach 60 Minuten zuzüglich eines Sicherheitszuschlags von 2 cm vorgeschlagen. Der rechnerische Abbrand kann durch Anordnung einer Bekleidung reduziert werden.

Darüber hinaus müssen die Hohlräume vollständig mit nichtbrennbaren Baustoffen gefüllt sein, um die Ansammlung von Rauchgasen und einen damit verbundenen verstärkten Fugeneinbrand zu unterbinden.

5 Qualitative Bewertung des Brandverhaltens

Im Zuge einer Risikoanalyse soll der Nachweis geführt werden, dass die Schutzziele bei Anordnung brennbarer Dämmstoffe in Holztafelbauelementen oder bei Verwendung massiver, flächiger Holzbauteile in mindestens ebenbürtiger Weise erreicht werden wie bei Gebäuden in Holztafelbauweise entsprechend der Muster-Holzbaurichtlinie. Die durchgeführten Brandversuche dienen dazu, das Risikopotenzial der unterschiedlichen Bauweisen einordnen zu können.

Zur Durchführung einer qualitativen Risikoanalyse werden die Bauweisen entsprechend ihrer Kapselungsdauer eingeteilt in:

- Bauteile mit 60 Minuten Entzündungsschutz,
- Bauteile mit 30 Minuten Entzündungsschutz,
- Bauteile ohne Entzündungsschutz.

Innerhalb dieser Kapselklassen erfolgt eine Beurteilung der Bauteile und ihres brandschutztechnischen Risikos entsprechend ihrer Bauweise. Dabei wird unterschieden zwischen:

- Holztafelbauweise mit nichtbrennbarer Dämmung,
- Holztafelbauweise mit brennbarer Dämmung,
- Holzmassivbauweise.

5.1 Holzbauteile mit einer K₂60-Brandschutzbekleidung

5.1.1 Holztafelbau mit nichtbrennbarer Wärmedämmung

Wie die Ausführungen zur Erarbeitung der Muster-Holzbaurichtlinie in Kapitel 2 zeigen, werden die bauweisenspezifischen Brandrisiken durch die Anordnung einer 2-lagigen Brandschutzbekleidung mit versetzten Fugen und die Anordnung einer nichtbrennbaren Wärmedämmung mit einem Schmelzpunkt > 1000 °C vollständig kompensiert. Installationen sind grundsätzlich außerhalb der Bauteile zu führen. Die Führung einzelner elektrischer Leitungen sowie die Anordnung von Elektroinstallationsdosen dürfen unter bestimmten Voraussetzungen innerhalb der Bauteile erfolgen. Die exakten Anforderungen zur Ausführung sind in Kapitel 2.2.1 dargestellt.

5.1.2 Holztafelbau mit brennbarer Wärmedämmung

Diese Ausführungsvariante unterscheidet sich von der zuvor genannten Bauweise dadurch, dass die Hohlräume des Holztafelbaus mit brennbarer Dämmung gefüllt sind. Das Brandrisiko für die Bewohner erhöht sich somit durch die zusätzlich eingebrachten Brandlasten und eine damit verbundene begünstigte Brandausbreitung innerhalb der Konstruktion. Des Weiteren muss das Ausgasungsverhalten der brennbaren Dämmstoffe berücksichtigt werden. Bereits bei Temperaturen deutlich unterhalb der Entzündungstemperatur neigen brennbare Dämmstoffe zu einer thermischen Zersetzung und Ausgasung. Aufgrund der Masse der Dämmstoffe besteht die Gefahr, dass sich im Bauteilinnern eine große Menge dieser brennbaren Gase ansammelt und sich ein leicht entzündliches Mischungsverhältnis einstellt. Wenn die Feuerwehr die Konstruktion öffnen muss, um

Glutnester zu löschen oder um sicher zu gehen, dass keine Glutnester vorliegen, kann es zu einer schlagartigen Durchzündung und damit zu einer erheblichen Gefährdung der Einsatzkräfte kommen. Das Schutzziel der Brandschutzbekleidung muss demnach bei brennbaren Dämmstoffen dahingehend erweitert werden, dass auch die Ausgasung der Dämmstoffe verhindert wird. Dies ist durch die in Kapitel 3 beschriebenen Brandversuche nachgewiesen worden. Hinzu kommt, dass die Brandschutzbekleidung keine Schwachstellen in Form von Elektroinstallationsdosen aufweisen darf. Dies ist beim Holztafelbau mit nichtbrennbarer Dämmung unbedenklich, sofern der Abstand zum benachbarten Holzständer mindestens 150 mm beträgt. Bei nichtbrennbarer Dämmung würden diese Schwachstellen sofort zur Brandeinleitung in die Konstruktion beitragen. Darüber hinaus dürfen keine Zündquellen in Form von elektrischen Leitungen in den Bauteilen verlegt werden.

Unter weiterer Berücksichtigung der in Kapitel 3 genannten Punkte ist ein Holztafelbauteil mit 60-minütigem Entzündungsschutz und brennbarer Dämmung einem ansonsten identischen Bauteil mit nichtbrennbarer Wärmedämmung ebenbürtig. Bei Bauteilen mit brennbarer Dämmung muss jedoch neben dem Entzündungsschutz der Holzbauteile ebenfalls die thermische Zersetzung der Dämmstoffe während der gesamten Feuerwiderstandsdauer verhindert werden.

5.1.3 Holzmassivbauweise

Wie bei der Holztafelbauweise stellt auch bei der Holzmassivbauweise eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung die entscheidende bauliche Kompensationsmaßnahme dar. Aufgabe dieser Bekleidung ist es, einen Entzündungsschutz der Holzbauteile unter Vollbrandbedingungen über die geforderten 60 Minuten Feuerwiderstandsdauer sicherzustellen. Massive Holzbauteile, die mit einer K₂60-Brandschutzbekleidung ausgeführt werden, weisen im Vergleich zur Holztafelbauweise mit einer K₂60-Bekleidung mindestens das gleiche Sicherheitsniveau auf. Die thermische Umsetzung der immobilen Brandlast wird über die gesamte Branddauer verhindert. Durch die nichtbrennbare Bekleidung wird ebenfalls der Gefahr einer schnellen Brandausbreitung über brennbare Oberflächen begegnet. Die Gefahr des Weiterglimmens und Rückzündens ist ebenfalls durch die Anordnung der Brandschutzbekleidung mit einem Entzündungsschutz von 60 Minuten ausgeschlossen. Das Risiko einer unbemerkten Brandausbreitung im Innern der Bauteile ist ohnehin konstruktionsbedingt nicht zu befürchten.

5.2 Holzbauteile mit einer K₂30-Brandschutzbekleidung

5.2.1 Holztafelbau mit nichtbrennbarer Wärmedämmung

Die Reduzierung der Brandschutzbekleidung von 60 Minuten Entzündungsschutz auf 30 Minuten hat zur Folge, dass es im Brandfall bei spätem Eintreffen der Feuerwehr und einer eventuell durchzuführenden Fremdrettung von Personen zu einer Entzündung der Holzkonstruktion kommen kann. Dies hat die thermische Umsetzung der immobilen Brandlast der Konstruktion zur Folge. Weiterhin besteht die Gefahr von Hohlraumbränden und der raschen Rauchweiterleitung im Innern der Konstruktion. Diese ist auf Grund der nichtbrennbaren Wärmedämmung als vergleichsweise gering einzustufen, muss aber dennoch berücksichtigt werden.

Zur Kompensation kann eine Brandmeldeanlage dienen, die für eine frühzeitige Alarmierung der Bewohner sorgt, die vor dem Versagen der Brandschutzbekleidung das Gebäude selbstständig verlassen können. Eine Brandmeldeanlage nach DIN VDE 0833 Teil 2 und DIN 14675 zieht die Anordnung erheblicher technischer Einrichtungen wie die Übertragungsanlage zur Feuerwehr oder die Brandmeldezentrale nach sich. Dieser erhebliche technische und finanzielle Aufwand sollte daher nur für Sonderbauten mit einem höheren Risikopotenzial gefordert werden. Eine Alternative, die Vorteile der automatischen Brandmeldung mit geringerem Aufwand für Wohngebäude nutzen zu können, bietet die Anordnung von Brandmeldern nach DIN 14676. Um die Funktionstüchtigkeit der Brandmelder zu gewährleisten, sollte jedoch eine regelmäßige Wartung durch eine Elektrofachkraft vorgesehen werden. Die Auslösung des automatischen Alarms führt auch ohne automatische Übertragung zur unverzüglichen Alarmierung der Feuerwehr durch Nutzer oder Passanten. Eine eventuell erforderliche Fremdrettung kann somit ebenfalls schnell erfolgen, ebenso die eigentliche Brandbekämpfung [16].

Die Brandmeldeanlage sollte mindestens folgende Leistungsstandards erfüllen:

- Anordnung von vernetzten Rauchwarnmeldern nach DIN 14676 in allen Zimmern und den Rettungswegen
- Energieversorgung über das öffentliche Stromnetz und über eine Batterie als Zusatzversorgung
- bei Meldung Auslösung eines Tonsignals zunächst innerhalb der betroffenen Nutzungseinheit und anschließend im Gesamtgebäude
- Installation der vernetzten Rauchwarnmelder durch eine Elektrofachkraft
- Wartung der vernetzten Rauchwarnmelder gemäß DIN 14676 mindestens einmal pro Jahr durch eine Elektrofachkraft

5.2.2 Holztafelbau mit brennbarer Dämmung

Die in Kapitel 3 dargestellten Brandversuche zeigten, dass beim Holztafelbau mit brennbarer Dämmung ein Hohlraumbrand im Vergleich zur Ausführung mit nichtbrennbarer Wärmedämmung ein erheblich höheres Risiko darstellt. Auf Grund der Brennbarkeit und der hohen Glimmneigung der Dämmstoffe breiten sich Hohlraumbrände deutlich schneller aus und sind kaum von der Feuerwehr zu bekämpfen. Daher muss auch bei einer Reduzierung der Kapselungsdauer auf 30 Minuten der thermische Schutz der Dämmstoffe weiterhin über 60 Minuten sichergestellt sein. Dies wird, wie in Kapitel 3 ausgeführt, durch eine unterhalb der Brandschutzbekleidung angeordnete Holzwerkstoffplatte gewährleistet. Unter Beachtung dieser Zusatzanforderung sind K₂30-gekapselte Holztafelelemente mit brennbarer Dämmung Holztafelelementen mit nichtbrennbarer Dämmung und identischer Kapselungsdauer ebenbürtig. Demzufolge sind zur Kompensation der reduzierten Kapselungsdauer ebenfalls die in Kapitel 5.2.1 aufgeführten Maßnahmen der frühzeitigen Alarmierung als ausreichend anzusehen.

5.2.3 Holzmassivbauweise

Die Risikoanalyse zeigt, dass eine Gleichwertigkeit massiver flächiger Holzbauteile zur Holztafelbauweise entsprechend der Muster-Holzbaurichtlinie nur gegeben ist, wenn die Massivholzelemente ebenfalls eine K₂60-Brandschutzbekleidung erhalten.

Bei einer Reduzierung der Brandschutzbekleidung von 60 auf 30 Minuten Entzündungsdauer erhöht sich das Brandrisiko wie bei der Holztafelbauweise dadurch, dass es im Brandfall bei spätem Eintreffen der Feuerwehr und einer eventuell durchzuführenden Fremdrettung von Personen zu einer Entzündung der Massivholzelemente kommen kann. Obwohl insgesamt eine deutlich höhere Brandlast vorliegt, ist die Risikosituation als günstiger einzustufen, da die Gefahr unentdeckter Hohlraumbrände nicht besteht. Zur Kompensation kann wie bei der Holztafelbauweise eine automatische Brandmeldeanlage angesetzt werden.

5.3 Unbekleidete Holzmassivbauweise

Da bei der Holzmassivbauweise die Gefahr unentdeckter Hohlraumbrände nicht besteht, ist eine weitere Reduzierung der Brandschutzbekleidung oder die unbekleidete Ausführung denkbar. Dies hat jedoch wiederum eine Erhöhung des brandschutztechnischen Risikos für das Gebäude zur Folge, die sinnvoll kompensiert werden muss. Eine weitere Reduzierung der Brandschutzbekleidung ist hingegen für die Holztafelbauweise nicht vertretbar, da über die Hohlräume eine rasche unentdeckte Brand- und Rauchausbreitung in benachbarte Nutzungseinheiten stattfinden kann.

Doch auch ohne die Gefahr von Hohlraumbränden erhöht sich bei der Holzmassivbauweise bei vollständigem Verzicht auf eine Brandschutzbekleidung das Brandrisiko zusätzlich durch folgende Faktoren:

- rasche Brandausbreitung über brennbare Oberflächen,
- sofortige Umsetzung der zusätzlichen immobilien Brandlast,
- Nachweis des Löschverhaltens und der Rauchdichtigkeit nicht gegeben.

Die brennbaren Oberflächen haben zur Folge, dass sich ein Brand im Vergleich zu gekapselten Bauteilen schneller zu einem Vollbrand entwickeln kann. Durch die zusätzliche Brandlast ist zudem mit einer höheren Wärmefreisetzung beim Brand zu rechnen.

Der Nachweis des Löschverhaltens und der Rauchdichtigkeit ist im Zuge dieser Arbeit durch die in Kapitel 4 beschriebenen eigenen Brandversuche an massiven, flächigen Holzbauteilen geführt worden. Es konnte gezeigt werden, dass nach einem Vollbrand von 60-minütiger Dauer und anschließendem Löschangriff die Gefahr des unentdeckten Weiterglimmens und einer damit verbundenen Rückzündung der Bauteile nicht besteht. Die Bauteile konnten durch einen üblichen Löschangriff ohne mechanisches Abtragen der Verkohlungsschicht gelöscht werden. Damit ist eine Grundvoraussetzung für den Einsatz massiver, flächiger Holzbauteile mit reduzierter Brandschutzbekleidung erfüllt. Der Nachweis der Rauchdichtigkeit konnte für die Massivholzelemente einschließlich der Fugen durch die Anordnung einer rauchdichten Bekleidung erbracht werden.

Bei vollständigem Verzicht auf eine Brandschutzbekleidung muss die thermische Umsetzung der zusätzlich eingebrachten Brandlasten der Konstruktion daher auf andere Weise verhindert werden, z. B. durch die Installation einer automatischen Löschanlage. Die Löschanlage begrenzt den Brand bereits in der Entstehungsphase, sodass nur ein geringer

Anteil der immobilen Brandlasten umgesetzt wird. Der Brand wird kontrolliert und auf die Größe eines Entstehungsbrandes reduziert, der letztendlich von der Feuerwehr vollständig gelöscht wird.

Je früher die Brandbekämpfungsmaßnahmen eingeleitet werden, desto effektiver lässt sich die Wärmefreisetzungsrate eines Brandes reduzieren (Bild 40). Die Gefahr der schnellen Brandausbreitung über brennbare Oberflächen ist ebenfalls kompensiert.

Die Auslegung einer Löschanlage für öffentliche Gebäude oder Industrieanlagen erfolgt entsprechend den Richtlinien der Sachversicherer (CEA-VDS). Für diese Systeme bestehen erhöhte Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Wasserversorgung. Auf Grund positiver Erfahrungen in anderen europäischen Ländern und begleitenden wissenschaftlichen Arbeiten im nationalen Bereich ist zu überlegen, ob zur Kompensation in Wohngebäude nicht sogenannte „residential sprinkler“ eingesetzt werden können, die direkt an die Hauswasserversorgung angeschlossen werden und somit geringere Kosten verursachen.

Die Löschanlage dient ebenfalls der automatischen Branderkennung und -meldung, da bei Auslösen eines Sprinklerkopfes durch den Druckabfall im System ein Alarm ausgelöst wird.

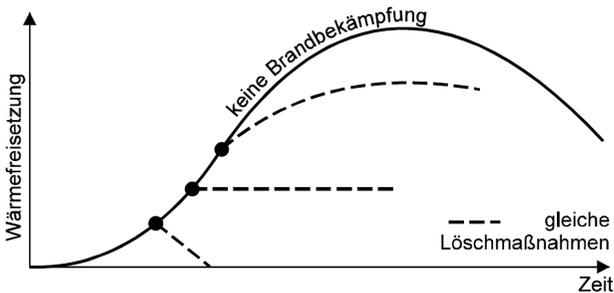


Bild 40: Auswirkung frühzeitiger Löschmaßnahmen auf die Wärmefreisetzungsrate [17]

Wird auf eine Brandschutzbekleidung verzichtet und zur Kompensation keine automatische Löschanlage vorgesehen, muss für den Brandfall die thermische Umsetzung der zusätzlichen immobilen Brandlast unterstellt werden. In dem ersten Forschungsprojekt zur Erarbeitung der Muster-Holzbaurichtlinie [4] wurde dargelegt, dass die bewertete Brandlast eines Referenzgebäudes in Holz-Massivbauweise ohne brandschutztechnische Bekleidung etwa 850.000 kWh beträgt. Demgegenüber steht ein Wert 230.000 kWh für das gleiche Gebäude in nichtbrennbarer Massivbauweise (vgl. Bild 41). Bei identischer Größe der Nutzungseinheit findet somit bei Verwendung unbedeckter Massivholzelemente etwa eine Vervierfachung (3,7-fach) der im Brandfall umsetzbaren Brandlast statt.

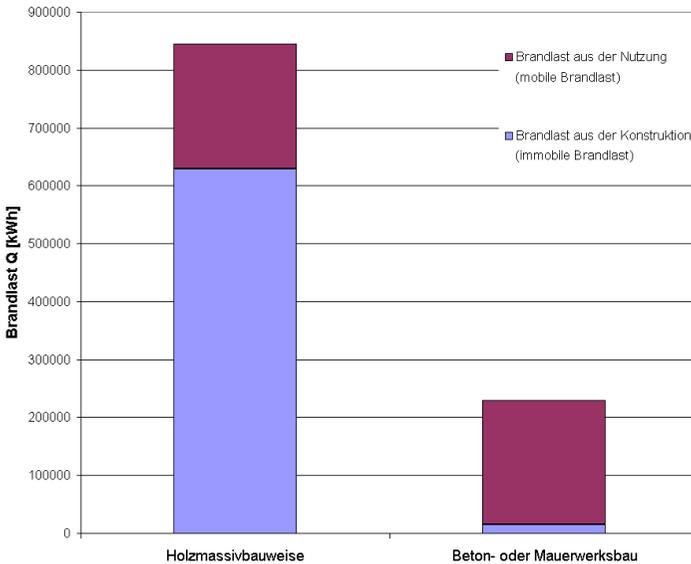


Bild 41: Brandlastvergleich zwischen Holzmassivbauweise und Beton- oder Mauerwerksbau [4]

Im Vergleich zur gekapselten Holzbauweise kann ein Feuer bei Verwendung unbekleideter Massivholzelemente eine deutlich höhere Wärmefreisetzung zur Folge haben, wodurch es von der Feuerwehr schwieriger zu beherrschen ist. Einen Beleg hierfür lieferte auch der Löschangriff durch die Feuerwehr nach dem Großbrandversuch, in dem das Abkühlen der Brandraumtemperatur einen erheblich höheren Aufwand als üblich erforderte. Diese Aussage bezieht sich auf Erfahrungswerte der anwesenden Feuerwehrleute und spiegelt die Tatsache wider, dass die zusätzliche Brandlast der Konstruktion thermisch umgesetzt wird. Bei der Verwendung unbekleideter Massivholzelemente muss diesem Sachverhalt durch eine Begrenzung der thermisch umsetzbaren Brandlast begegnet werden. Dies geschieht durch:

- Reduzierung der maximalen Größe der Nutzungseinheit,
- Beschränkung unbekleideter Bauteile auf Teilbereiche.

Die maximale Größe von Nutzungseinheiten innerhalb der Gebäudeklasse 4 beträgt 400 m². Eine Fläche von 400 m² gilt bei Feuerwehrleuten als im Brandfall gerade noch beherrschbar. Falls alle Bauteile in massiver Holzbauweise und ohne Bekleidung ausgeführt werden sollen, muss die maximal zulässige Fläche einer Nutzungseinheit um etwa einen Faktor 4 reduziert werden, damit die Gesamtbrandlast der Nutzungseinheit die allgemein übliche Gesamtbrandlast bei 400 m² und nichtbrennbarer Massivbauweise nicht überschreitet. Die maximal zulässige Größe einer Nutzungseinheit, deren Wand- und Deckenbauteile aus unbekleideten, massiven Holzbauteilen bestehen, sollte daher auf ca. 100 m² begrenzt werden. Hiervon kann abgewichen werden, wenn die Nutzungseinheit durch innere Trennwände in Teilbereiche von jeweils maximal 100 m² unterteilt wird.

Alternativ kann bei einer Reduzierung des Anteils unbedeckter Holzbauteile die maximal zulässige Fläche der Nutzungseinheit entsprechend vergrößert werden. Aus aktuellen Bauvorhaben weiß man, dass oftmals der Wunsch nach einer unbedeckten Deckenunterseite besteht. Eine Auswertung der Grundrissvarianten des im Forschungsvorhaben [4] entwickelten Referenzgebäudes zeigte, dass die Deckenunterseite etwa 30 % der Oberfläche der Umfassungsbauteile einer Nutzungseinheit ausmacht, wenn man den Fußboden, der nur geringfügig am Brandgeschehen beteiligt ist, vernachlässigt. Auf der sicheren Seite liegend wird ein Flächenanteil der unbedeckten Deckenunterseiten von 50 % angenommen. Ist also höchstens die Hälfte der Konstruktionsoberflächen (ohne Fußbodenoberflächen) brennbar, sollte die Größe der Nutzungseinheiten auf maximal 200 m² beschränkt werden. Diese Größe ist im Allgemeinen für Wohnungen als ausreichend anzusehen.

In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass bei unbedeckter Ausführung der Holzkonstruktion mit einer sehr schnellen Brandausbreitung zu rechnen ist. Damit steigt die Gefahr, dass der erste Rettungsweg frühzeitig blockiert wird. Durch die rasche Brandentwicklung und die Verrauchung kann ggf. auch der zweite Rettungsweg über das Fenster bis zum Eintreffen der Feuerwehr nicht nutzbar sein. Neben einer frühzeitigen Alarmierung der Bewohner durch eine automatische Brandmeldeanlage muss daher die Rettungswegsituation insgesamt verbessert werden. Dies kann z. B. durch den Einbau von Rauchschutztüren zwischen der Nutzungseinheit und dem notwendigen Flur geschehen. Für den Fall, dass Nutzungseinheiten direkt an das Treppenhaus angeschlossen werden, sind T 30-RS-Türen anzuordnen.

Alternativ kann ein zweiter baulicher Rettungsweg beispielsweise über eine Außentreppe angeordnet werden, der bei einer Blockierung des ersten Rettungsweges durch Feuer und Rauch benutzbar wäre, sodass auf den Einbau von klassifizierten Wohnungseingangstüren verzichtet werden könnte.

5.4 Zusammenfassung der Brandschutzkonzepte

Auf Grundlage der zuvor dargestellten Ergebnisse der Brandversuche und der Risikoanalyse kommen fünf unterschiedliche Brandschutzkonzepte in Frage, die im Folgenden nochmals zusammengefasst dargestellt werden.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Brandschutzkonzepte

	Konzept				
	1	2	3	4	5
Bauweise	Holztafelbauweise (nichtbrennbare Dämmung) (brennbare Dämmung) Holzmassivbauweise		Holzmassivbauweise		
Qualität der Bauteile	REI 60 K ₂ 60	REI 60 K ₂ 30	REI 60 unbedeckt	REI60 unbedeckt	REI60 K ₃₀ / K ₀
Max. Größe der NE	< 400 m ²	< 400 m ²	< 400 m ²	< 100 m ²	< 200 m ²
Brandmeldeanlagen	-/-	Ja	-/-	Ja	Ja
Klassifizierte Türen	-/-	-/-	-/-	Ja *	Ja *
Rettungswegsituation	-/-	-/-	-/-	Ja *	Ja *
Autom. Löschanlagen	-/-	-/-	Ja	-/-	-/-

*) Alternativ zur Verbesserung der Wohnungseingangstüren kann die Rettungswegsituation durch Anordnung eines 2. baulichen Rettungsweges verbessert werden.

Konzept 1: K₂60-Kapselung

Durch die Kapselung aller tragenden und raumabschließenden Bauteile über die erforderliche Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten (Gebäudeklasse 4) wird die thermische Zersetzung der Konstruktion verhindert. Die nichtbrennbaren Oberflächen unterbinden ebenfalls die Gefahr einer schnellen Brandausbreitung. Wie bei der Holztafelbauweise entsprechend der Muster-Holzbaurichtlinie werden in diesem Fall alle speziellen Risiken, die von der Holzbaupweise ausgehen, durch die Brandschutzbekleidung beherrscht. Dies gilt auch bei der Anordnung brennbarer Dämmstoffe, sowie bei der Verwendung massiver Holzbauelemente.

Konzept 2: K₂30-Kapselung

Alle tragenden und raumabschließenden Bauteile werden mit einem reduzierten Kapselungsschutz von 30 Minuten versehen. Damit existieren keine brennbaren Oberflächen, sodass die Gefahr der schnellen Brandausbreitung nicht besteht. Der Gefahr einer Entzündung der Bauteile nach 30 Minuten wird durch die Anordnung einer automatischen Brandmeldung begegnet.

Konzept 3: automatische Löschanlage

Alle tragenden oder raumabschließenden Bauteile bleiben unbedeckt. Die Nutzungseinheit wird auf 400 m² begrenzt und zur Kompensation der zusätzlichen Brandlast der Konstruktion wird eine automatische Löschanlage installiert.

Konzept 4: unbedeckte Bauteile

Es werden unbedeckte Massivholzelemente im gewünschten Umfang verwendet. Die dadurch vergrößerte immobile Brandlast wird durch Reduktion der maximal zulässigen Größe der Nutzungseinheit kompensiert. Unter der Voraussetzung, dass alle brennbaren Holzoberflächen unbedeckt bleiben, ist die Größe der Nutzungseinheiten auf 100 m² zu begrenzen. Zur Kompensation der schnellen Brandausbreitung über brennbare Oberflächen wird eine Brandmeldeanlage in Kombination mit klassifizierten Wohnungseingangstüren eingesetzt. Als Alternative zum Einbau klassifizierter Wohnungseingangstüren kann ein 2. baulicher Rettungsweg angeordnet werden.

Konzept 5: teilweise unbedeckte Bauteile

Dieses Konzept ist eine Kombination der Konzepte 2 und 4. Wenn maximal 50 % der Bauteiloberflächen unbedeckt ausgeführt werden, wobei es sich in der Regel um die Unterseiten der Decken handeln wird, ist die Größe der Nutzungseinheiten auf 200 m² zu begrenzen. Die restlichen Oberflächen werden mit einer Brandschutzbekleidung mindestens der Qualität K₂30 geschützt. Die Kompensationsmaßnahmen zur Verbesserung der Rettungswegsituation sind entsprechend dem Konzept 4 zu wählen.

5.5 Besondere Anforderungen

5.5.1 Anforderungen an Brandwände und Treppenraumwände

In § 30 und § 35 der MBO wird für Brandwände und Treppenraumwände in der Gebäudeklasse 4 gefordert, dass diese auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung mindestens hochfeuerhemmend sein müssen. Diese Anforderung sieht eine allseitige Bekleidung mit nichtbrennbaren Baustoffen in der Qualität K₂60 vor, von der auf Grund des hohen Stellenwerts dieser Bauteile im Standard-Brandschutzkonzept der MBO nicht abgewichen wird.

5.5.2 Anforderungen an notwendige Flure

Die MBO schreibt in § 36 vor, dass Wände notwendiger Flure als raumabschließende Bauteile mindestens feuerhemmend sein müssen. Wände und Decken in notwendigen Fluren, die aus brennbaren Baustoffen bestehen, müssen eine Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen in ausreichender Dicke aufweisen. Die Anforderung „in ausreichender Dicke“ ist nicht näher erläutert, sollte jedoch in ihrer Leistungsfähigkeit mindestens einer K₂10-Bekleidung entsprechen. Dies bedeutet für nichttragende Bauteile, dass diese wie bisher auch in Holzmassivbauweise ausgeführt werden dürfen, aber auf der Seite des Rettungsweges eine K₂10-Brandschutzbekleidung aufweisen müssen.

Haben die Bauteile jedoch eine tragende und/oder aussteifende Funktion zu erfüllen, sind die zuvor definierten Anforderungen einzuhalten. Dabei ist zu beachten, dass auf der Seite des notwendigen Flures immer eine nichtbrennbare Bekleidung mindestens in der Qualität K₂10 anzuordnen ist. Somit sind folgende Aufbauten möglich:

- beidseitige Kapselung in der Qualität K₂60 (keine Kompensation erforderlich),
- K₂60-Bekleidung auf der Seite der Nutzungseinheit, mindestens K₂10-Bekleidung auf der Seite des notwendigen Flures,
- unbekleidet auf der Seite der Nutzungseinheit, K₂60-Bekleidung auf der Seite des Flures,
- K₂30-Bekleidung auf der Seite der Nutzungseinheit, K₂30-Bekleidung auf der Seite des Flures.

6 Beurteilung des Brandrisikos

Risiko bezeichnet die Möglichkeit, dass ein Schaden eintritt. Das Risiko ist dabei definiert als Produkt aus der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und dem Erwartungswert des damit einhergehenden Schadens.

$$R = h \times E$$

Mit: R: Risiko

h: Eintretenswahrscheinlichkeit des Schadensereignisses im Bezugszeitraum,

E: Erwartungswert des Schadens.

Da es sich bei der Eintretenswahrscheinlichkeit um eine dimensionslose Größe zwischen 0 und 1 handelt entspricht die Einheit des Risikos der Einheit des Schadens. Im Bereich des Brandschutzes besteht das Risiko hauptsächlich aus Personen- und Sachschäden.

Das Gesamt-Brandrisiko unterschiedlicher Gebäude berechnen und vergleichen zu können ist sehr schwierig, da es sich aus einer Vielzahl von Faktoren zusammensetzt. Die Aufgabe wird umso komplexer, wenn die Gebäude in verschiedenen Bauweisen erstellt werden. Zur Risikobewertung stehen prinzipiell drei unterschiedliche Vorgehensweisen zur Verfügung deren Vorzüge und Nachteile im Folgenden kurz vorgestellt werden [17], [18], [19], [20].

6.1 Qualitative Risikoanalysen

Die einfachste Form der Risikobewertung stellt eine rein qualitative Risikoanalyse dar [17], [18]. Die qualitative Risikoanalyse spiegelt als Teil von Brandschutzkonzepten derzeit den üblichen Weg eines brandschutztechnischen Risikonachweises wider. Dabei wird auf Grundlage technischer Zusammenhänge eine geeignete Kompensationsmaßnahme für ein erhöhtes Brandrisiko bestimmt. Dieses wird anschließend rein qualitativ diskutiert und abschließend festgelegt, ob das erhöhte Brandrisiko durch die entsprechende Maßnahme ausreichend kompensiert wird. Das Ergebnis wird nicht rechnerisch belegt. Dem Anwender kommt dabei ein hohes Maß an Verantwortung zu, ebenso der prüfenden Baubehörde oder dem zuständigen Prüfenieur für Brandschutz. Es ist erforderlich, dass der Anwender ein Spezialist auf dem Gebiet des Brandschutzes ist und seine Beurteilung möglichst objektiv treffen kann. Die Vorteile einer rein qualitativen Risikoanalyse sind die schnelle Durchführbarkeit der Bewertung und die universelle Einsetzbarkeit.

6.2 Semi-quantitative Risikoanalysen

Das Ziel einer Indexmethode ist die vereinfachte, schematische Risikobewertung von Gebäuden. Semi-quantitative Risikoanalysen oder Indexmethoden erlauben die Einordnung verschiedener Gebäude entsprechend ihrem Brandrisiko in eine Rangfolge. Sie sind allerdings nicht in der Lage, das Brandrisiko quantitativ zu bewerten. Das Ergebnis wird zwar in Form einer Zahl geliefert, diese gibt allerdings nur Auskunft über das Brandrisiko im Vergleich zu einem weiteren vergleichbaren Gebäude bzw. dem gleichen Gebäude vor oder nach einer Umbaumaßnahme [17], [18].

Semi-quantitative Risikoanalysen wurden zur vereinfachten Risikobewertung entwickelt. Dabei ist zu beachten, dass die Methoden immer nur für einen speziellen Anwendungstyp, zum Beispiel Wohngebäude der Gebäudeklasse 4, entwickelt werden können. Bei einer davon abweichenden Anwendung muss die Methode erst dahingehend umgearbeitet werden, dass die für die jeweilige Risikosituation maßgebenden Einflüsse berücksichtigt werden.

An einem stark vereinfachten Beispiel lässt sich die Durchführung einer Indexmethode kurz erläutern. Das Gesamtbrandrisiko eines Gebäudes setzt sich aus den Parametern Feuerwiderstand, Rettungswegsituation und Anlagentechnik zusammen. Diese Parameter sind entsprechend ihrem Einfluss auf das Gesamtbrandrisiko mit unterschiedlichen Gewichtungen belegt. Wie in Bild 42 dargestellt, beträgt der Einfluss des Feuerwiderstands 50 %, der Rettungswegsituation 30 % und der Anlagentechnik 20 %. Der Einfluss der drei Parameter ist für dieses Beispiel willkürlich gewählt worden.

Feuerwiderstand	Rettungswege	Anlagentechnik
Gewichtung = 50 %	Gewichtung = 30 %	Gewichtung = 20 %
<u>Bewertung:</u>	<u>Bewertung:</u>	<u>Bewertung:</u>
F 90 5	2 baul. Rettungswege 5	Löschanlage + Brandmeldeanlage 5
F 60 4	1 baul. Rettungsweg + 1 Balkon 3	Löschanlage 3
F 30 2	1 baul. Rettungsweg + 1 Fenster 2	Brandmeldeanlage 2
Ohne Feuerwiderstand 0	1 baul. Rettungsweg 0	Keine Anlagentechnik 0

Bild 42: Beispiel einer vereinfachten Indexmethode

Jeder Parameter wird nun entsprechend der vorhandenen beziehungsweise der geplanten Bauausführung bewertet. Für ein Gebäude in der Feuerwiderstandsklasse F 60 mit einem baulichen Rettungsweg und dem zweiten Rettungsweg über ein Fenster sowie ohne Anlagentechnik ergibt sich nach Tabelle 4 ein Index als Maß für die Sicherheit von 2,6.

Tabelle 4: Berechnung des Indexes

Parameter	Bewertung	Gewichtung	gewichtete Bewertung
Feuerwiderstand	4	50 %	2,0
Rettungswegsituation	2	30 %	0,6
Anlagentechnik	0	20 %	0
		Index:	2,6

Durch semi-quantitative Risikoanalysen wird ein Großteil der Verantwortung vom Anwender zur Entwicklergruppe umgelagert, da nur sie genau weiß, wie die Bewertungen entstanden und die verschiedenen Ebenen miteinander verknüpft sind. Dadurch sind die Anforderungen an den Anwender einer semi-quantitativen Risikoanalyse im Vergleich zur qualitativen Risikoanalyse deutlich geringer.

Zur Entwicklung einer semi-quantitativen Risikoanalyse werden von der Entwicklergruppe zunächst alle das Brandrisiko betreffenden Parameter identifiziert und mit Gewichtungen belegt. Der Anwender bewertet anschließend die Parameter speziell für das vorliegende Gebäude. Anschließend erfolgt die Berechnung des Risikoindex als Maß für das brand-schutztechnische Risiko.

Ein weiterer Vorteil der semi-quantitativen Risikoanalyse ist die einfache, kosten- und zeitsparende Anwendung. Die Methoden sind üblicherweise gut strukturiert und daher leicht verständlich. Dies ermöglicht die Einarbeitung neuer Erkenntnisse oder die Übertragung der Methoden auf andere Bereiche.

Als Nachteil ist anzuführen, dass die semi-quantitativen Risikoanalysen immer nur speziell für einen Gebäudetyp entwickelt werden können.

6.3 Quantitative Risikoanalysen

Es handelt sich bei quantitativen Risikoanalyse um Methoden, bei denen die zeitliche Abfolge von Ereignissen, zum Beispiel von der Brandentstehung über die Brandentwicklung bis zur Kontrolle des Brandes, logisch dargestellt wird. Jeder Entscheidung wird dabei eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet, die auf langfristigen Erfahrungswerten oder statistischen Erhebungen beruht, aber in Einzelfällen auch durch Ingenieurmethoden berechnet werden kann. Die grafische Darstellung dieser Entscheidungsfolge nennt man Ereignisbaum (engl.: Event-Tree). Bild 43 zeigt ein Beispiel eines einfachen Ereignisbaums. Zu Beginn steht der Entstehungsbrand, der im vorliegenden Beispiel mit einer Wahrscheinlichkeit von 100 % angenommen wurde. Der Brandverlauf wird nun davon beeinflusst, ob die Brandmelder den Brand erkennen oder nicht. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Brand erkannt wird liegt bei 90 %. Im zweiten Schritt wird unterschieden, ob die Sprinkleranlage den Brand löschen kann. In diesem Beispiel liegt die Wahrscheinlichkeit bei 70 %. Die Eintrittswahrscheinlichkeit des einzelnen Szenarios ergibt sich durch Multiplikation der Einzelwahrscheinlichkeiten des jeweiligen Astes. Das Risiko ergibt sich dann aus dem Produkt Wahrscheinlichkeit x Schadensfolge. Wird der Brand durch die Sprinkleranlage gelöscht, ist die Schadensfolge annähernd 0. Wird der Brand nicht durch die Sprinkleranlage gelöscht, ist die Schadensfolge bei einer frühzeitigen Branderkennung 5, da die Feuerwehr schneller eingreifen kann. Wenn auch die automatische Branderkennung versagt, ist die Schadensfolge 10. Das Gesamtrisiko setzt sich aus den Einzelrisiken der verschiedenen Szenarien zusammen [17], [19], [20].

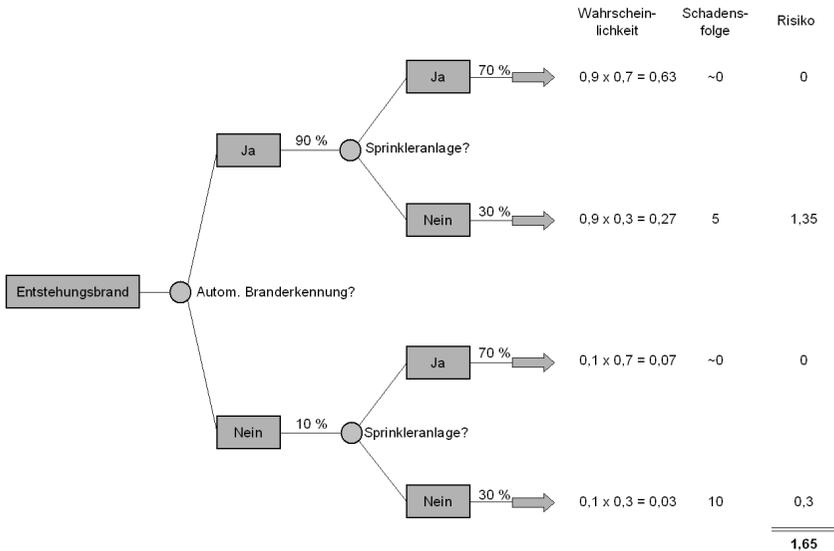


Bild 43: Beispiel eines einfachen Ereignisbaums

Vorteil der quantitativen Risikoanalyse ist, dass diese ausschließlich auf mathematischen Grundlagen beruht und durch die Möglichkeit der grafischen Darstellung leicht verständlich ist. Als Nachteile sind anzuführen, dass die Durchführung einer quantitativen Risikoanalyse sehr aufwendig ist und die Eingangsdaten zum Teil schwer zu beschaffen sind.

Daher ist die Bewertung des Brandrisikos durch eine quantitative Risikoanalyse nur für spezielle Teilaspekte praktikabel; für die Bewertung des Gesamtbrandrisikos eines mehrgeschossigen Gebäudes erscheint sie auf Grund der Vielzahl von Einflussfaktoren ungeeignet.

6.4 Bewertung der Risikomethoden

Die zuvor genannten Vor- und Nachteile der drei Vorgehensweisen zur Risikobewertung sind in Tabelle 5 zusammengestellt und bewertet worden. Die Bewertung der Eigenschaften reicht von sehr positiv (+ +) über positiv (+) und negativ (-) bis sehr negativ (- -).

Tabelle 5: Bewertung der Risikonachweise

	qualitativ	semi-quantitativ	quantitativ
Aufwand für die Vorbereitung	++	+	--
Breite des Anwendungsgebietes	++	-	++
Beschaffung der Eingangsdaten	++	++	-
Aufwand für die Durchführung	++	++	--
Qualifikation der Anwender	--	+	--
Objektivität	-	+	++
Belegbarkeit der Ergebnisse	-	+	++

Die semi-quantitative Risikoanalyse stellt offensichtlich einen sehr guten Kompromiss zwischen einer praktikablen und schnellen Durchführung und einer durchgängig auf mathematischen und stochastischen Modellen beruhenden Risikoanalyse dar. Dabei kann der Einfluss des Anwenders auf die Qualität der Ergebnisse bei einem vertretbaren Aufwand minimiert werden.

6.5 Vorstellung der FRIM-MAB

Eine sehr praxisnahe und rationelle Methode zur Bewertung des Brandrisikos mehrgeschossiger Wohngebäude in Holzbauweise stellt die im Folgenden beschriebene Fire Risk Index Method – For Multi-storey Apartment Buildings 2.0 (FRIM-MAB 2.0) dar [21]. Sie wurde im Zuge eines Nordic Wood Forschungsprogramms entwickelt, das die vermehrte Anwendung von Holz zum Ziel hatte.

Die Entwicklung der Indexmethode war Gegenstand des Teilprojekts „Fire-safe Wood Frame Multi-storey Apartment Buildings“, das von der Universität Lund im Institut für Fire Safety Engineering bearbeitet wurde. Eine erste Version wurde 1998 von Sven-Eric Magnusson und Tomas Rantatalo vorgestellt und anschließend von Björn Karlsson weiterentwickelt [21], [22].

Die FRIM-MAB 2.0 wurde von einer Expertengruppe entwickelt und anhand einer Delphi-Befragung bewertet und bestätigt. Die Expertengruppe setzte sich aus jeweils einem Experten der vier teilnehmenden nordischen Länder Dänemark, Finnland Norwegen und Schweden zusammen. Die Gruppe für die Delphibefragung bestand aus insgesamt 20 Teilnehmern, die aus den Bereichen Ingenieurbüro, Feuerwehr, Materialprüfung, Forschung und Versicherungen stammten und ebenfalls aus den Ländern Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden kamen. Die Bewertung der einzelnen Gewichtungen erfolgte auf Grundlage des Wissens und der Erfahrung der Experten der Delphigruppe [23].

6.5.1 Struktur der FRIM-MAB

Die FRIM-MAB 2.0 besitzt einen von der Expertengruppe entwickelten hierarchischen Aufbau und berücksichtigt die Hinweise der entwicklungsbegleitenden Delphigruppe. Die Hierarchie der FRIM-MAB ist in Bild 44 dargestellt. Die oberste Ebene in der Hierarchie ist die „Policy“. Sie gibt die übergeordnete Zielsetzung für das Brandschutzkonzept wieder. Die „Policy“ wird in der darunter liegenden Ebene der „Objectives“ in verschiedene Schutzziele untergliedert. Die dritte Ebene der „Strategies“ enthält die verschiedenen Strategien, mit denen die Schutzziele erreicht werden sollen. Die unterste Ebene der „Parameters“ umfasst eine Vielzahl von (Brandschutz-)Maßnahmen, die zur Umsetzung der „Strategies“ beitragen. Da die „Parameters“ in geeigneter Weise messbar oder bewertbar sein müssen, werden sie teilweise zusätzlich in „Sub-Parameters“ unterteilt [23], [24].

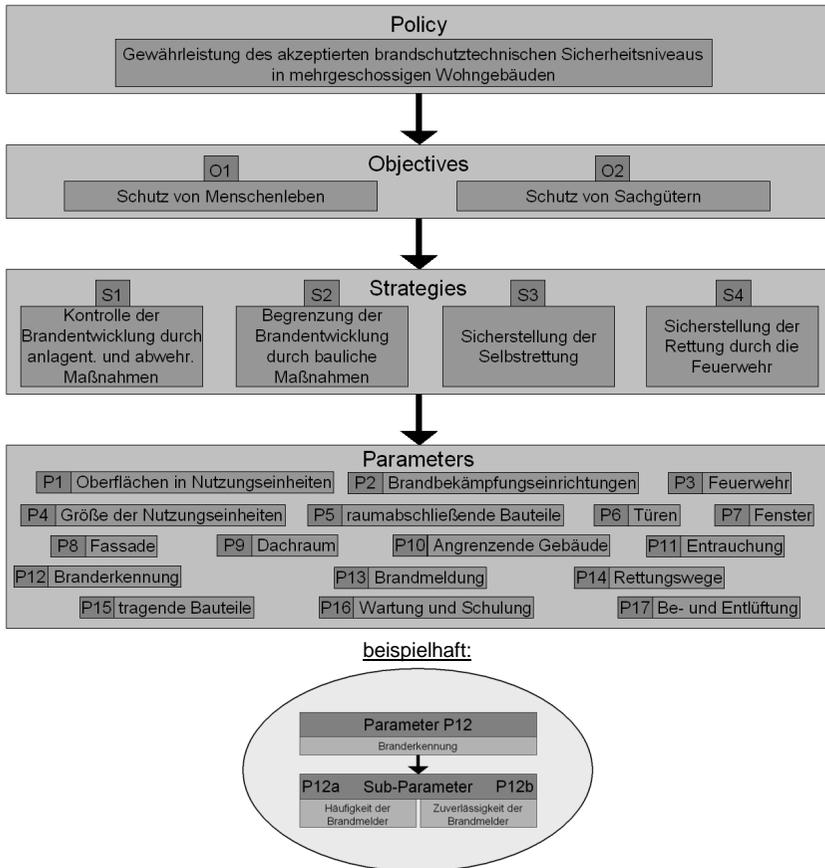


Bild 44: Darstellung der Hierarchieebenen

6.5.2 Gewichtung der Parameter

Im weiteren Verlauf der Entwicklungsarbeiten mussten den 17 Parametern Gewichtungen zugeordnet werden, um deren Einfluss auf das Erreichen der „Policy“ berücksichtigen zu können. Dies geschah im Zuge einer Delphi-Umfrage. Dazu wurden alle Mitglieder der Delphigruppe befragt, welchen Einfluss die Bewertungsmerkmale einer Ebene auf die Bewertungsmerkmale der darüber liegenden Ebene haben. Es war somit der Einfluss jedes der 17 „Parameters“ auf die vier „Strategies“ zu bewerten, ebenso der Einfluss der vier „Strategies“ auf die zwei „Objectives“ und abschließend der Einfluss der beiden „Objectives“ auf die „Policy“ (Bild 44). Durch entsprechende Multiplikation der Gewichtungen lässt sich der Einfluss eines jeden „Parameters“ auf die „Policy“ bestimmen. Die resultierenden Gewichtungen der 17 „Parameters“ sind in Tabelle 6 enthalten. Eine detaillierte Darstellung dieser Vorgehensweise ist in Kapitel 7.1.3 enthalten [23], [24].

Tabelle 6: Gewichtung der Parameter [21]

Parameter	Beschreibung	Gewichtung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	5,76
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	6,68
P3	Feuerwehr	6,81
P4	Größe der Nutzungseinheiten	6,66
P5	Raumabschließende Bauteile	6,75
P6	Türen	6,98
P7	Fenster	4,73
P8	Fassade	4,92
P9	Dachraum	5,15
P10	Angrenzende Gebäude	3,96
P11	Entrauchung	6,09
P12	Branderkennung	6,30
P13	Brandmeldung	5,12
P14	Rettungswege	6,20
P15	Tragende Bauteile	6,30
P16	Wartung und Schulung	6,01
P17	Be- und Entlüftung	5,58

6.5.3 Evaluierung der FRIM-MAB

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der FRIM-MAB 2.0 wurden Vergleichsrechnungen mit einer quantitativen Risikoanalyse (QRA) durchgeführt, die auf der Ereignisbaumanalyse basierte.

Die Vergleichsrechnungen wurden für vier verschiedene mehrgeschossige Wohngebäude in Skandinavien durchgeführt. Es handelt sich dabei um die Gebäude Viikki in Finnland Wälludden in Schweden, Einmoen in Norwegen und Casa Nova in Dänemark [25].

Viikki

Viikki ist ein viergeschossiges Gebäude mit je drei Wohnungen pro Geschoss. Die Größe der Wohnungen beträgt 55 bis 70 m². Das Gebäude wurde in Holztafelbauweise erstellt und hat die Feuerwiderstandsklasse REI 60. Die Wohnungseingangstüren sind selbstschließend. Zusätzlich verfügt jede Wohnung über einen eigenen Balkon mit Rettungsleiter. Das Gebäude ist mit einer automatischen Löschanlage und Rauchwarnmeldern ausgerüstet. Ein offener Treppenraum verläuft durch das gesamte Gebäude. 90 % der Fassade sind in Holz ausgeführt.

Wälludden

Wälludden ist ein viergeschossiges Gebäude mit jeweils vier Wohnungen je Geschoss. Die Größe der Wohnungen liegt zwischen 42 bis 84 m². Das Gebäude ist in Holztafelbauweise der Feuerwiderstandsklasse REI 60 ausgeführt. Es ist keine Brandmeldeanlage oder Löschanlage installiert.

Einmoen

Das Gebäude Einmoen hat ebenfalls vier Geschosse und weist je Geschoss 10 Wohnungen mit etwa 50 m² auf. Die Wohnungen verfügen über umlaufende Balkone, an deren Ende Treppen nach unten führen. Auch dieses Gebäude ist in Holztafelbauweise der Feuerwiderstandsklasse REI 60 ausgeführt. Die Wohnungen sind mit batteriebetriebenen Rauchwarnmeldern ausgerüstet. Zusätzlich verfügt das Gebäude über eine automatische Löschanlage.

Casa Nova

Es handelt sich hierbei um ein dreigeschossiges Wohngebäude mit zwei Wohnungen je Etage. Die Wohnungen haben eine Größe von 50 bis 65 m². Das Gebäude ist ebenfalls in Holztafelbauweise der Feuerwiderstandsklasse REI 60 ausgeführt mit einem Treppenhauskern aus Beton. Die Fassade besteht aus schwerentflammaren Holzpaneelen. Das Treppenhaus verfügt über ein manuell zu bedienendes Entrauchungssystem.

Je nach Gebäude wurden bei der Ereignisbaumanalyse folgende Ereignisse berücksichtigt:

- Ort des Entstehungsbrandes?
- Vollbrand oder Schwelbrand?
- Automatische Branderkennung?
- Brandbekämpfung durch Nutzer?
- Automatische Brandbekämpfung?
- Wohnungseingangstür ist offen oder geschlossen?
- Aufenthaltsort der Nutzer?
- Brandentwicklungsgeschwindigkeit und Flashover?

Bei der Durchführung der Indexmethode wurden drei unterschiedliche Risikoindizes berechnet. Dies waren der übliche Risikoindex (1), bei dem alle 17 Parameter mit ihrer jeweiligen Gewichtung bewertet wurden. Als zweites wurde ein sogenannter angepasster Risikoindex (2) berechnet, bei dem nur die im Ereignisbaum berücksichtigten Parameter verwendet wurden. Als drittes wurde der sogenannte Personenschutzindex (3) berechnet. Hierbei wurden die Gewichtungen der Parameter dahingehend angepasst, dass der Einfluss des Sachschutzes (Objective O2) zu null gesetzt wurde [25].

Auf Grundlage der Ereignisbaumanalyse und der Indexmethode wurden Rangfolgen hinsichtlich des brandschutztechnischen Sicherheitsniveaus für die vier Gebäude gebildet, die in Tabelle 7 wiedergegeben sind. Der Risikowert der QRA gibt die zu erwartende Anzahl an Personen an, die im Brandfall in Lebensgefahr geraten können. Bei der Durchführung der QRA waren die Ergebnisse der Indexmethode nicht bekannt [25].

Tabelle 7: Ergebnisse der Vergleichsrechnungen aus QRA und FRIM-MAB 2.0 [25]

Gebäude	QRA (Event-Tree)		FRIM-MAB					
	Risikowert	Rangfolge	Index 1	Rangfolge	Index 2	Rangfolge	Index 3	Rangfolge
Viikki	0,11	1	2,11	1	2,73	1	2,06	1
Einmoen	0,30	2	2,16	2	3,00	2	2,11	2
Wälludden	0,44	3	2,20	3	3,22	3	2,22	3
Casa Nova	1,14	4	2,39	4	3,62	4	2,58	4

Die Reihenfolge der untersuchten Gebäude hinsichtlich des Brandrisikos aus den Berechnungen der QRA und der FRIM-MAB war für alle vier Fälle identisch. Da die QRA und die Indexmethode auf völlig unterschiedlichen Grundlagen beruhen, ist es besonders erfreulich, dass die Risikobewertungen zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

Beim Vergleich der Werte in Bild 45 ist zu beachten, dass sich die Ergebnisse der QRA auf eine andere Skala beziehen als die der Indexmethode.

Dennoch ist zu erkennen, dass der im Vergleich zu den anderen Gebäuden etwas stärkere Anstieg des Risikos für Casa Nova bei der QRA nur durch den Risikoindex (3) abgebildet wird. Die Risikoindizes (1) und (2) haben von links nach rechts eine annähernd konstanten Anstieg zu verzeichnen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese Modelle ausschließlich die Personensicherheit bewerten und der Sachschutz unberücksichtigt bleibt [25].

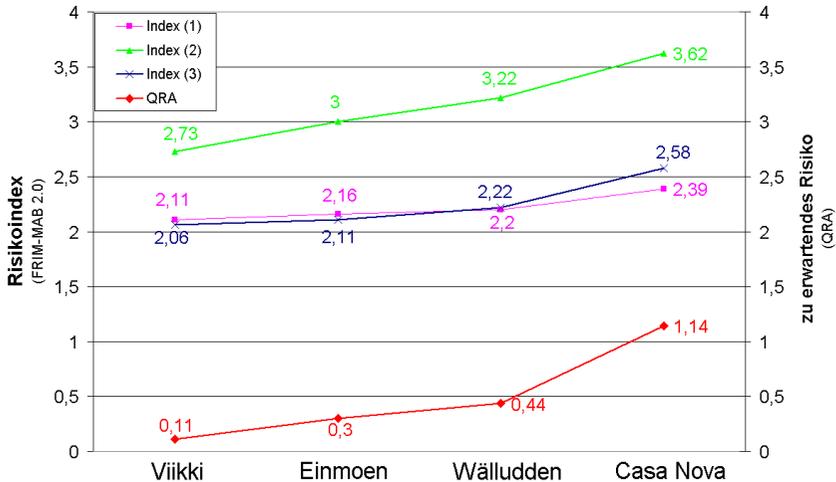


Bild 45: Vergleich der Risikomodelle [25]

6.5.4 Anwendungsgrenzen

Die FRIM-MAB 2.0 kann zur brandschutztechnischen Risikobewertung mehrgeschossiger Wohngebäude benutzt werden. Es ist nur eine vergleichende Bewertung der Gebäude möglich. Die Gebäude sollten eine möglichst ähnliche Struktur hinsichtlich des Brandschutzes aufweisen. Bei den zu bewertenden Gebäuden müssen die bauaufsichtlichen Anforderungen eingehalten sein. Die Indexmethode ist kein Ersatz für die Bemessung brandschutztechnischer Maßnahmen.

Ferner ist festzustellen, dass die Methode nicht vor einem gezielten Missbrauch geschützt ist. Anwender, die die Indexmethode manipulieren wollen, haben durch die Angabe falscher Bewertungen die Möglichkeit hierzu.

Es muss ebenfalls herausgestellt werden, dass die Methode bislang nur für Gebäude validiert wurde, deren Brandschutzkonzepte den allgemeinen Standardanforderungen entsprachen. Hieraus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass die FRIM-MAB 2.0 nicht zur Bewertung unkonventioneller Brandschutzkonzepte herangezogen werden sollte [26], [27].

7 Weiterentwicklung der FRIM-MAB

Ziel der eigenen Weiterentwicklung der FRIM-MAB 2.0 ist, diese für eine Anwendung in Deutschland nutzbar zu machen. Anschließend soll der Nachweis angetreten werden, dass die in Kapitel 5 erarbeiteten Brandschutzkonzepte mindestens den brandschutztechnischen Sicherheitsstandard der MBO erfüllen. Dazu ist eine Anpassung der Gewichtungen der Parameter erforderlich, wie sie in Kapitel 7.1 durchgeführt wird. In Kapitel 7.2 wird die Methode um sogenannte Kompensationsgruppen erweitert, um eine Beurteilung von Kompensationsmaßnahmen zu ermöglichen. Gleichzeitig erfolgt die Anpassung der Indexmethode an nationale Besonderheiten wie die Kapselbauweise.

7.1 Überprüfung der Gewichtungen

Die FRIM-MAB in der ursprünglichen Form wurde anhand einer Delphi-Befragung in Skandinavien erstellt. Auf Grund landesspezifischer Besonderheiten ist zu erwarten, dass eine Delphi-Umfrage in anderen Ländern zu anderen Gewichtungen der Parameter führt. Daher wurde für eine Anwendung in Deutschland die Gewichtung anhand einer Delphi-Befragung überprüft und angepasst.

7.1.1 Grundlagen einer Delphi-Befragung

Bei einer Delphi-Umfrage handelt es sich um ein wissenschaftlich anerkanntes Verfahren zur Erfassung von Gruppenmeinungen. Der Name leitet sich von der griechischen Stadt Delphi ab, in deren Tempel sich ein Orakel befand, das Vorhersagen für die Zukunft erteilte.

Bei einer Delphi-Befragung wird einer Gruppe von Experten ein Umfragebogen zu einem bestimmten Fachgebiet vorgelegt. Die Experten haben in mehreren "Runden" die Möglichkeit, die Bewertungen vorzunehmen. Ab der zweiten Runde erfolgt eine anonyme Rückkopplung mit den Antworten der anderen Experten. So wird der Meinungsbildung besonders dominanter Persönlichkeiten entgegengewirkt. Die in der ersten Runde schriftlich erhaltenen Antworten werden beispielsweise durch die Mittelwertbildung oder die Berechnung von Quantilen zusammengefasst und den Fachleuten anonymisiert erneut für eine weitere Einschätzung vorgelegt. Dieser iterative Prozess der Meinungsbildung führt im Ergebnis zu einer aufbereiteten gemittelten Gruppenmeinung, die zuverlässigere Vorhersagen ergibt als die Meinung eines einzelnen willkürlich ausgewählten Experten.

Bei der Standard-Delphi-Befragung werden mehrere Experten zur Einschätzung einer Fragestellung herangezogen. Der Prozess sieht wie folgt aus:

- Die Projektgruppe bereitet die Fragestellungen in Form eines Arbeitsformulars vor.
- Die Projektgruppe stellt die Ziele der Delphi-Umfrage vor und verteilt je ein Exemplar des Arbeitsformulars an jeden Experten.
- Jeder Experte schätzt die im Arbeitsformular enthaltenen Arbeitspakete allein ein. Keiner der Experten arbeitet mit einem anderen Experten zusammen.
- Alle Arbeitsformulare werden von der Projektgruppe gesammelt und ausgewertet.
- Bei gravierenden Diskrepanzen werden diese von der Projektgruppe kommentiert und gehen anschließend an den ursprünglichen Bearbeiter zurück.

- Die Experten haben die Möglichkeit, ihre Einschätzungen zu überdenken.
- Dieser Vorgang ist so lange zu wiederholen, bis die Einschätzungen innerhalb eines Toleranzbereichs liegen.
- Von allen Einschätzungen werden die Mittelwerte errechnet und als abschließendes Ergebnis präsentiert.

Das Fehlen von Diskussionen hat Vor- und Nachteile. Einerseits wird verhindert, dass sich aufgrund einer ungewollten Gruppendynamik gerichtete Tendenzen in den Meinungen herausbilden, die unter Umständen objektive Einschätzungen verhindern. Auf der anderen Seite könnten Diskussionen dazu beitragen, Defizite im Wissen einzelner Experten und die damit verbundenen Fehleinschätzungen zu vermeiden [28], [29].

7.1.1.1 Anzahl der Befragungsrunden

Ziel einer Delphi-Befragung ist die Bildung einer konsensfähigen Gruppenmeinung. Unter Konsens ist jedoch nicht die schrittweise Annäherung der Expertenmeinungen an einen gemeinsamen Schätzwert gemeint. Dennoch sollten Abbruchkriterien für den Konsens definiert werden. Hierzu eignet sich zum Beispiel die Bildung von Quantilen oder der Standardabweichung der Bewertungen nach jeder Runde [29].

7.1.1.2 Größe der Expertengruppe

Die Befragung einer kleineren Expertengruppe ist leichter zu organisieren und zügiger durchzuführen. Dem steht gegenüber, dass größere Expertenrunden den Fehler reduzieren. Ein Experiment zeigte jedoch, dass bei Gruppengrößen von 16 und 34 Experten die Übereinstimmung zwischen den beiden Gruppen bei 92,9 % lag. Ein Minimum stellen im Allgemeinen 10 teilnehmende Experten dar, während 30 Experten eine obere Grenze zu sein scheinen. Solange für den zu bearbeitenden Themenbereich eine ausreichende Anzahl qualifizierter Experten zu finden ist, muss es jedoch keine Obergrenze für die Teilnehmerzahl geben [29].

7.1.1.3 Zusammensetzung der Expertengruppe

Bei der Auswahl der Experten handelt es sich um ein methodisches Hauptproblem. Dabei sollten alle den Themenbereich betreffenden Fachgebiete berücksichtigt werden. Ferner ist zu prüfen, ob die Experten die Fragen beantworten können. Als positiv wird bewertet, wenn die Experten die gefundenen Ergebnisse später in der Praxis umsetzen können [29].

7.1.2 Durchführung der Delphi-Befragung

Jeweils fünf Experten aus den Bereichen Forschung, Bauaufsicht, Materialprüfung, Feuerwehr, Versicherung und Ingenieurbüro werden gebeten, die Parameter in der Indexmethode hinsichtlich einer Anwendung in Deutschland auf mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise nach eigenen Erkenntnissen und Erfahrungen zu bewerten. Hiermit sind die Anforderungen an die Größe und Zusammensetzung der Delphigruppe mehr als ausreichend erfüllt.

Mit Hilfe des in Anhang B dargestellten Fragebogens waren die ersten beiden Ebenen der FRIM-MAB zu bewerten (Bild 44). Zunächst musste der Einfluss der „Objectives“ O1 und O2 auf die „Policy“ bestimmt werden. Es wurde dazu gefragt:

- Welche Bedeutung hat der Schutz von Menschenleben für das allgemein akzeptierte brandschutztechnische Sicherheitsniveau in mehrgeschossigen Wohngebäuden?
- Welche Bedeutung hat der Schutz von Sachgütern für das allgemein akzeptierte brandschutztechnische Sicherheitsniveau in mehrgeschossigen Wohngebäuden?

Im nächsten Schritt wurde der Einfluss der „Strategies“ S1 bis S4 auf die „Objectives“ O1 und O2 in gleicher Weise ermittelt:

- Welche Bedeutung hat die Kontrolle der Brandentwicklung durch abwehrende und anlagentechnische Maßnahmen für den Schutz von Menschenleben?
- Welche Bedeutung hat die Kontrolle der Brandentwicklung durch bauliche Maßnahmen für den Schutz von Menschenleben?
- Welche Bedeutung hat die Sicherstellung der Selbstrettung für den Schutz von Menschenleben?
- Welche Bedeutung hat die Sicherstellung der Rettung durch die Feuerwehr für den Schutz von Menschenleben?
- Welche Bedeutung hat die Kontrolle der Brandentwicklung durch abwehrende und anlagentechnische Maßnahmen für den Schutz von Sachgütern?
- Welche Bedeutung hat die Kontrolle der Brandentwicklung durch bauliche Maßnahmen für den Schutz von Sachgütern?
- Welche Bedeutung hat die Sicherstellung der Selbstrettung für den Schutz von Sachgütern?
- Welchen Einfluss hat die Sicherstellung der Rettung durch die Feuerwehr für den Schutz von Sachgütern?

Die Fragen konnten mit „0 = kein Einfluss“ bis „5 = extrem wichtig“ beantwortet werden.

Auf eine Überprüfung der dritten Ebene wurde verzichtet, da es sich hierbei bereits um konkrete bauliche, abwehrende oder anlagentechnische Maßnahmen handelt. Unterschiede in der Bewertung auf Grund landesspezifischer Besonderheiten sind hier weniger zu erwarten.

7.1.3 Auswertung der Delphi-Befragung

Die Umfrageergebnisse für die Ebene der „Objectives“ sind in Bild 46 und Bild 47 dargestellt. Für die Ebene der „Strategies“ sind die Ergebnisse in Anhang C enthalten. Den Ergebnissen liegt die Auswertung von insgesamt 25 Fragebögen zu Grunde. Die Antworten verteilen sich wie folgt auf die sechs Fachbereiche:

- Forschung: 3 Bewertungen
- Bauaufsicht: 3 Bewertungen
- Materialprüfung: 5 Bewertungen
- Feuerwehr: 4 Bewertungen
- Versicherung: 5 Bewertungen
- Ingenieurbüro: 5 Bewertungen

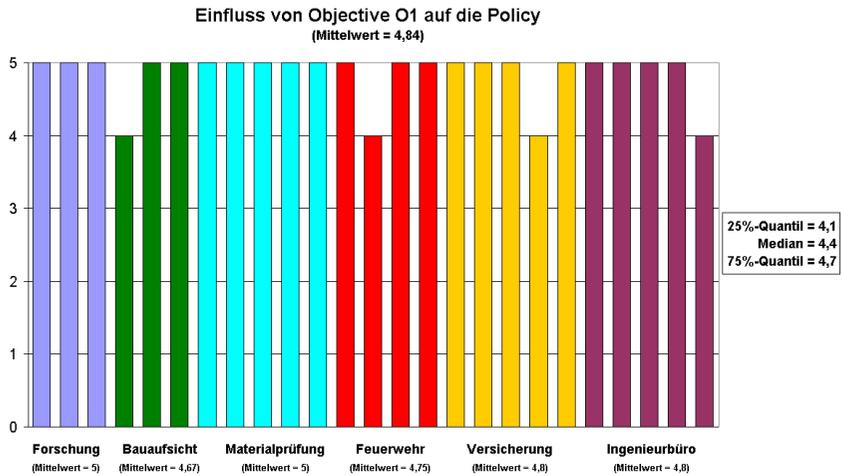


Bild 46: Bewertung des Einflusses von „Objective“ O1 auf die „Policy“

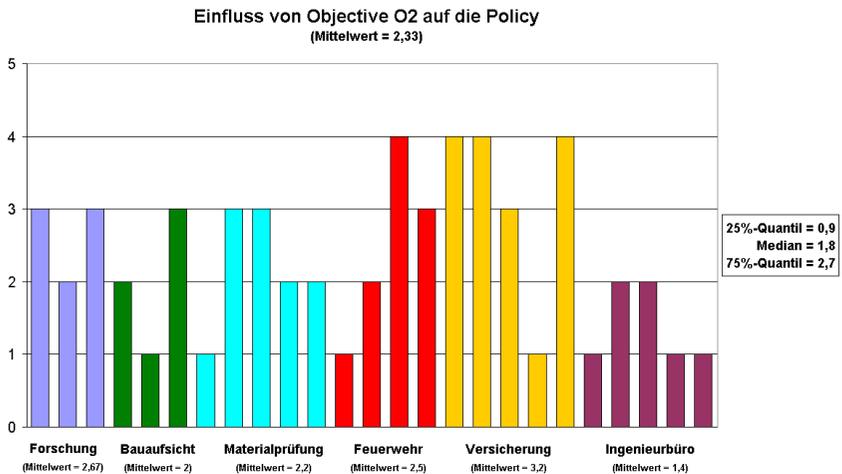


Bild 47: Bewertung des Einflusses von „Objective“ O2 auf die „Policy“

Als Maß für die Einigkeit in der Bewertung „wurden zu jeder Fragestellung aus den Antworten Quantile gebildet. Das 25 %-Quantil gibt an, dass 25 % aller Werte kleiner sind, bei dem 50 %-Quantil (auch Median genannt) sind es 50 % der Werte und beim 75 %-Quantil sind es schließlich 75 % der Werte. Die Bestimmung dieser Werte erfolgte durch Interpolation. Hiermit ist zu erklären, dass die Werte in den erhobenen Daten nicht vorkommen. Der Abstand zwischen dem 25 %-Quantil und dem 75 %-Quantil umfasst 50 % der Verteilung und ist ein Maß für die Streuung der Bewertungen.

Die Auswertung zeigt eine recht gute Übereinstimmung. Der maximale Abstand der Antworten ist bei der Bewertung des Einflusses des Sachschutzes auf die Policy vorzufinden. Die Differenz beträgt 1,8 und ist als akzeptabel anzusehen. Im Vergleich hierzu traten bei der in Skandinavien durchgeführten Delphi-Befragung Differenzen zwischen den 25 %- und 75 %-Quantilen von bis zu 3 auf. Der Wert von 1,8 ist hauptsächlich auf die im Vergleich zu den anderen Fachbereichen hohe Bewertung des Fachbereiches Versicherung zurückzuführen. Die Ergebnisse sind daher als vertrauenswürdig und belastbar einzustufen.

Damit trotz der unterschiedlichen Anzahl der Antworten aus den einzelnen Fachbereichen diese gleichmäßig repräsentiert werden, sind zunächst aus den Antworten die Mittelwerte je Fachbereich zu bilden. Anschließend wird aus diesen Mittelwerten mit gleicher Gewichtung der Fachbereiche die Gesamtbewertung berechnet.

Je Fachbereich wurde lediglich der arithmetische Mittelwert gebildet, auf die Bestimmung der Standardabweichung bzw. der Median- und Quantilwerte wurde angesichts der geringen Datenmengen (3 bis 5 Werte) innerhalb der einzelnen Fachbereiche verzichtet.

Tabelle 8: Berechnung der Einflüsse der „Objectives“ und „Strategies“

Fachbereich	Bewertung des Einflusses von																				
	O1	O2	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4											
	auf die „Policy“					auf „Objective“ O1					auf „Objective“ O2										
Forschung	5	2,67	4,33	3,3	5	4	4,67	3,33	0,33	0											
Bauaufsicht	4,67	2	2,67	3,67	4,33	3,33	3	3	0,67	0,33											
Materialprüfung	5	2,2	3,6	4	4	4,4	3,4	2,8	1,4	1,6											
Feuerwehr	4,75	2,5	3,5	3,75	4,5	4	3,5	4	0,5	1,25											
Versicherung	4,8	3,2	4,2	4,2	4,4	3,6	4,6	3,6	1,6	1,6											
Ingenieurbüro	4,8	1,4	3	3,8	5	4,4	3	3	0,4	0,6											
Mittelwert	4,84	2,33	3,55	3,79	4,54	3,96	3,70	3,29	0,82	0,90											
Gesamtwert	7,17		15,84				8,71														
Anteil [%]	67,51	32,49	22,42	23,94	28,66	24,98	42,48	37,82	9,39	10,32											
Vergleich mit den ursprünglichen Werten																					
Skandinavien [%]	60,63	39,37	25,87	22,08	29,02	23,03	35,32	37,02	9,79	17,87											
Differenz [%]	6,88	-6,88	-3,45	1,86	-0,36	1,95	7,16	0,8	-0,4	-7,55											

Anschließend wurde der Einfluss der „Objectives“ auf die „Policy“ und der Einfluss der „Strategies“ auf die „Objectives“ durch die Umrechnung in Prozentzahlen normiert.

Ein Vergleich der aktuell durchgeführten Delphi-Befragung in Deutschland zeigt, dass der Personenschutz im Vergleich zu den skandinavischen Ländern einen deutlich höheren Stellenwert als der Sachschutz hat. Darüber hinaus fällt auf, dass der Einfluss von abwehrenden und anlagentechnischen Maßnahmen auf den Sachschutz in Deutschland höher bewertet wurde. Demgegenüber wird der Einfluss der Rettung durch die Feuerwehr auf den Sachschutz als gering angesehen. Insgesamt bleibt jedoch festzuhalten, dass die Umfrageergebnisse keine allzu großen Unterschiede in der Sicherheitsphilosophie zwischen Skandinavien und Deutschland erkennen lassen.

Tabelle 9: Einfluss der „Parameters“ auf die „Strategies“

„Parameter“	„Strategies“							
	S1		S2		S3		S4	
	Abs.	[%]	Abs.	[%]	Abs.	[%]	Abs.	[%]
P1	2,45	5,18	3,40	6,49	3,60	6,23	2,50	4,97
P2	4,90	10,35	2,05	3,91	3,80	6,58	2,90	5,77
P3	4,00	8,45	2,50	4,77	3,30	5,71	4,40	8,75
P4	2,25	4,75	4,35	8,31	3,60	6,23	3,75	7,46
P5	2,30	4,86	4,60	8,78	3,40	5,88	3,80	7,55
P6	2,55	5,39	4,30	8,21	4,15	7,18	3,60	7,16
P7	1,65	3,49	3,65	6,91	2,35	4,07	2,10	4,17
P8	1,90	4,01	3,60	6,87	2,10	3,63	2,55	5,07
P9	2,20	4,65	3,90	7,45	1,85	3,20	2,60	5,17
P10	1,65	3,49	3,50	6,68	1,40	2,42	1,45	2,88
P11	3,45	7,29	1,90	3,63	4,05	7,01	3,35	6,66
P12	4,35	9,19	1,90	3,63	4,70	8,14	1,95	3,88
P13	3,30	6,97	1,05	2,00	4,40	7,62	1,90	3,78
P14	2,18	4,60	2,13	4,06	4,85	8,39	4,20	8,35
P15	1,90	4,01	4,35	8,31	2,68	4,63	4,35	8,65
P16	3,65	7,71	2,25	4,30	4,00	6,92	2,50	4,97
P17	2,65	5,60	2,95	5,63	3,55	6,14	2,40	4,77
SUMME:	47,33	100	52,38	100	57,78	100	50,30	100

Abschließend erfolgt durch eine Matrizenmultiplikation der aktuell ermittelten Einflüsse der „Objectives“ und „Strategies“ und der ursprünglichen in Tabelle 9 angegebenen Einflüsse der „Parameters“ eine neue Gewichtung der Parameter 1 bis 17.

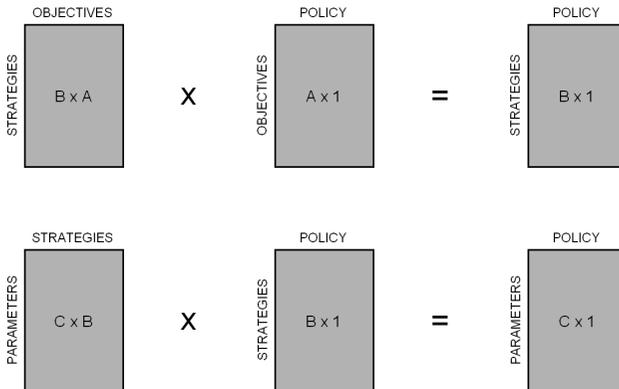


Bild 48: Schematische Darstellung der Matrizenmultiplikation [17]

Am Beispiel des Parameters P1 wird die Berechnung beispielhaft durchgeführt.

$$P1 = (P1xS1 \cdot S1xO1 + P1xS2 \cdot S2xO1 + P1xS3 \cdot S3xO1 + P1xS4 \cdot S4xO1) \cdot O1xP \\ + (P1xS1 \cdot S1xO2 + P1xS2 \cdot S2xO2 + P1xS3 \cdot S3xO2 + P1xS4 \cdot S4xO2) \cdot O2xP$$

Durch Einsetzen der Tabellenwerte erhält man:

$$\begin{aligned}
 P1 &= (0,0518 \cdot 0,2242 + 0,0649 \cdot 0,2394 + 0,0623 \cdot 0,2866 + 0,0497 \cdot 0,2498) \cdot 0,6751 \\
 &\quad + (0,0518 \cdot 0,4248 + 0,0649 \cdot 0,3782 + 0,0623 \cdot 0,0939 + 0,0497 \cdot 0,1032) \cdot 0,3249 \\
 &= 0,0575 = 5,75 \%
 \end{aligned}$$

Die modifizierten Gewichtungen für die Anwendung in Deutschland sind Tabelle 10 zu entnehmen. Der dort durchgeführte Vergleich zwischen den ursprünglichen skandinavischen Werten und den für eine Anwendung in Deutschland angepassten Werten zeigt, dass die Abweichungen zur ursprünglichen Bewertung mit maximal 0,15 als sehr gering anzusehen sind. Die Gewichtungen der Parameter entsprechen in etwa den ursprünglichen Werten und sind daher als vertrauenswürdig und belastbar einzustufen, da sie sich gegenseitig bestätigen.

Tabelle 10: Gegenüberstellung der Gewichtungen der Parameter P1 bis P17

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]		Differenz
		deutsch	skand.	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	5,75	5,76	-0,01
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	6,75	6,68	+0,07
P3	Feuerwehr	6,85	6,81	+0,04
P4	Größe der Nutzungseinheiten	6,64	6,66	-0,02
P5	Raumabschließende Bauteile	6,75	6,75	0
P6	Türen	6,95	6,98	-0,03
P7	Fenster	4,75	4,73	+0,02
P8	Fassade	4,96	4,92	+0,04
P9	Dachraum	5,23	5,15	+0,08
P10	Angrenzende Gebäude	4,04	3,96	+0,08
P11	Entrauchung	6,06	6,09	-0,03
P12	Branderkennung	6,30	6,30	0
P13	Brandmeldung	5,06	5,12	-0,06
P14	Rettungswege	6,05	6,20	-0,15
P15	Tragende Bauteile	6,31	6,30	+0,01
P16	Wartung und Schulung	6,01	6,01	0
P17	Be- und Entlüftung	5,56	5,58	-0,02

7.2 Anpassung der Parameter

Die FRIM-MAB 2.0 ist entwickelt worden, um mehrgeschossige Wohngebäude in Holzbauweise hinsichtlich ihres Brandrisikos vergleichen zu können. Die Gebäude müssen dabei den Anforderungen der zu berücksichtigenden Bauordnung in allen Punkten genügen. Zwar ist es theoretisch möglich, bei Anwendung der FRIM-MAB für einzelne Parameter Werte anzugeben, die unterhalb bzw. oberhalb der bauaufsichtlichen Anforderungen liegen, jedoch ist eine Kompensation durch andere Parameter nicht vorgesehen. Der wesentliche Grund liegt darin, dass nicht alle Parameter einen unmittelbaren Einfluss auf das zu kompensierende Risiko haben. So könnte beispielsweise rein rechnerisch die Nichterfüllung der Anforderungen an die Fassadenkonstruktion durch eine erhöhte Qualität der Rettungswegtüren kompensiert werden, obwohl das Brandrisiko eines Brandüberschlags über die Fassade damit nicht beeinflusst wird.

Um die FRIM-MAB auch gezielt zur Bewertung von Kompensationsmaßnahmen für die Nichterfüllung bestimmter brandschutztechnischer Anforderungen einsetzen zu können, muss das Wirken der Kompensationsmaßnahmen an der richtigen Stelle gewährleistet sein. Nur so kann das entstandene erhöhte Risiko tatsächlich beherrscht werden. Hierzu müssen die einzelnen Parameter hinsichtlich des durch sie beeinflussten Brandrisikos analysiert werden. Dies erfolgt durch eine vorgeschaltete qualitative Brandschutzanalyse. Dabei werden sogenannte Kompensationsgruppen gebildet, in denen festgelegt wird, durch welche Parameter ein erhöhtes Brandrisiko kompensiert werden kann.

Zunächst erfolgt eine Unterscheidung in Parameter, die gesetzliche Anforderungen zu erfüllen haben und solchen, die zur Kompensation herangezogen werden können. Diese Unterscheidung wird in Tabelle 11 vorgenommen.

Tabelle 11: Unterscheidung der Parameter hinsichtlich ihrer Aufgaben

Erfüllung gesetzlicher Anforderungen	Eignung zu Kompensation
P3: Feuerwehr	P1: Oberflächen in Nutzungseinheiten
P4: Größe der Nutzungseinheiten	P2: Brandbekämpfungseinrichtungen
P5: Trennwände	P7: Qualität der Fenster
P6: Türen	P9: Dachraum
P8: Fassade	P12: Branderkennung
P10: Angrenzende Gebäude	P13: Brandmeldung
P11: Entrauchung	P16: Wartung und Schulung
P14: Rettungswege	
P15: Tragfähigkeit	
P17: Be- und Entlüftung	

Als Kompensationsmaßnahmen kommen jedoch sowohl Parameter mit gesetzlicher Anforderungen in Frage als auch Parameter ohne direkte gesetzliche Anforderung. Sollen Parameter mit gesetzlicher Anforderung zur Kompensation herangezogen werden, so muss die bauaufsichtliche Mindestanforderung übertroffen werden. Diese zusätzliche Sicherheit kann dann zur Kompensation eines anderen Parameters herangezogen werden. Durch die logische Verknüpfung von zusätzlich vorhandenem Brandrisiko und Kompensation kann das Verfahren der FRIM-MAB zur Beurteilung der Wirksamkeit von Kompensationsmaßnahmen herangezogen werden.

Im Zuge der Brandschutzanalyse sind auch Minimalanforderungen festzulegen, die keinesfalls unterschritten werden dürfen, da nicht jede Abweichung von bauaufsichtlichen Anforderungen durch Kompensationsmaßnahmen risikogerecht ausgeglichen werden kann. Beispielsweise darf die Tragfähigkeit der Konstruktion bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nicht auf 30 Minuten Branddauer begrenzt werden. Daher wird zu jeder bauaufsichtlichen Anforderung ein Minimalwert benannt, der nicht unterschritten werden darf. Die Einhaltung dieser Minimalwerte ist eine Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Indexmethode. Die Minimalwerte können durchaus die bauaufsichtlichen Anforderungen unterschreiten.

Auf Grund nationaler Besonderheiten muss die FRIM-MAB in einigen Punkten inhaltlich an das deutsche Baurecht angepasst werden. Hierzu zählen zum Beispiel die nationale Baustoffklassifizierung und vor allem die Kapselung tragender Bauteile aus brennbaren Baustoffen im mehrgeschossigen Holzbau.

Im Folgenden werden die 17 Parameter hinsichtlich der aufgeführten Punkte diskutiert und die notwendigen Anpassungen für eine Anwendung in Deutschland herausgearbeitet und erläutert. Dabei ist zu beachten, dass sich die Anwendung zunächst nur auf Gebäude normaler Art und Nutzung beschränkt; Sonderbauten werden nicht betrachtet. Die erarbeiteten Kompensationsgruppen sind dabei als eine Richtschnur und nicht als eine feste Struktur zu verstehen. Erweiterungen sind für den Einzelfall denkbar, wenn die Kompensationsmaßnahme durch eine zuvor durchgeführte qualitative Risikoanalyse belegt wird.

Auf der in Anhang D dargestellten weiterentwickelten Version der Indexmethode (FRIM-MAB-D) beruht die Bewertung der bauaufsichtlichen Anforderungen und der Minimalanforderungen.

Die im Mittelpunkt dieser Arbeit stehende Bewertung des Brandverhaltens der Bauteile erfolgt primär über die Parameter P1, P5 und P15. Der Parameter P5 bewertet das Brandverhalten der raumabschließenden Konstruktion und der Parameter P15 das Brandverhalten der tragenden Struktur. Der Parameter P1 bewertet die Baustoffqualität der Bauteiloberflächen in den Nutzungseinheiten. Diese ist zunächst unabhängig von der Bauweise, da es aus bauaufsichtlicher Sicht allein die Entscheidung des Nutzers ist, ob er auf den aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehenden Bauteilen oder nichtbrennbar gekapselten Bauteilen eine brennbare Bekleidung aufbringen möchte. Trotzdem ist im Allgemeinen davon auszugehen, dass bei einer gekapselten Holzkonstruktion die Oberflächen mit hoher Wahrscheinlichkeit nichtbrennbar sind, wohingegen bei der Holzmassivbauweise bei Verzicht auf die Kapselung vermutlich brennbare Oberflächen vorliegen werden. Somit wird durch die bauaufsichtlichen Anforderungen an die Bauteile indirekt die Baustoffqualität der Oberflächen in den Nutzungseinheiten mitbestimmt.

7.2.1 P1 = Oberflächen in Nutzungseinheiten (linings in apartments)

Der Parameter P1 bewertet den Einfluss der Baustoffqualität der Oberflächen in den Nutzungseinheiten auf das Brandrisiko. Es werden nur die Oberflächenqualitäten der Wände und der Decke bewertet. Die Oberflächenqualität des Fußbodens wird vernachlässigt, da auf Grund der Temperaturschichtung im Brandraum die Brandentwicklung und -weiterleitung in erster Linie über die Wände und die Decke erfolgt.

Anpassung des Bewertungsschemas

In der ursprünglichen Fassung werden die Baustoffe sowohl nach den Euroklassen A1 bis F als auch entsprechend der nationalen Klassifizierungen der Länder Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden unterschieden. Für die Anwendung in Deutschland werden den Euroklassen die deutschen Baustoffklassen gemäß der Bauregelliste A Teil 1, Anlage 0.2.2 [45] zugeordnet. Bei der Zuordnung der nationalen Baustoffklassen wird der jeweils ungünstigere Fall zugrunde gelegt. Hinzugefügt wird die Möglichkeit, bei der Verwendung von unterschiedlichen Bekleidungsmaterialien den Umsetzungsgrad der jeweiligen Oberflächenqualität anteilig zu berücksichtigen.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die nationale Baugesetzgebung verfolgt den Ansatz, dass jeder Bewohner in seiner Wohnung zunächst nur für sich selbst Verantwortung trägt. Die Auswirkungen auf die anderen Bewohner des Hauses werden durch Bauteile mit ausreichendem Feuerwiderstand

begrenzt. Daher existieren für die Baustoffqualität von Bekleidungen in Wohnungen gemäß MBO keine Anforderungen und somit ebenfalls keine Minimalanforderungen.

Qualitative Risikoanalyse

Die Oberflächenqualität in den Nutzungseinheiten beeinflusst den Brandverlauf in der Brandentstehungsphase. Die Gefahr, dass Flammen, die beispielsweise aus einem brennenden Papierkorb oder aus einem Elektrogerät herausschlagen, weiteres Material entzünden und sich der Brand weiterentwickeln kann, ist bei brennbaren Wandoberflächen unbestritten größer. Bei nichtbrennbaren Oberflächen besteht die Möglichkeit, dass der Entstehungsbrand von selbst erlischt oder sich zumindest langsamer ausbreitet, sofern keine brennbaren Materialien wie Gardinen oder Möbel in unmittelbarer Nähe sind. Bei brennbaren Oberflächen muss im Vergleich zu nichtbrennbaren Oberflächen neben der raschen Brandausbreitung auch mit einer deutlich stärkeren Rauchentwicklung gerechnet werden. Im weiteren Brandverlauf ist zudem mit einer deutlich höheren Wärmefreisetzung zu rechnen. Die genannten Brandrisiken beeinflussen insbesondere die Personensicherheit. Die Nutzungseinheiten können schneller verrauchen, sodass auch die Rettungswege blockiert werden.

Obwohl für die Baustoffqualität von Oberflächen in Nutzungseinheiten keine Anforderungen seitens der MBO bestehen, wird für diesen Parameter eine Kompensationsgruppe erarbeitet, da durch die Bauweise maßgeblich die Qualität der Oberflächen bestimmt und somit das tatsächliche Brandrisiko beeinflusst wird (vgl. Kapitel 7.2).

Die Analyse des Brandrisikos entsprechend Kapitel 5.3 zeigt, dass sich zur Kompensation eine automatische Löschanlage (P2a) in Kombination mit einer Brandmeldung (P12 + P13) eignet. Als Alternative können eine Brandmeldeanlage bei gleichzeitiger Begrenzung der Größe der Nutzungseinheiten (P4) und klassifizierten Wohnungseingangstüren (P6a) dienen oder die Schaffung einer insgesamt verbesserten Rettungswegsituation durch die Anordnung eines zweiten baulichen Rettungsweges (P14a).

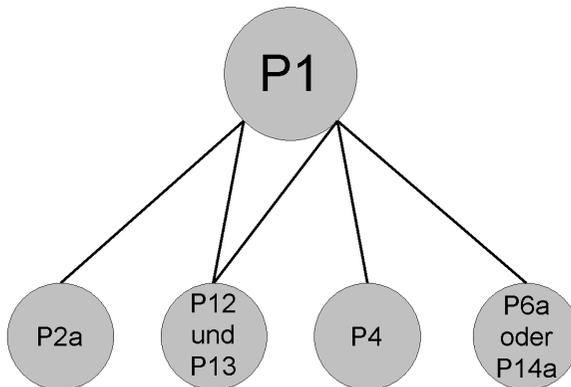


Bild 49: Kompensationsgruppe für den Parameter P1

7.2.2 P2 = Brandbekämpfungseinrichtungen (suppression system)

Unter dem Parameter P2 werden Geräte und Systeme zur Brandbekämpfung bewertet. Es wird dabei zwischen ortsfesten automatischen Löschanlagen (P2a) und mobilem Löscherät (P2b) unterschieden. Die automatischen Löschanlagen werden (wie für Skandinavien üblich) in sogenannte „residential sprinkler“ und „ordinary sprinkler“ unterschieden. „Residential sprinkler“ sind Anlagen für Wohngebäude, die auf Grund geringerer Anforderungen direkt an die Hauswasserversorgung angeschlossen werden können. Der Sub-Parameter P2b berücksichtigt das Vorhandensein von Handfeuerlöschern.

Anpassung des Bewertungsschemas

Die sogenannten „ordinary sprinkler“ für öffentliche Gebäude oder Industrieanlagen sind mit Sprinklersystemen entsprechend den Richtlinien der Sachversicherer vergleichbar. Für diese Systeme bestehen erhöhte Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Wasserversorgung. Die Planung einer solchen Sprinkleranlage kann anhand der VDS CEA 4001 erfolgen, da keine bauaufsichtlich verbindlichen Vorschriften existieren [30].

Neueste Generationen von Feinsprüh-Sprinkleranlagen als Niederdruckanlage erlauben es den Wasserverbrauch im Vergleich zu herkömmlichen Sprinkleranlagen um bis zu 85 % zu reduzieren. Als Folge ist der Platzbedarf für die Zentrale als auch für die Führung der Wasserohre deutlich geringer.

Die Systeme der „residential sprinkler“ sind in Deutschland bislang noch nicht anerkannt. Auf Grundlage positiver Erfahrungen in anderen europäischen Ländern und begleitenden wissenschaftlichen Arbeiten im nationalen Bereich ist jedoch zu hoffen, dass sie bald auch in Deutschland zur Kompensation in Wohngebäuden eingesetzt werden können. Der Vorteil dieser Systeme ist, dass sie direkt an die Hauswasserversorgung angeschlossen werden und somit geringere Kosten zur Folge haben.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die bauaufsichtlichen Anforderungen sehen für Wohngebäude der Gebäudeklasse 4 weder automatische Löschanlagen noch die Installation von Handfeuerlöschern zwingend vor. Es besteht daher weder eine bauaufsichtliche Anforderung noch eine Minimalanforderung.

Qualitative Risikoanalyse

Zur Kompensation baulicher Mängel sollte nur eine automatische Löschanlage eingesetzt werden, da sie als deutlich zuverlässiger und effektiver als Handfeuerlöschgeräte anzusehen ist. Handfeuerlöscher bieten nur dann einen effektiven Schutz, wenn die Nutzer in der Anwendung der Geräte geschult sind und eine schnelle Entdeckung der Brandherde zuverlässig sichergestellt ist. Es sollten daher Handfeuerlöscher in Wohngebäuden nur als zusätzliche Sicherheitseinrichtungen vorgesehen werden und nicht zur Kompensation bauaufsichtlicher Abweichungen angesetzt werden.

7.2.3 P3 = Feuerwehr (fire service)

Der Parameter P3 berücksichtigt die Leistungsfähigkeit und Angriffsmöglichkeiten der zuständigen Feuerwehr. Er wird dazu in die folgenden Sub-Parameter unterteilt:

- P3a = Leistungsfähigkeit der Feuerwehr,
- P3b = Hilfsfrist,
- P3c = Anleiterbarkeit des Gebäudes.

Der Sub-Parameter P3c gibt die Erreichbarkeit der Fenster durch die Feuerwehr wieder. Es handelt sich damit sowohl um eine vorbeugende bauliche als auch um eine abwehrende Brandschutzmaßnahme.

Anpassung des Bewertungsschemas

Das beschriebene Bewertungsschema kann grundsätzlich ohne Anpassungen für die Anwendung in Deutschland übernommen werden.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Zur Bemessung der Leistungsfähigkeit der Feuerwehr dient in Deutschland das sogenannte kritische Brandereignis. Es ist definiert als „Brandbekämpfung in einem Obergeschoss eines mehrgeschossigen Wohngebäudes, vorgetragen über den Treppenraum und Drehleitern bei gleichzeitig durchgeführter Personenrettung“.

Bis zu einer Gebäudehöhe von maximal 7 m dürfen zur Personenrettung tragbare Leitern verwendet werden. Bei Bränden in Gebäude mit größeren Höhen (Gebäudeklasse 4 und 5) ist eine Drehleiter zur Personenrettung erforderlich. Diese Möglichkeit des 2. Rettungsweges über eine Drehleiter muss mit der zuständigen Feuerwehr im Vorfeld abgesprochen werden. Voraussetzung ist, dass die Feuerwehr über ein Drehleiterfahrzeug verfügt, was in den meisten Fällen vorausgesetzt werden kann. Somit ist als gesetzliche Anforderung für den Sub-Parameter P3a der Wert 5 anzunehmen. Eine Unterschreitung dieser Anforderung ist nicht zu erwarten [31].

P3b berücksichtigt die Hilfsfrist der Feuerwehr. Sie gibt die Dauer zwischen Eingang der Brandmeldung und Eintreffen der Feuerwehr wieder. Gesetzlich festgeschriebene Hilfsfristen existieren lediglich in Hessen (10 Minuten) und Sachsen-Anhalt (12 Minuten). Über Verordnungen festgesetzte Hilfsfristen gibt es in Rheinland-Pfalz und Thüringen. In Rheinland-Pfalz wird die kürzeste und damit für alle anderen Länder anzustrebende Hilfsfrist von 8 Minuten angegeben. Thüringen weist ebenso wie Bayern und Schleswig-Holstein eine Hilfsfrist von 10 Minuten auf, wobei die Bundesländer Bayern und Schleswig-Holstein diese nur auf der Ebene einer Verwaltungsvorschrift vorsehen. In den Bundesländern Baden-Württemberg, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Saarland und Sachsen sind keine Hilfsfristen für die Feuerwehr bekannt. Es kann jedoch im Allgemeinen von Hilfsfristen zwischen 10 und 15 Minuten ausgegangen werden. Dies entspricht einer Bewertung des Sub-Parameters P3b mit 2. Es kann durchaus vorkommen, dass die Hilfsfrist 20 Minuten überschreitet. Die Minimalanforderung beträgt somit 0 [32], [33].

P3c beschreibt die Anleiterbarkeit des Gebäudes. Je Nutzungseinheit müssen mindestens zwei unabhängige Rettungswege vorhanden sein. Der zweite Rettungsweg kann über Rettungsgerät der Feuerwehr erfolgen. Dazu muss nach § 33 der MBO in jeder Nutzungseinheit mindestens eine Stelle (Fenster) für die Feuerwehr erreichbar sein. Die gesetzliche Anforderung beträgt somit für den Sub-Parameter P3c = 3. Eine Unterschreitung dieser Anforderung ist keinesfalls zulässig.

Qualitative Risikoanalyse

Zu den Aufgaben der Feuerwehr zählt neben der Durchführung von Löscharbeiten die Fremdrettung von Personen. Trotz gesetzlicher Vorgaben kann es in Einzelfällen vorkommen, dass die Anforderungen an die Feuerwehr nicht erfüllt werden. Dies betrifft insbesondere den Sub-Parameter P3b für den im Folgenden eine Kompensationsgruppe erarbeitet wird. Für die Sub-Parameter P3a und P3c ist eine Unterschreitung der gesetzlichen Anforderungen nicht zu erwarten.

Je nach Lage des Bauwerks ist eine Hilfsfrist von 10 bis 15 Minuten gegebenenfalls nicht gesichert. Als Beispiel hierfür kann eine Berghütte genannt werden. In diesem Fall ist es erforderlich, dass dauerhaft anwesende Nutzer in der Personenrettung geschult werden und eine Art Hausfeuerwehr bilden. Die betreffenden Personen müssen für den Brandfall geschult sein und frühzeitig durch eine Brandmeldeanlage alarmiert werden. Eine automatische Löschanlage ist ebenfalls eine sinnvolle, aber teure Kompensation für die wirksamen Löscharbeiten der Feuerwehr.

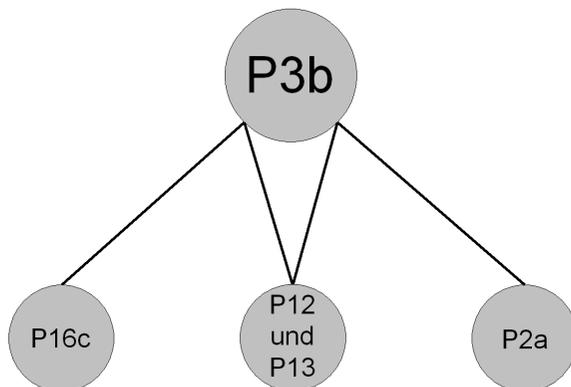


Bild 50: Kompensationsgruppe für den Sub-Parameter P3b

Da der Sub-Parameter P3b nicht Bestandteil des Standard-Brandschutzkonzeptes der MBO ist, muss vor diesem Hintergrund eine Nichterfüllung nicht zwangsweise kompensiert werden.

7.2.4 P4 = Größe der Nutzungseinheiten (compartmentation)

Der Parameter P4 bewertet das Brandrisiko hinsichtlich der Größe der Nutzungseinheiten. Nutzungseinheiten zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch raumabschließende Bauteile in Form von Trennwänden und Decken von den anderen Nutzungseinheiten brandschutztechnisch abgetrennt sind. Die trennenden Bauteile müssen mindestens der Feuerwiderstandsfähigkeit des Gebäudes entsprechen. Öffnungen innerhalb dieser Bauteile sind in Bezug auf die Nutzung zu minimieren. Die Öffnungen müssen feuerhemmend, dicht- und selbstschließend geschlossen werden.

Anpassung des Bewertungsschemas

Das Bewertungsschema wird ohne Änderungen übernommen.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Neben der Gebäudehöhe von maximal 13 m ist die Gebäudeklasse 4 ebenfalls durch eine maximal zulässige Größe der Nutzungseinheiten begrenzt. Diese beträgt 400 m². Wird die Fläche überschritten, ist das Gebäude der Gebäudeklasse 5 zuzuordnen und verlässt somit die Anwendungsgrenzen der vorliegenden Indexmethode. Eine Fläche von 400 m² gilt für die Feuerwehr als noch beherrschbar. Die Minimalanforderung entspricht somit der gesetzlichen Anforderung einer Begrenzung auf maximal 400 m².

Qualitative Risikoanalyse

Gebäude mit kleineren Nutzungseinheiten stellen für die Brandausbreitung und die Brandbekämpfung durch die Feuerwehr ein deutlich kleineres Risiko als große Nutzungseinheiten dar. Für Gebäude mit größeren Nutzungseinheiten sind daher entschieden schärfere Brandschutzanforderungen erforderlich. In der Gebäudeklasse 5 sind die tragenden und raumabschließenden Bauteile feuerbeständig auszuführen. Dies bedeutet eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten und die Verwendung nichtbrennbarer Baustoffe für die wesentlichen Bestandteile der Konstruktion.

Ob eine sinnvolle Kompensation von Nutzungseinheiten von mehr als 400 m² grundsätzlich möglich ist, kann nur im Einzelfall am konkreten Bauwerk beurteilt werden, da die baulichen Abweichungen zu gravierend sind. Eine pauschale Beurteilung in Form der Erarbeitung einer Kompensationsgruppe kann nicht gegeben werden. Die Minimalanforderung entspricht daher der gesetzlichen Anforderung.

7.2.5 P5 = Trennwände (structure-separating)

Der Parameter P5 bewertet die brandschutztechnische Qualität der trennenden Bauteile hinsichtlich des Raumabschlusses. In der ursprünglichen Version der FRIM-MAP 2.0 wird der Parameter in die folgenden vier Sub-Parameter unterteilt:

- P5a': Integrity and insulation,
- P5b': Firestops at joints, intersections and concealed spaces,
- P5c': Penetrations,
- P5d': Combustibility.

Anpassung des Bewertungsschemas

In Deutschland wird für hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise gefordert, dass diese durch eine nichtbrennbare Bekleidung gekapselt sein müssen. Die Kapselung der Holzbauteile über 60 Minuten ist somit ein zentraler Bestandteil der brandschutztechnischen Risikobetrachtungen und muss daher in die FRIM-MAB aufgenommen werden.

Zur Beschreibung der brandschutztechnischen Qualität der Bauteile hinsichtlich ihrer raumabschließenden Wirkung wird der Parameter P5 neu in folgende drei Sub-Parameter unterteilt:

- P5a: Raumabschluss, thermische Isolierung (und Rauchdichtigkeit),
- P5b: Brandverhalten,
- P5c: Durchdringungen.

Der Sub-Parameter P5a bewertet die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile hinsichtlich Raumabschluss und thermischer Isolierung und erfordert keine Veränderungen.

Die ursprünglichen Sub-Parameter P5b' und P5d' werden zur Anpassung an die Kapselbauweise in einem neuen Sub-Parameter (P5b) zusammengefasst. Dieser erhält entsprechend der Gewichtung der beiden ehemaligen einzelnen Sub-Parameter den Wert 0,41 (0,28 + 0,13). Der ursprüngliche Sub-Parameter P5b' gibt den konstruktiven Einfluss beim Zusammenfügen der einzelnen Bauteile (Wand-Wand; Wand-Decke) wieder, während der Parameter P5d' die Brennbarkeit der verwendeten Baustoffe widerspiegelt. Durch das Konstruktionsprinzip der Muster-Holzbaurichtlinie wird die Gesamtkonstruktion gekapselt, so dass eine thermische Umsetzung der brennbaren Bestandteile des Tragwerkes nicht erfolgt. Während der Kapselungsdauer sind die brennbaren Bestandteile somit hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das brandschutztechnische Sicherheitsniveau mit nichtbrennbaren Baustoffen vergleichbar.

Da bereits einzelne Schwachstellen in der Brandschutzbekleidung wie Bauteilanschlüsse, das gesamte Konzept der Kapselung zerstören würden, muss auch für die Anschlussbereiche sichergestellt sein, dass sie hinsichtlich des Entzündungsschutzes den Anforderungen an die Bauteile genügen. Konstruktiv richtig und sorgfältig ausgeführte Bauteilanschlüsse sind eine Grundvoraussetzung für eine funktionierende Kapselung. Fehlerhaft ausgeführte Bauteilanschlüsse würden sowohl die Wirksamkeit der Bauteilkapselung als auch des Raumabschlusses aufheben. Es käme zu einer früheren Entzündung der Holzbauteile. Dies müsste dann konsequenterweise durch eine entsprechend verkürzte Kapselungsdauer berücksichtigt werden. Die beiden Einflussgrößen Konstruktion und Brennbarkeit sind daher in dem neuen Sub-Parameter P5b gemeinsam zu bewerten.

Die Zusammenfassung der Brandeigenschaften in dem Sub-Parameter P5b erfordert ein neues Bewertungsschema. Dazu wird das Brandverhalten der Bauweisen in die Eigenschaften Wärmefreisetzung und Löschverhalten unterteilt und jeweils nach 15, 30 und 60 Minuten Branddauer beurteilt (Tabelle 12). Zur Bewertung dient eine Bewertungsskala von 0 = „sehr schlecht“ bis 5 = „sehr gut“.

Die Wärmefreisetzung wird mit 5 bewertet, wenn keine thermische Zersetzung der Konstruktion stattfindet. Nach Versagen der Brandschutzbekleidung beginnt die thermische Zersetzung des Holzes. Da die Bekleidung dennoch vorhanden ist, haben die Flammen keinen direkten Zugang zum Holz. Das Sauerstoffangebot ist ebenfalls durch die Bekleidung begrenzt. Die thermische Zersetzung ist im Vergleich zu unbekleideten Bauteilen reduziert. Dieser Zustand wird mit 3 bewertet. Bei weiterem Brandfortschritt kann die Bekleidung abfallen. Dies wird mit 0 bewertet, ebenso wie die Wärmefreisetzung unbekleideter Bauteile. Unbekleidete Holztafelelemente mit nichtbrennbarer Wärmedämmung werden davon abweichend nach 60 Minuten Branddauer mit 2 bewertet, da davon auszugehen ist, dass die Holzwerkstoffbekleidung bereits verbrannt ist und durch die nichtbrennbare Wärmedämmung eine geringere Wärmefreisetzung stattfindet.

Das Löschverhalten bewertet die Gefahr von Hohlraumbränden, unentdeckten Glutnestern und des Weiterglimmens. Bei vollständiger Kapselung der Holzkonstruktion über 60 Minuten bestehen diese Gefahren nicht, so dass diese Bauteile über die gesamte Dauer die Bewertung 5 erhalten. Nach Versagen der Brandschutzbekleidung ist das Löschverhalten bauweisspezifisch zu unterscheiden. Bei der Holztafelbauweise besteht die Gefahr von Hohlraumbränden, die bei der Verwendung nichtbrennbarer Dämmung reduziert wird. Diese Bauteile erhalten somit nach Versagen der Brandschutzbekleidung den Wert 2. Bei Verwendung brennbarer Dämmung wird der thermische Schutz der Dämmung durch die Anordnung einer Holzwerkstoffplatte sichergestellt. Obwohl die thermische Zersetzung der brennbaren

Dämmung damit planmäßig ausgeschlossen ist, wird das Löschverhalten als etwas kritischer beurteilt und mit 1 bewertet.

Bei Massivholzelementen hat das Versagen der Brandschutzbekleidung ebenfalls das Entzünden der Holzkonstruktion zur Folge. Da die Gefahr unentdeckter Hohlraumbrände auf Grund der Bauweise nicht existiert, muss nur die Glimmneigung berücksichtigt werden. Das Löschverhalten ist dann mit 3 zu bewerten. Mit länger andauernder thermischer Zersetzung der Bauteile erhöht sich die Dicke der Verkohlungsschicht. Obwohl durch Brand- und Löschversuche belegt werden konnte, dass die Bauteile ohne mechanisches Abtragen der Verkohlungsschicht gelöscht werden können, wird dieser Zustand als etwas kritischer beurteilt und mit 2 bewertet. Der Grund hierfür sind zusätzliche Arbeiten der Feuerwehr zum Abtragen der Verkohlungsschicht, damit keine Glutnester übersehen werden. Das Bewertungsschema ist Tabelle 12 zu entnehmen.

Die Bewertung des Sub-Parameters P5b erlaubt ebenfalls die Berücksichtigung des Umsetzungsgrads.

Tabelle 12: Bewertung des Brandverhaltens von Holzbauteilen

Bauweise	Wärmefreisetzung nach ?? Minuten			Löschverhalten nach ?? Minuten			Summe	Mittelwert	Resultierende Bewertung
	15	30	60	15	30	60			
Mauerwerksbauweise Betonbau	5	5	5	5	5	5	30	5	5
Holztafelbauweise Nichtbrennbare Dämmung Bekleidung K ₂ 60	5	5	5	5	5	5	30	5	5
Holztafelbauweise Nichtbrennbare Dämmung Bekleidung K ₂ 30	5	5	3	5	5	2	25	4,17	4
Holztafelbauweise Nichtbrennbare Dämmung Bekleidung K15	5	3	0	5	2	2	17	2,83	- / -
Holztafelbauweise Nichtbrennbare Dämmung unbekleidet	0	0	1	2	2	2	7	1,17	- / -
Holztafelbauweise Brennbare Dämmung Bekleidung K ₂ 60	5	5	5	5	5	5	30	5	5
Holztafelbauweise Brennbare Dämmung Bekleidung K ₂ 30*	5	5	3	5	5	1	24	4	4
Holztafelbauweise Brennbare Dämmung Bekleidung K15*	5	3	0	5	1	1	15	2,5	- / -
Holztafelbauweise Brennbare Dämmung unbekleidet	0	0	0	1	1	1	3	0,5	- / -
Holzmassivbauweise Bekleidung K ₂ 60	5	5	5	5	5	5	30	5	5
Holzmassivbauweise Bekleidung K ₂ 30	5	5	3	5	5	3	26	4,33	4
Holzmassivbauweise Bekleidung K15	5	3	0	5	3	2	18	3	3
Holzmassivbauweise unbekleidet	0	0	0	3	2	2	7	1,17	1

*) Der thermische Schutz der brennbaren Dämmung muss durch eine zusätzliche Holzwerkstoffplatte über 60 Minuten sichergestellt sein.

Der Sub-Parameter P5c bewertet die Ausführung von Installationsleitungen von einer Nutzungseinheit in eine andere hinsichtlich ihres brandschutztechnischen Risikos. Dieser Sub-Parameter wird ohne Anpassungen übernommen.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die in der MBO gestellten Anforderungen an raumabschließende Bauteile der Gebäudeklasse 4 besagen, dass diese hochfeuerhemmend ausgebildet werden müssen. Dies bedeutet für die Eigenschaften Raumabschluss und thermische Isolierung eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten und entspricht einer Bewertung des Parameters P5a mit 5. Eine Unterschreitung dieser wesentlichen Anforderung ist auszuschließen.

Die Bauteile müssen dazu entweder aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen oder bei Verwendung brennbarer Baustoffe eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen aufweisen. Diese Brandschutzbekleidung muss einen Entzündungsschutz der tragenden Konstruktion von 60 Minuten gewährleisten. Somit hat der Parameter P5b entsprechend den bauaufsichtlichen Anforderungen ebenfalls einen Wert von 5. Die Mindestwerte für den Parameter P5b sind in Abhängigkeit der Bauweise in Kapitel 5 festgelegt worden. Sie betragen für den Holztafelbau 30 Minuten, wobei bei der Verwendung brennbarer Dämmstoffe eine Schädigung des Dämmmaterials über 60 Minuten auszuschließen ist. Massivholzelemente können auch unbekleidet eingesetzt werden.

Zur Führung der Installationen müssen mindestens die Vorgaben der Muster-Leitungsanlagenrichtlinie eingehalten werden. Der Parameter P5c entspricht somit einem bauaufsichtlich gefordertem Wert von 2, der nicht unterschritten werden darf. Die gesetzliche Anforderung entspricht der Minimalanforderung.

Qualitative Risikoanalyse

Der Sub-Parameter P5a bewertet den Raumabschluss unter Vollbrandbedingungen. Es soll sichergestellt werden, dass der Brand in Form von Flammen, Temperatur und Rauch über einen festgelegten Zeitraum nicht in die benachbarten Nutzungseinheit überschlagen kann. Zwar ist eine Kompensation dieser Anforderungen mit einer automatischen Löschanlage durchaus denkbar. Diese Variante wird jedoch nicht weiter ausgeführt, da sie als praxisfern einzustufen ist. Moderne Holzbauteile haben gerade in Kombination mit einer brandschutztechnischen Bekleidung keinerlei Probleme, die Anforderung EI 60 zu erfüllen.

Der Parameter P5b beschreibt das Brandverhalten der Bauteile. Im Wesentlichen wird das Brandverhalten durch die Leistungsfähigkeit der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung bestimmt. Das Schutzziel der brandschutztechnischen Bekleidung ist es, den Feuertritt in den Hohlraum der Holzkonstruktion bzw. eine Entzündung der Holzteile zu verhindern. Die Möglichkeiten zur Kompensation eines reduzierten Entzündungsschutzes sind in Kapitel 5 ausführlich behandelt worden. Eine Reduzierung der Anforderung von K₂60 auf K₂30 kann durch eine Brandmeldeanlage kompensiert werden. Dabei ist zu beachten, dass bei Verwendung brennbarer Dämmstoffe die thermische Umsetzung weiterhin über 60 Minuten zu verhindern ist.

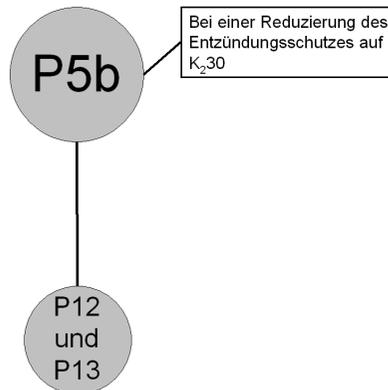


Bild 51: Kompensationsgruppe für den Sub-Parameter P5b (K₂₃₀-Bekleidung)

Der nur für die Holzmassivbauweise mögliche Verzicht auf eine Brandschutzbekleidung kann entweder durch eine automatische Löschanlage (inkl. automatischer Brandmeldung) kompensiert werden oder durch eine Begrenzung der Größe der Nutzungseinheit bei gleichzeitiger Anordnung einer Brandmeldeanlage und klassifizierten Wohnungseingangstüren. Als Alternative zu den klassifizierten Wohnungseingangstüren kann die Rettungswegsituation durch die Anordnung eines zweiten baulichen Rettungsweges verbessert werden.

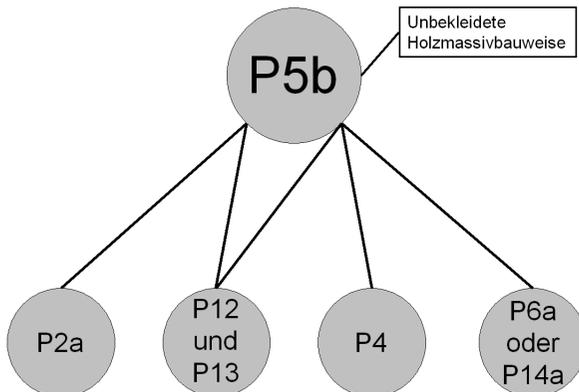


Bild 52: Kompensationsgruppe für den Sub-Parameter P5b (unbekleidet)

Für den Parameter P5c wird keine Kompensationsgruppe erarbeitet, da die Minimalanforderung der gesetzlichen Anforderung entspricht.

7.2.6 P6 = Türen (doors)

Dieser Parameter gibt den Einfluss von Türen auf die Brandsicherheit, insbesondere auf die Rauchfreihaltung von Rettungswegen, wieder. Es wird dabei grundsätzlich zwischen Türen von Nutzungseinheit zu Rettungsweg (P6a) und Türen zwischen notwendigem Flur zu Treppenraum (P6b) unterschieden.

Anpassung des Bewertungsschemas

Die Türen werden in der Version FRIM-MAB 2.0 nur hinsichtlich ihrer raumabschließenden und isolierenden Eigenschaften sowie ihres Schließmechanismus bewertet. Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die Anforderungen an Türen in Gebäuden normaler Art und Nutzung auf Grundlage der MBO. Zusammenfassend können Türen mit Brandschutzanforderungen in die drei wesentlichen Klassen RS, T 30 und T 90 unterteilt werden. Bei der Dichtigkeit wird zwischen dicht und rauchdicht unterschieden. Während für die Rauchdichtigkeit eine geeignete, vollständig umlaufende Dichtung erforderlich ist, kann die Dichtung einer dichtschließenden Tür im Fußbereich einen Spalt aufweisen. Es wird ersichtlich, dass die Rauchdichtigkeit der Türen ein zentraler Bestandteil der bauaufsichtlichen Anforderungen ist. Das Bewertungsschema für den Parameter P6 wurde daher entsprechend erweitert.

Tabelle 13: Übersicht über Anforderungen an Türen

Bauaufsichtliche Anforderungen an Türen			Bezeichnung
Feuerwiderstandsdauer	Material	Weitere Anforderung	
90 Minuten	nichtbrennbar	selbstschließend	T 90
30 Minuten	normalentflammbar	selbstschließend	T 30
keine Anforderung	normalentflammbar	rauchdicht und selbstschließend	RS
30 Minuten	normalentflammbar	rauchdicht und selbstschließend	T 30-RS
keine Anforderung	normalentflammbar	dicht- und selbstschließend	- / -
keine Anforderung	normalentflammbar	nichtabschließbar, rauchdicht und selbstschließend	RS
keine Anforderung	normalentflammbar	dichtschließend	- / -

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die bauaufsichtlichen Anforderungen an Türen in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 sind abhängig vom Bauteil, in welches sie eingebaut werden. Sowohl die bauaufsichtlichen Anforderungen als auch die Minimalanforderungen sind Tabelle 14 zu entnehmen.

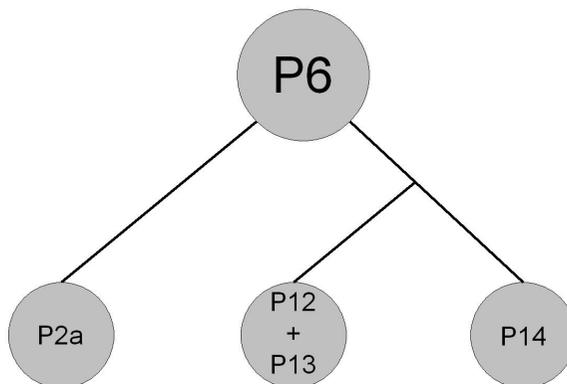
Tabelle 14: Bauaufsichtliche Anforderungen und Minimalanforderungen für Türen

Situationsbeschreibung		Bauaufsichtliche Anforderung	Minimalanforderung
Öffnung in Brandwänden		T 90	T 30
Öffnung in Trennwänden		T 30	T 30
Öffnung von notw. Treppenraum zu	notw. Flur	RS	dicht- und selbstschließend
	Wohnung	dicht- und selbstschließend	dicht- und selbstschließend
Unterteilung eines notw. Flures in Rauchabschnitte		RS	dicht- und selbstschließend
Öffnung von notw. Flur zu	sonst. Raum	dichtschießend	dichtschießend

Qualitative Risikoanalyse

Bei unzureichender Qualität der Türen kann Rauch, aber auch der Brand selbst in die Rettungswege gelangen und diese unpassierbar machen. Als geeignete Kompensationsmaßnahme kann entweder die Rettungswegssituation verbessert oder durch eine automatische Brandmeldung die frühzeitige Selbstrettung der Nutzer sichergestellt werden. Je nach Gefahrensituation ist ebenfalls eine Kombination dieser beiden Maßnahmen denkbar.

Hinsichtlich einer zu geringen Feuerwiderstandsdauer der Türen (Türen zum Treppenraum) ist eine automatische Löschanlage eine geeignete Kompensationsmaßnahme (P2a). Durch die Löschanlage wird der Brand auf einen Entstehungsbrand reduziert und die Tür kann dem Brand ausreichend lang Widerstand leisten.

**Bild 53: Kompensationsgruppe für den Parameter P6**

7.2.7 P7 = Fenster (windows)

Dieser Parameter bewertet die Einbaulage (P7a) und die brandschutztechnische Qualität (P7b) von Öffnungen in Außenwänden. Die Einbaulage wird über das Verhältnis des vertikalen Abstands zweier Fenster zur Fensterhöhe berücksichtigt. Die Qualität der Fenster wird durch die Feuerwiderstandsdauer bezüglich Raumabschluss E und Isolierung I beschrieben.

Anpassung des Bewertungsschemas

Das Bewertungsschema der Version FRIM-MAB 2.0 kann dazu ohne Anpassungen übernommen werden.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die MBO stellt keine Anforderungen an die vertikale Distanz zweier übereinander liegender Fenster. Hinsichtlich der Qualität der Fenster besteht nur die Anforderung, dass diese bis auf Fensterrahmen und Dichtung nichtbrennbar sein müssen. Diese Anforderung wird somit durch jedes handelsübliche Glasfenster erfüllt. Die bauaufsichtliche Anforderung entspricht einer Bewertung des Parameters P7 mit 0.

Qualitative Risikoanalyse

Durch die Fenster besteht die Gefahr eines Brandüberschlags über die Fassade von Geschoss zu Geschoss oder auch zu angrenzenden Gebäuden. Der Brand schlägt aus einem Fenster heraus und gelangt über die Fassade und das darüber liegende Fenster in das nächsthöhere Geschoss. Gleiches gilt für die Brandübertragung auf angrenzende Gebäude. Die Ausbildung der Fassade hinsichtlich Baustoffwahl und Konstruktion (Hinterlüftungsspalt) hat ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf den Brandüberschlag über die Fassade. Der Brandübersprung auf angrenzende Gebäude kann durch einen ausreichenden Abstand zum Nachbargebäude unterbunden werden. Da die bauaufsichtlichen Anforderungen sehr gering sind, ist eine Kompensation im Allgemeinen nicht erforderlich. Auf die Erarbeitung einer Kompensationsgruppe wird daher verzichtet.

7.2.8 P8 = Fassade (facades)

Der Parameter P8 bewertet das brandschutztechnische Risiko von Fassaden. Dabei ist zu beachten, dass das Brandverhalten von Fassaden nicht nur von den eingesetzten Baustoffen beeinflusst wird, sondern auch von deren Anordnung und Konstruktion. Der Parameter wird dazu in der ursprünglichen Version der FRIM-MAB 2.0 in die folgenden Sub-Parameter unterteilt:

- P8a' = Anteil brennbarer Baustoffe an der Fassade,
- P8b' = brennbare Baustoffe oberhalb von Fenstern,
- P8c' = Hinterlüftung.

Anpassung des Bewertungsschemas

Dieses Bewertungsschema wird vollständig überarbeitet. Statt einer Unterteilung des Parameters P8 in drei Sub-Parameter wird das Brandverhalten der Fassade allein durch die Angabe der Baustoffklasse bewertet. Dieses vereinfachte Bewertungsschema ist auf Grundlage des Norm-Entwurfs DIN E 4102 Teil 20 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Versuche im Maßstab 1:1 an Fassaden“ möglich. Der Norm-Entwurf sieht eine

Klassifizierung der Baustoffklasse anhand des Brandverhaltens der gesamten Fassadenkonstruktion vor. Damit wird nicht nur die Brennbarkeit der eingesetzten Baustoffe berücksichtigt, sondern ebenfalls das Brandverhalten der Konstruktion bewertet. Eine Einstufung in die Baustoffklassen erfolgt unter anderem auf Grund der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, der Flammenhöhe, der seitlichen Flammenausbreitung und der Wärmefreisetzungsrate. Damit ist es z. B. möglich, dass durch eine konstruktiv günstige Anordnung normalentflammbarer Baustoffe das Gesamtsystem die Anforderungen einer schwerentflammbaren Fassade erfüllt.

Die Fassade hat im Standardbrandschutzkonzept der MBO folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Die Brandausbreitung über die Fassade muss ausreichend lang begrenzt sein.
- Eine brennende Fassade muss für die Feuerwehr löschar bleiben.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die Anforderungen an den Brandschutz sind in § 28 der MBO festgehalten. Demnach dürfen Außenwände der Gebäudeklasse 4 aus brennbaren Baustoffen bestehen, wenn sie die raumabschließende Wirkung über mindestens 30 Minuten behalten. Die Fassade muss einschließlich der Dämmstoffe und der Unterkonstruktion mindestens schwerentflammbar sein. Die Unterkonstruktion kann normalentflammbar sein, wenn eine übermäßige Brandausbreitung nicht zu befürchten ist. Bei Fassaden mit geschossübergreifendem Hinterlüftungsspalt sind gegen die Brandausbreitung gesonderte Maßnahmen zu ergreifen wie die geschossweise Anordnung von Brandsperren.

Eine schwerentflammbare Fassade erhält die Bewertung 3. Bei entsprechenden Kompensationsmaßnahmen ist auch die Anwendung einer brennbaren Fassade denkbar.

Qualitative Risikoanalyse

Als Szenario für einen Fassadenbrand ist nicht nur der Vollbrand in einem Raum zu Grunde zu legen, sondern auch möglicherweise brennende Gegenstände außerhalb des Gebäudes wie ein brennender Mülleimer oder ein brennendes Auto. Daher kompensiert eine automatische Löschanlage nicht alle Brandgefahren. Als geeigneter erscheint die Kompensation mittels klassifizierter Fenster (P7b). So wird sowohl der Brandüberschlag von innen auf die Fassade als auch umgekehrt wirkungsvoll verzögert. Ein Brandüberschlag von einem Geschoss in das nächsthöhere vor Eintreffen der Feuerwehr ist auszuschließen. Darüber hinaus sollten für diese geschilderte Kompensation ebenfalls geeignete Maßnahmen getroffen werden, um einen Brandüberschlag in den Dachraum zu unterbinden (P9a). Die Gefahr des Brandüberschlags auf angrenzende Gebäude kann durch einen ausreichenden Gebäudeabstand reduziert werden (P10).

Je nach vorliegender Gefahrensituation ist eine brandschutztechnisch kritische Fassade entsprechend zu kompensieren.

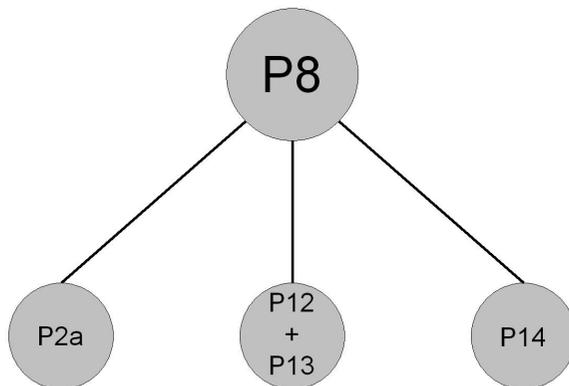


Bild 54: Kompensationsgruppe für den Parameter P8

7.2.9 P9 = Dachraum (attic)

Der Parameter P9 bewertet die Gefahr des Brandüberschlags von der Fassade über die Traufe auf den Dachraum (P9a) und die Gefahr der weiteren Ausbreitung innerhalb des Dachraumes (P9b).

Unter Dachraum ist entsprechend der MBO der Raum zu verstehen, dessen obere und seitliche Abgrenzung durch das Dach gebildet wird. Innerhalb des Dachraumes können weitere Geschosse mit Aufenthaltsräumen angeordnet werden. Der Raum zwischen der Decke des obersten Geschosses und dem Dach wird als Hohlraum bezeichnet. Zur besseren Verständlichkeit wird dieser Hohlraum im Folgenden Spitzboden genannt.

Der Brandüberschlag von außen über die Traufe in den Dachraum ist ein Grund, warum das Dach häufig im Brandfall sehr schnell brennt. Diesem wird bisher weder in der Baugesetzgebung noch in der Baupraxis durch entsprechend klassifizierte Lösungen Rechnung getragen. Der Sub-Parameter P9a wird ohne Anpassungen übernommen. Es ist zukünftig denkbar, dass die Bewertung detaillierter erfolgt und ebenfalls eine Art Feuerwiderstandsdauer als Kriterium zu Grunde gelegt wird.

Anpassung des Bewertungsschemas

Für die Bewertung des Sub-Parameters P9b werden die Grenzwerte zur brandschutztechnischen Unterteilung des Spitzbodens an die in Deutschland üblichen Grenzen (400 m² und 1600 m²) angepasst.

Des Weiteren wird durch Einführung des Sub-Parameters P9c eine Bewertung für den Fall vorgesehen, dass durch die brandschutztechnische Unterteilung des Spitzbodens die Grenzen der Nutzungseinheiten im darunter liegenden Geschoss fortgeführt werden.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

An die Ausbildung des Spitzbodens werden nur sehr geringe Brandschutzanforderungen gestellt. In der MBO wird für Gebäude der Gebäudeklasse 4 eine Unterteilung des Spitzbodens entsprechend der Nutzungseinheiten nicht gefordert. Die einzige Anforderung ist,

dass mindestens nach 40 m eine Brandwand errichtet wird. Dies entspricht einer Bewertung des Parameters P9 mit 0.

Qualitative Risikoanalyse

Es besteht die Gefahr der unkontrollierten Brandausbreitung über den Dachraum. Dieser Gefahr kann auf zwei Weisen begegnet werden. Zum einen kann der Dachraum durch Trennwände baulich unterteilt werden. Zum anderen kann die Gefahr des Brandeintrags in den Dachraum durch bauliche Maßnahmen reduziert werden. Oft werden in der Traufe des Daches Öffnungen zur Belüftung des Dachraums vorgesehen. Diese begünstigen den Brandüberschlag auf den Dachraum. Daher sollte die Traufe als Konstruktion mit einer gewissen Feuerwiderstandsdauer und ohne Öffnungen ausgeführt werden, um den Brandüberschlag auf den Dachraum zu behindern. Als eine weitere Kompensationsmaßnahme zur Vermeidung einer unbemerkten Brandausbreitung im Dachraum bieten sich Brandmelder im Dachraum an.

Da die Anforderungen der Bauordnung an die Ausbildung des Dachraumes sehr gering sind und eine Unterschreitung dieser Anforderungen nicht vorgesehen ist, wird keine Kompensationsmaßnahme angeführt.

7.2.10 P10 = angrenzende Gebäude (adjacent buildings)

Der Parameter P10 bewertet die Gefahr eines Brandüberschlags auf angrenzende Gebäude. Das Bewertungskriterium ist der Abstand der Gebäude untereinander.

Anpassung des Bewertungsschemas

Die Bewertungstabelle wird nur geringfügig an die deutschen Anforderungen der MBO angepasst. Die unterste Bewertungsstufe wird von 6 m Abstand auf 5 m Abstand reduziert.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die bauaufsichtlichen Anforderungen der MBO besagen, dass aus brandschutztechnischer Sicht ein Mindestabstand von 5 m einzuhalten ist. Wird dieser Wert nicht eingehalten muss die Gefahr des Brandüberschlags durch Ausbildung einer Brandwand kompensiert werden. Der Mindestabstand von 5 m entspricht einer Bewertung des Parameters P10 mit 1.

Qualitative Risikoanalyse

Die Brandabschnittsbildung ist in Deutschland von enormer Wichtigkeit. Der Brandüberschlag auf angrenzende Gebäude wird am effektivsten durch einen ausreichenden Abstand der Gebäude untereinander verhindert. Bei Unterschreitung des Mindestabstands von 5 m muss eine Wand in der Qualität einer Brandwand angeordnet werden. Erfüllt die Wand nicht die Anforderungen einer Brandwand, kann dies höchstens durch eine automatische Löschanlage kompensiert werden. Durch die frühzeitige Eindämmung des Brandes wird die Wärmefreisetzung reduziert und das Schutzziel der Brandwand kann erreicht werden. Die Möglichkeit einer solchen Kompensationsmaßnahme muss im Einzelfall geklärt werden, da die Abweichung unter Umständen öffentlich-rechtlich geschützte nachbarliche Belange betrifft.

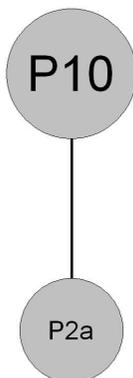


Bild 55: Kompensationsgruppe für den Parameter P10

7.2.11 P11 = Entrauchung (smoke control system)

Die unter P11 beschriebenen Rauch- und Wärmeabzüge dienen der Rauchfreiheit der Rettungswege. Die Entrauchungseinrichtungen werden über die Aktivierung und die Art der Entrauchungssysteme beschrieben.

Anpassung des Bewertungsschemas

Zur Bewertung der Entrauchungssysteme wird der Parameter um die Häufigkeit der Entrauchungssysteme erweitert, so dass nun insgesamt 3 Sub-Parameter zu bewerten sind:

- P11a = Häufigkeit der Entrauchungseinrichtungen,
- P11b = Aktivierung der Entrauchungseinrichtungen,
- P11c = Art der Entrauchungseinrichtungen.

Die Unterscheidung ist erforderlich, da es entscheidend ist, ob Entrauchungsöffnungen in jedem Geschoss oder nur im obersten Geschoss vorhanden sind. Dies kann mit dem ursprünglichen Bewertungsschema nicht erfasst werden.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Nach MBO sind Rauch- und Wärmeabzüge in notwendigen Treppenträumen in jedem oberirdischen Geschoss in Form von manuell zu öffnenden Fenstern gefordert. Die Fenster müssen einen freien Querschnitt von mindestens 0,5 m² aufweisen. Der Grundwert der gesetzlichen Anforderungen für den Parameter P11 beträgt somit 2. Als Minimalanforderung sollte ein Rauchabzug an oberster Stelle des Treppenraumes vorgesehen werden. Dies entspricht einer Bewertung von 1.

Qualitative Risikoanalyse

Das Schutzziel notwendiger Treppenträume besteht darin, dass ihre Nutzung im Brandfall ausreichend lang nicht durch Raucheintritt gefährdet wird. Dies gilt als gewährleistet, wenn die Forderung der MBO nach manuell zu öffnenden Fenstern in jedem Geschoss erfüllt ist. Werden die Anforderungen nicht erfüllt, muss das Risiko der Raucheindringung in die Rettungswege reduziert werden. Dies kann durch den Einbau klassifizierter Türen zwischen

den Nutzungseinheiten und dem Rettungsweg erfolgen (P6a). Die frühzeitige Warnung der Nutzer durch eine Brandmeldeanlage führt nochmals zu einer erhöhten Sicherheit (P12 + P13).

Alternativ könnte zusätzlich zur Rettungsmöglichkeit durch die Feuerwehr ein zweiter unabhängiger baulicher Rettungsweg vorgesehen werden (14a).

In der MBO ist definiert, dass das Fehlen der Fenster bei einem innenliegenden Treppenraum durch einen Rauchabzug von mindestens 1 m² Fläche an oberster Stelle des Treppenraumes und T 30-RS-Türen zu den Nutzungseinheiten bzw. selbstschließende und rauchdichte Türen zu notwendigen Fluren kompensiert werden kann.

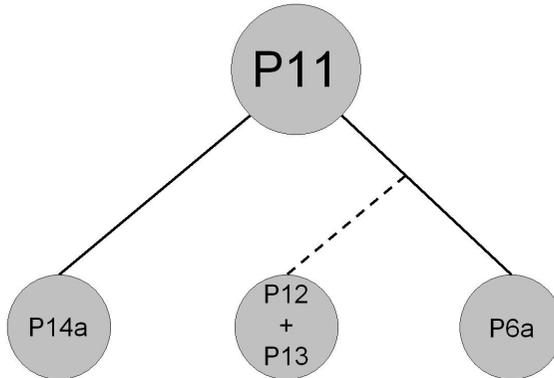


Bild 56: Kompensationsgruppe für den Parameter 11

7.2.12 P12 = Branderkennung (detection system)

Unter Parameter P12 werden die Einrichtungen zur Branderkennung beschrieben. Die Branddetektoren werden in Parameter P12a hinsichtlich Ort und Häufigkeit und in Parameter P12b hinsichtlich Auslösetechnik und Stromversorgung unterschieden.

Anpassung des Bewertungsschemas

Das Bewertungsschema wird ohne Anpassungen übernommen.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Einrichtungen zur frühzeitigen Branderkennung sind in der MBO für Wohngebäude der Gebäudeklasse 4 derzeit nicht vorgesehen, so dass an diesen Parameter keine Anforderungen gestellt werden. Es laufen allerdings Bestrebungen, einen Grundschutz an Branderkennung und Brandmeldung gesetzlich vorzuschreiben. So sind in den Landesbauordnungen der Länder Rheinland-Pfalz, Saarland, Schleswig-Holstein, Hessen und Hamburg Rauchwarnmelder gesetzlich vorgeschrieben.

In diesen Bundesländern kann der Parameter P12 nur zur Kompensation herangezogen werden, sofern die Ausstattung an Brandmeldern über den Grundschutz batteriebetriebener Rauchwarnmelder hinaus geht. Es ist damit zu rechnen, dass die anderen Landesbauordnungen diesem Beispiel folgen werden. Der Grundschutz sieht mindestens einen batteriebetriebenen Rauchwarnmelder je Wohneinheit vor. Dies entspräche einer Bewertung

des Parameters P12 mit dem Wert 2. Die Bewertung dieser Maßnahme muss allerdings hinterfragt werden. Da weder Anforderungen an die Qualität der Rauchwarnmelder noch an deren Wartung gestellt werden, muss auf Grund von Erfahrungswerten davon ausgegangen werden, dass die Technik im Ernstfall nur eingeschränkt einsatzfähig ist. Dies bedeutet für den Parameter P12 auch bei einem geforderten Rauchwarnmeldergrundschutz bei einer konservativen Bewertung den Wert 0 und entspräche vermutlich bei einem großen Anteil eher der Realität.

Qualitative Risikoanalyse

Eine frühzeitige Branderkennung dient in erster Linie der Selbstrettung der Nutzer, hat aber auch zur Folge, dass die Feuerwehr schneller alarmiert werden kann. Da die Branderkennung im „Standardbrandschutzkonzept“ der MBO keine Rolle spielt, kann dieser Parameter als reine Kompensationsmaßnahme eingesetzt werden. Der in einigen Landesbauordnungen eingeführte Grundschutz ist ebenfalls ohne großen Aufwand herzustellen, so dass eine Kompensation ausscheidet.

Es ist selbstverständlich darauf zu achten, dass der Parameter P12 nur in einer sinnvollen Kombination mit dem Parameter P13 „Brandmeldung“ eingesetzt werden kann.

7.2.13 P13 = Brandmeldung (signal system)

Dieser Parameter bewertet den Einfluss der Brandmeldung auf das Brandrisiko. Es wird dabei nach der Art des Signals (Licht, Ton, Sprachmitteilung) und der Reichweite des Signals (Wohnung, Gebäude) differenziert.

Anpassung des Bewertungsschemas

Das Bewertungsschema wird ohne Anpassungen übernommen.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Ebenso wie an die Branderkennung werden folgerichtig auch an die Brandmeldung keine Anforderungen in der MBO gestellt. Die Ausführungen zu Parameter P12 hinsichtlich eines Grundschatzes mittels batteriebetriebener Rauchwarnmelder in einigen Landesbauordnungen gelten sinngemäß. Auch für die Bewertung dieses Grundschatzes an Brandmeldung sind die Ausführungen zu Parameter P12 in gleicher Weise zu übernehmen. Bei Unterstellung der Funktionstüchtigkeit und vollständiger Berücksichtigung dieser gesetzlichen Anforderung wäre der Parameter P13 mit 3 zu bewerten. Eine Bewertung mit 0 ist als konservativ anzusehen.

Qualitative Risikoanalyse

Eine schnelle Alarmierung der Bewohner reduziert die Evakuierungszeit und ist somit für die Selbstrettung der Personen sehr hilfreich. Untersuchungen zeigen, dass auf eine Sprachmeldung schneller reagiert wird als auf eine reine Tonmeldung. Eine rasche Alarmierung der Bewohner hat ebenfalls ein schnelleres Eingreifen der Feuerwehr zur Folge. Da die Brandmeldung wie die Branderkennung im „Standardbrandschutzkonzept“ der MBO keine Rolle spielt, kann dieser Parameter als reine Kompensationsmaßnahme eingesetzt werden. Auf eine sinnvolle Kombination der beiden Parameter P12 und P13 ist zu achten. In den Ländern, in denen Rauchwarnmelder in den Landesbauordnungen gefordert werden, kann der Parameter P12 nur als Kompensation herangezogen werden, sofern die Ausstattung an Brandmeldern über den Grundschatz batteriebetriebener Rauchwarnmelder hinaus geht.

7.2.14 P14 = Rettungswege (escape routes)

Die Rettungswege dienen hauptsächlich der Selbstrettung der Nutzer, sind aber auch für die Fremdrettung und den Löschangriff durch die Feuerwehr von Bedeutung. Die Beschaffenheit der Rettungswege wird nach folgenden vier Kriterien beurteilt:

- P14a (Art der Rettungswege),
- P14b (Dimensionierung und Anordnung),
- P14c (Orientierung),
- P14d (Oberflächen in Rettungswegen).

Der Sub-Parameter P14a bewertet die Gegebenheiten hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Fluchtmöglichkeiten wie die Anzahl der baulichen Rettungswege, Rettungsbalkone und Fluchtmöglichkeiten durch Fenster. P14b unterscheidet die Fluchtmöglichkeiten nach der Länge der Rettungswege, der Anzahl der Stockwerke und Anzahl der flüchtenden Personen. P14c berücksichtigt die Vorkehrungen für eine leichte Orientierung in den Rettungswegen. Die Baustoffqualität der Oberflächen in den Rettungswegen wird durch P14d beurteilt.

Anpassung des Bewertungsschemas

Das Bewertungsschema wird ohne Anpassungen übernommen.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Gemäß MBO muss mindestens ein baulicher Rettungsweg zur Verfügung stehen. Der zweite Rettungsweg kann durch die Feuerwehr sichergestellt werden. Dazu muss mindestens ein Fenster je Nutzungseinheit den Anforderungen genügen. Fenster, die als Rettungsweg dienen, müssen nach § 37 der MBO mindestens eine Größe von 0,9 x 1,2 m² haben und eine Brüstungshöhe von nicht mehr als 1,2 m aufweisen. Die maximal zulässige Länge bis zum Erreichen eines vertikalen Rettungsweges (notwendiger Treppenraum) beträgt 35 m. Die maximale Anzahl der Stockwerke beträgt aufgrund der zulässigen Gebäudehöhe von 13 m und einer Mindestraumhöhe von 2,4 m 5 Geschosse. Eine Begrenzung der Anzahl der Nutzungseinheiten je Geschoss wird nicht gegeben. Für eine leichtere Orientierung in den Rettungswegen müssen nach MBO Treppenräume beleuchtet werden können. Eine Sicherheitsbeleuchtung wird für Wohngebäude der Gebäudeklasse 4 nicht gefordert. Eine Beschilderung der Rettungswege ist ebenfalls nicht erforderlich.

In notwendigen Treppenräumen und notwendigen Fluren fordert die MBO in § 35, dass Bekleidungen, Dämmstoffe und andere Einbauten aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Wände und Decken aus brennbaren Baustoffen müssen mit nichtbrennbaren Baustoffen in ausreichender Dicke bekleidet werden.

Es ergeben sich somit die folgenden Werte für die Anforderungen nach der MBO:

- P14a = 0,
- P14b = 0,
- P14c = 0,
- P14d = 5.

Qualitative Risikoanalyse

Für die Sub-Parameter P14a, P14b und P14c werden keine Kompensationsmaßnahmen angeführt, da die Anforderungen der MBO den Minimalanforderungen entsprechen.

Für den Parameter P14d ist in Form von nichtbrennbaren Oberflächen ein vergleichsweise hohes Sicherheitsniveau gefordert. Brennbar Oberflächen in Rettungswegen erhöhen die Brandentstehungs- und Ausbreitungsgefahr, so dass der Rettungsweg blockiert werden kann. Als Kompensation ist eine überaus günstige Rettungswegssituation denkbar, wie zwei unabhängige, bauliche Rettungswege (P14a) oder Rettungsbalkone in Kombination mit T 30-Türen zwischen der Nutzungseinheit und dem Rettungsweg (P14a + P6a). Gleichzeitig ist eine frühzeitige Alarmierung der Bewohner durch eine automatische Brandmeldeanlage (P12 + P13) sicherzustellen. Für den Fall, dass die beiden „unabhängigen“ Rettungswege über einen gemeinsamen notwendigen Flur erreicht werden, darf der Flur keine brennbaren Oberflächen enthalten.

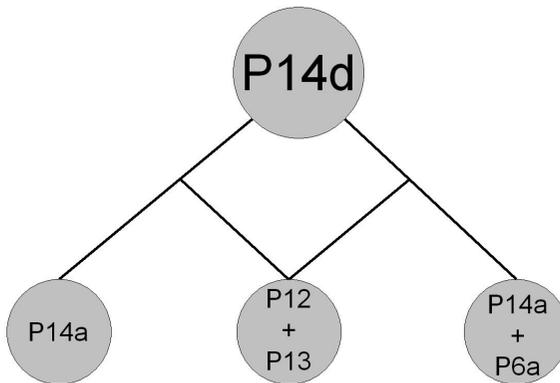


Bild 57: Kompensationsgruppe für den Sub-Parameter 14d

7.2.15 P15 = Tragfähigkeit (structure – load bearing)

Der Parameter P15 bewertet das Brandverhalten der tragenden Struktur. Der Parameter wird dazu in die Sub-Parameter Tragfähigkeit (P15a') und Brennbarkeit (P15b') unterteilt.

Anpassung des Bewertungsschemas

Hinsichtlich der Tragfähigkeit wird der Parameter P15a für eine Anwendung in Deutschland ergänzt. Neben den planmäßigen Belastungen muss für die Tragfähigkeit im Brandfall für bestimmte Bauteile zusätzlich eine seitliche Stoßbeanspruchung berücksichtigt werden. Diese seitliche Stoßbeanspruchung simuliert Teile, die auf Grund der Brandeinwirkung gegen raumabschließende Wände fallen können. Der Parameter wird daher um den Sub-Parameter „Stoßbeanspruchung“ erweitert. Die Gewichtung des ursprünglichen Sub-Parameters P15a betrug 0,74. Diese Gewichtung wird aufgeteilt und zu 2/3 der Tragfähigkeit und 1/3 der Stoßbeanspruchung zugeordnet.

Zur tabellarischen Bewertung der seitlichen Stoßbeanspruchbarkeit werden die Wandbauteile in Brandwände, Treppenraumwände und Trennwände unterteilt. Das Bewertungsschema für die Tragfähigkeit wird ohne Anpassungen übernommen.

Die Brennbarkeit der tragenden Struktur wird wie bei den raumabschließenden Bauteilen durch die Kapselung bestimmt. Daher wird zur Bewertung des Brandverhaltens ebenfalls die Tabelle des Parameters P5b eingeführt. Diese ermöglicht eine Bewertung der tragenden Struktur in Abhängigkeit der Bauweise, des Dämmmaterials und der Kapselungsdauer.

Damit ergeben sich für den Parameter P15 die folgenden Sub-Parameter mit den entsprechenden Gewichtungen:

- P15a: Tragfähigkeit (0,50),
- P15b: Stoßbeanspruchung (0,24),
- P15c: Brandverhalten (0,26).

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die MBO fordert für tragende Bauteile unter ETK-Brandbeanspruchung eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten. Hinsichtlich der Stoßbeanspruchung ist gefordert, dass das Bauteil nach Ablauf des Brandversuchs einer definierten Stoßbeanspruchung widerstehen kann. Diese zusätzliche Stoßbeanspruchung ist für Wände in der Art von Brandwänden und für Treppenraumwände gefordert. Dies ergibt für die Sub-Parameter P15a und P15b jeweils den Wert 4. Die Anforderungen des Sub-Parameters P5a sollten keinesfalls unterschritten werden, für P5b ist eine Abweichung denkbar, wenn auf eine andere Weise sichergestellt wird, dass eine Stoßbeanspruchung nicht auftreten kann. Hinsichtlich des Brandverhaltens ist seitens der MBO gefordert, dass hochfeuerhemmende Bauteile bei Verwendung brennbarer Baustoffe mit einer K₂60-Brandschutzbekleidung gekapselt sind. Dies entspricht der Bewertung 5. Die Ausführungen zur Bestimmung der Minimalanforderungen können Kapitel 5 entnommen werden. Für den Holztafelbau bedeutet dies die Anordnung einer K₂30-Bekleidung, während Massivholzelemente unbekleidet ausgeführt werden können.

Qualitative Risikoanalyse

Die Möglichkeiten zur Unterbindung der Stoßbeanspruchung sind vielfältig. Neben der konstruktiven Unterbindung des Herabfallens von Bauteilen im Bereich der Wand bietet ebenfalls eine automatische Löschanlage eine entsprechende Kompensation. Durch die frühzeitigen Löschanlagen bereits während der Brandentstehungsphase ist auf Grund der geringen thermischen Beanspruchung nicht mit dem Herabfallen von Bauteilen zu rechnen ist.

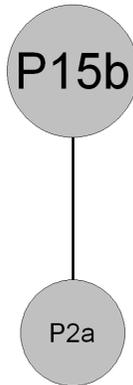


Bild 58: Kompensationsgruppe für den Sub-Parameter P15b

Die Erläuterungen zu den Kompensationsmaßnahmen des Sub-Parameters P15c (vgl. Bild 59 und Bild 60) entsprechen denen von P5b und sind ebenfalls Kapitel 5 zu entnehmen.

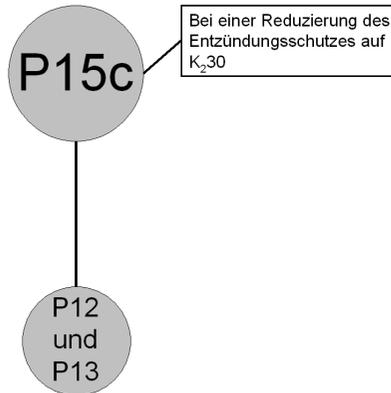


Bild 59: Kompensationsgruppe für den Sub-Parameter 15c (K_{2,30}-Bekleidung)

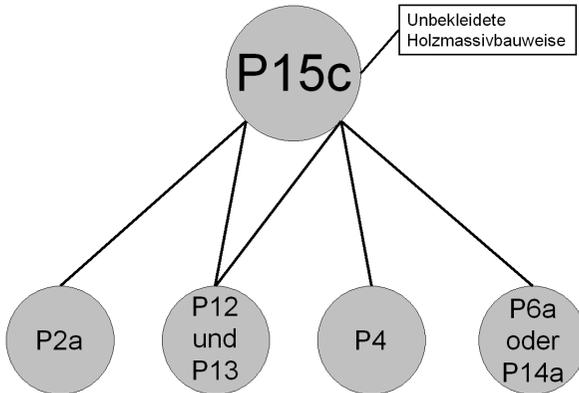


Bild 60: Kompensationsgruppe für den Sub-Parameter 15c (unbekleidet)

7.2.16 P16 = Wartung und Schulung (maintenance and information)

Die Wartung und Kontrolle der für die Brandsicherheit relevanten Einrichtungen, sowie die Schulung der Bewohner hat einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Brandrisiko eines Gebäudes. Zur Beurteilung wird der Parameter P16 dazu in folgende Sub-Parameter aufgeteilt:

- P16a: Wartung der Sicherheitssysteme,
- P16b: Überprüfung der Rettungswege,
- P16c: Schulung der Nutzer.

Der Parameter P16a gibt die Häufigkeit der Wartung von Brandmeldeanlagen, Rauch- und Wärmeabzügen wieder. Er bietet somit die Möglichkeit, die Zuverlässigkeit der Anlagentechnik durch wiederkehrende Wartung zu erhöhen und dies entsprechend zu berücksichtigen.

Der Parameter P16b gibt an, wie häufig die Ordnungsmäßigkeit der Rettungswege überprüft wird. Parameter P16c bewertet die brandschutztechnische Schulung der Bewohner. Dies beinhaltet das Informieren der Bewohner durch Aushänge bezüglich des Evakuierungsverhaltens und der Durchführung von Brandschutzübungen.

Anpassung des Bewertungsschemas

Das Bewertungsschema wird ohne Anpassungen übernommen.

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Obwohl die unter dem Parameter P16 aufgeführten Aspekte die Personensicherheit in einem Gebäude erhöhen, bestehen seitens der MBO für die Gebäudeklasse 4 hierzu keine Anforderungen.

Qualitative Risikoanalyse

Die Wartung brandschutztechnisch relevanter Einrichtungen wird in den bauaufsichtlichen Vorschriften nicht durchgängig für den anlagentechnischen Brandschutz gefordert. So wird

für den zuvor genannten Rauchwarnmeldergrundschutz keine regelmäßige Wartung vorgeschrieben. Hier ist eine regelmäßige Überprüfung der Heim-Brandmelder nicht zwingend gefordert, sondern liegt in der Entscheidungsgewalt des Nutzers. Eine wiederkehrende Kontrolle der Rettungswege, z. B. hinsichtlich der Freihaltung von Brandlasten, findet im Allgemeinen nicht statt. Um die Wirksamkeit der genannten Einrichtungen zu gewährleisten, ist die Wartung und Kontrolle allerdings ein sehr sinnvolles Mittel. Die Wartung und Kontrolle kann natürlich nicht als alleinige Maßnahme zur Verbesserung der Brandsicherheit herangezogen werden, sondern verstärkt im Zusammenwirken mit den entsprechenden Parametern deren Zuverlässigkeit.

Werden anlagentechnische Maßnahmen zur Kompensation nicht erfüllter baulicher Anforderungen eingesetzt, so müssen diese eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen. Dazu ist eine Wartung der Anlagentechnik mindestens einmal pro Jahr zwingend erforderlich.

Der Sub-Parameter P16a darf jedoch nicht als Bestandteil einer Kompensationsgruppe berücksichtigt werden, da ein Funktionieren der Anlagentechnik bei der qualitativen Risikoanalyse zwingend vorausgesetzt wird. Das Gleiche ist in Bezug auf die Rettungswegsituation für den Sub-Parameter P16b zutreffend, da bei jeder Risikoanalyse der einwandfreie Zustand der Rettungswege vorausgesetzt wird. Die beiden Sub-Parameter dürfen jedoch als zusätzlicher Sicherheitsgewinn bei der Gesamtrisikobetrachtung berücksichtigt werden.

Die Schulung der Nutzer hingegen bedeutet einen tatsächlichen Zugewinn an Sicherheit und kann im Einzelfall als sinnvolle Kompensationsmaßnahme angesetzt werden.

7.2.17 P17 = Be- und Entlüftung (ventilation system)

Der Parameter P17 berücksichtigt den Einfluss von Be- und Entlüftungssystemen auf das Brandrisiko.

Anpassung des Bewertungsschemas

Die Tabelle der FRIM-MAB 2.0 wird an die nationalen Anforderungen angepasst und bewertet. Es werden die Be- und Entlüftungssysteme nach DIN 18017 und der M-LüAR aufgenommen. (Tabelle 15)

Tabelle 15: Unterscheidungskriterien der Be- und Entlüftungssysteme

System	Art der Be- und Entlüftung	Bewertung
1	keine Vorrichtungen zur Behinderung der Rauchausbreitung im System vorhanden	0
2	zentrale Belüftung, bei der über Druckunterschiede erreicht wird, dass Rauch leichter in die Abluft gelangt als in angrenzende Nutzungseinheiten (Belüftungssysteme nach DIN 18017 T1 und T3)	2
3	Belüftungssysteme, die durch Brandschutzklappen in Trennwänden unter Brandbeanspruchung einen ausreichenden Widerstand gegen die Rauchausbreitung nachgewiesen haben (vgl. M-LüAR Bild 1.1, Bild 1.3 und Bild 1.4)	3
4	Belüftungssysteme mit einem Lüftungskanal als eigenen „Brandabschnitt“ und Brandschutzklappen in den Kanalwänden (vgl. M-LüAR Bild 1.2)	3
5	individuelle Belüftungseinrichtung je Nutzungseinheit	5

Bauaufsichtliche Anforderung/ Minimalanforderung

Die grundsätzlichen bauaufsichtlichen Anforderungen an Lüftungsanlagen werden in § 41 der MBO festgelegt. Darin heißt es, dass Lüftungsanlagen nur durch raumabschließende Bauteile führen dürfen, wenn sichergestellt ist, dass weiterhin die raumabschließende Wirkung der Wand über die geforderte Zeit erhalten bleibt. Die Lüftungsleitungen müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Sie dürfen brennbar sein, wenn eine Brandentstehung und -weiterleitung nicht zu befürchten ist. Werden Lüftungsleitungen durch Bauteile mit einer geforderten Feuerwiderstandsdauer geführt, müssen diese mit einem Brandschott in mindestens derselben Feuerwiderstandsdauer wie das Bauteil ausgeführt werden. Die Anforderungen des § 41 der MBO werden in der M-LüAR näher erläutert. Das dritte System aus Tabelle 15 gibt die Belüftungssysteme der M-LüAR nach Bild 1.1, Bild 1.3 und Bild 1.4 wieder. Das vierte System beschreibt die Lüftungsanlage der M-LüAR nach Bild 1.2. Die beiden Systeme sind als gleichwertig einzustufen und erhalten unter Berücksichtigung des ursprünglichen Bewertungsschemas die Bewertung 3. Das fünfte System beschreibt je Nutzungseinheit eigenständige Lüftungsanlagen. Das bedeutet, diese arbeiten je Nutzungseinheit sowohl baulich als auch technisch unabhängig. Hierunter fällt auch die manuelle Belüftung durch Fenster, bei der eine Lüftungsanlage im technischen Sinn nicht vorhanden ist.

Hinsichtlich der Belüftung von Bädern und Toilettenräumen sind Erleichterungen entsprechend DIN 18017 Teil 1 und Teil 3 gestattet. Die Belüftungssysteme der DIN 18017 lassen sich unter dem zweiten System nach Tabelle 15 zusammenfassen. Aufgrund der nahezu brandlastfreien Bäder und Toilettenräume sind die Systeme brandschutztechnisch nicht zu bemessen. Die Rauchausbreitung wird durch Ventilatoren über Druckunterschiede behindert. Bei dem in DIN 18017 Teil 1 beschriebenen Belüftungssystem sind Be- und Entlüftungsleitungen zwar getrennt, es liegen aber keine Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer dieser Trennungen vor. Daher wird auch dieses System brandschutztechnisch unter dem gleichen Punkt mit 2 bewertet.

Auf Grund der hohen Rauchausbreitungsgefahr müssen Be- und Entlüftungssysteme sehr kritisch betrachtet werden. Die Be- und Entlüftungssysteme nach DIN 18017 Teil 1 und Teil 3 stellen daher zugleich die Minimalanforderung dar.

Qualitative Risikoanalyse

Die Be- und Entlüftung eines Gebäudes erzeugt Schwachstellen in der Abschnittsbildung, die bei unsachgemäßer Ausführung sehr schnell zu einem großen Risiko für die Nutzer werden können. Durch die Lüftungsleitungen können vor allem Rauchgase aber auch Flammen frühzeitig in benachbarte Nutzungseinheiten gelangen. Die Risikosituation wird durch die Anordnung einer Brandmeldeanlage (P12 + P13), die die Bewohner sofort über die Gefahr informiert und zur Flucht auffordert, deutlich verbessert. Die Minimalanforderung der MBO darf allerdings keinesfalls unterschritten werden, sodass keine Kompensationsmaßnahmen aufgeführt werden.

7.3 Arbeitsanweisung zur Benutzung der FRIM-MAB-D

Die in dieser Arbeit weiterentwickelte Version der FRIM-MAB erhält die Bezeichnung FRIM-MAB-D. Sie kann zur vergleichenden Bewertung des Brandrisikos ähnlicher mehrgeschossiger Wohngebäude der Gebäudeklasse 4 eingesetzt werden. Dazu sind die Parameter P1 bis P17 vom Anwender zu bewerten. Durch anschließende Multiplikation der Bewertungen mit den Gewichtungen der Parameter erhält man eine Maßzahl für die Sicherheit des Gebäudes. Diese Maßzahl wird von der maximal möglichen Bewertung 5 subtrahiert und man erhält den Risikoindex für ein Gebäude. Je kleiner der Risikoindex ist, desto höher ist das brandschutztechnische Sicherheitsniveau.

Zur Bewertung von Kompensationsmaßnahmen sind zusätzlich zum Globalnachweis Teilnachweise für die jeweiligen Kompensationsgruppen zu bilden. Der Teilnachweis besteht aus einem Vergleich der Risikoindezes innerhalb der Kompensationsgruppen. Die festgelegten Minimalanforderungen der Parameter dürfen dabei als Anwendungsgrenze der FRIM-MAB-D nicht unterschritten werden. Als Vergleichswert ist der Index der Kompensationsgruppe bei Einhaltung aller bauaufsichtlichen Anforderungen zu berechnen.

Es ist zu beachten, dass die Durchführung der Indexmethode nicht die qualitative Risikoanalyse oder die Bemessung brandschutztechnischer Maßnahmen ersetzt, sondern ein Zusatzinstrument zur Beurteilung der Wirksamkeit der Maßnahmen darstellt.

Die qualitative Risikoanalyse ist in Kapitel 7.2 für die Parameter und deren wesentliche Kompensationsmöglichkeiten durchgeführt worden und stellt eine breite Anwendungsgrundlage dar. Für eine darüber hinausgehende Anwendung ist eine qualitative Risikoanalyse mit der Bildung zusätzlicher Kompensationsgruppen durchzuführen.

Die FRIM-MAB-D ist in Anhang D dargestellt. Zusätzlich ist sie als elektronische Version auf Basis von Microsoft Excel erstellt worden.

8 Durchführung der semi-quantitativen Risikoanalyse

Mit Hilfe der FRIM-MAB-D wird ein Risikovergleich der in Kapitel 5 entwickelten Brandschutzkonzepte durchgeführt. Ziel des Risikovergleichs ist es, die brandschutztechnische Gleichwertigkeit der Holzbauweisen mit reduzierter Kapselung in Kombination mit den entsprechenden Kompensationsmaßnahmen im Vergleich zu den Anforderungen der MBO und der Muster-Holzbaurichtlinie nachzuweisen.

Tabelle 16: Ermittlung des Vergleichsindex der MBO

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10 - 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200 - 400 m ²	6,64	1	0,0664
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 K ₂ 60; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	4,28	0,2889
P6	Türen	dichtschließende Türen zwischen NE und notw. Flur; RS-Türen zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	1,66	0,1154
P7	Qualität der Fenster	keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	in jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	keine Anforderung	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	keine Anforderung	5,06	0	0,0000
P14	Rettungswege	ein Treppenraum und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; der Treppenraum befindet sich in max. 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragfähigkeit	REI 60 K ₂ 60	6,31	4,26	0,2688
P16	Wartung und Schulung	keine Anforderung	6,01	0	0,0000
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					1,7339
Risikoindex = (5- 1,7339)					3,2661
					~ 3,27

Dazu wird zunächst als Vergleichswert das allgemein anerkannte Sicherheitsniveau der MBO anhand einer Bewertung eines mehrgeschossigen Gebäudes in REI 60 K₂60-Bauweise gemäß der Muster-Holzbaurichtlinie bestimmt. Alle Parameter entsprechen dabei den Mindestanforderungen der MBO. Die Bewertung der Parameter und die daraus resultierende Ermittlung des Risikoindexes ist in Tabelle 16 dargestellt. Die detaillierte Ermittlung der einzelnen Bewertungen der Parameter kann in Anhang E nachvollzogen werden.

Als Referenzwert erhält man für den Risikoindex einen Wert von 3,27. Dieser Wert ist ein Maß für das vorhandene Brandrisiko des Gebäudes.

Es gibt derzeit in einigen Bundesländern Bestrebungen, einen Grundschutz an Anlagentechnik zur Branderkennung und -meldung gesetzlich vorzuschreiben. So sind in den Landesbauordnungen der Länder Rheinland-Pfalz, Saarland, Schleswig-Holstein, Hessen und Hamburg batteriebetriebene Rauchwarnmelder für Neubauten bereits gesetzlich vorgeschrieben. Es ist damit zu rechnen, dass die anderen Länder diesem Beispiel folgen werden. Der Grundschutz sieht mindestens einen batteriebetriebenen Rauchwarnmelder je Wohneinheit vor. Obwohl an die Zuverlässigkeit der Rauchwarnmelder nur geringe Anforderungen gestellt werden und eine Wartung nicht vorgeschrieben ist, erhalten die Parameter P12 und P13 im Zuge eines auf der sicheren Seite liegenden Risikovergleichs die Bewertungen 2 und 3. Durch diese Anforderungen erhöht sich das brandschutztechnische Sicherheitsniveau gegenüber dem Brandschutzkonzept der MBO. Dies wurde in einer Vergleichsrechnung berücksichtigt. Der Risikoindex erhält mit einem Grundschutz an Rauchwarnmeldern den Wert 2,99 (Anhang E).

In Anhang E werden ebenfalls die Risikoindizes für die vier Brandschutzkonzepte bei einem ansonsten identischen Gebäude ermittelt. Die Gegenüberstellung der Risikoindizes ist Tabelle 17 zu entnehmen. Da es sich bei dem Risikoindex um ein Maß für das Brandrisiko eines Gebäudes handelt, bedeutet ein kleinerer Wert eine höhere Sicherheit. Bei der Angabe der Risikoindizes sollte immer beachtet werden, dass die Berechnung auf der Grundlage von Experteneinschätzungen beruht und nicht das Ergebnis einer exakten mathematischen Berechnung ist. Um nicht eine falsche Genauigkeit dieser Methode vorzutäuschen, sollten die ermittelten Risikoindizes mit maximal zwei Nachkommastellen angegeben werden.

Tabelle 17: Ergebnisse der vergleichenden Risikoanalyse

	Brandschutzkonzept					MBO mit Rauchmeld.
	1 (MBO)	2	3	4	5	
Qualität der Bauteile	REI 60 K ₂ 60	REI 60 K ₂ 30	REI 60 unbekleidet	REI 60 unbekleidet	REI 60 ^{K30} / _{K0}	REI 60 K ₂ 60
Max. Größe der NE	< 400 m ²	< 400 m ²	< 400 m ²	< 100 m ²	< 200 m ²	< 400 m ²
Brandmeldeanlagen	-/-	Ja	-/-	Ja	Ja	Rauchmeld.
Klassifizierte Türen	-/-	-/-	-/-	Ja	Ja	-/-
Autom. Löschanlagen	-/-	-/-	Ja	-/-	-/-	-/-
Risikoindex	3,27	2,70	2,85	2,83	2,72	2,99

Die Werte der Brandschutzkonzepte 2 bis 5 liegen alle unterhalb des zuvor ermittelten Referenzwertes der Musterbauordnung (Brandschutzkonzept 1) von 3,27. Es ist somit der Nachweis erbracht, dass das brandschutztechnisch akzeptierte Sicherheitsniveau bei Umsetzung der Vorgaben der vier Brandschutzkonzepte eingehalten wird. Auch im Vergleich zu einem

geforderten Rauchwarnmeldergrundschutz erreichen die Brandschutzkonzepte mindestens das gleiche Sicherheitsniveau, wie der Vergleich in Tabelle 17 zeigt.

Alternativ zur Verbesserung der Wohnungseingangstüren kann die Rettungswegsituation bei den Varianten 4 und 5 durch Anordnung eines 2. unabhängigen baulichen Rettungsweges verbessert werden. Diese Varianten wurden ebenfalls in Anhang E bewertet, die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Auch bei diesen alternativen Varianten ist das Brandschutzniveau als mindestens ebenbürtig zu dem der MBO anzusehen. Die Risikoinizes der Brandschutzkonzepte 4 und 5 liegen unterhalb des Vergleichswertes der MBO, sowohl mit als auch ohne den in einigen Ländern bereits geforderten Rauchwarnmeldergrundschutz.

Tabelle 18: Ergebnisse der vergleichenden Risikoanalyse

	Brandschutzkonzept	
	4	5
Qualität der Bauteile	REI 60 K0	REI 60 ^{K30} / _{K0}
Max. Größe der NE	< 100 m ²	< 200 m ²
Brandmeldeanlagen	Ja	Ja
Rettungswegsituation	Ja	Ja
Autom. Löschanlagen	-/-	-/-
Risikoindex	2,84	2,73

Der zusätzlich für Kompensationsmaßnahmen geforderte Teilnachweis innerhalb einer Kompensationsgruppe unterscheidet sich bei den vorliegenden Brandschutzkonzepten vom Globalnachweis im Wesentlichen dadurch, dass der Sub-Parameter P16a (Wartung der anlagentechnischen Maßnahmen) nicht zu berücksichtigen ist. Da durch die Bauweise direkt drei Parameter beeinflusst werden, sind die Kompensationsgruppen des Parameters P1 und der Sub-Parameter P5b und P15c gemeinsam zu bewerten. Für das Brandschutzkonzept 2 mit K₂30-gekapselten Bauteilen und einer automatischen Brandmeldung als Kompensationsmaßnahme wird dies in Tabelle 19 bis Tabelle 21 exemplarisch gezeigt. In Tabelle 19 und

Tabelle 20 werden zunächst die Vergleichswerte der MBO-Anforderungen ohne und mit dem Rauchwarnmeldergrundschutz berechnet. Bei der Berechnung der resultierenden Gewichtung eines Sub-Parameter ist zu beachten, dass die Gewichtung des Parameters mit der des Sub-Parameters multipliziert wird.

Es ergibt sich für die Anforderungen der MBO ohne Rauchwarnmeldergrundschutz ein Risikoindex für die Kompensationsgruppe von 0,57. Der Risikoindex für die Kompensationsgruppe mit Rauchwarnmeldern beträgt 0,29.

Tabelle 19: Ermittlung des Risikoindex der Kompensationsgruppe gemäß MBO

zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
			Summe:	21,52	0,5079
Kompensationsindex = ((0,2152 x 5) - 0,5079)					0,5681
					~ 0,57

Tabelle 20: Ermittlung des Risikoindex der Kompensationsgruppe gemäß MBO mit Rauchwarnmeldergrundschutz

zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
			Summe:	21,52	0,7857
Kompensationsindex = ((0,2152 x 5) - 0,7857)					0,2903
					~ 0,29

Der Kompensationsindex des Brandschutzkonzeptes muss nun unterhalb der Vergleichswerte der MBO liegen, um die Gleichwertigkeit der Maßnahmen nachzuweisen. Dies ist mit einem Index von 0,09 der Fall, wie Tabelle 21 zeigt.

Tabelle 21: Ermittlung des Risikoindexes der Kompensationsgruppe gemäß Konzept 2

zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI60 K ₂ 30	0,41 x 6,75	4	0,1107
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI60 K ₂ 30	0,26 x 6,31	4	0,0656
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
			Summe:	21,52	0,9812
			Kompensationsindex = ((0,2152 x 5) - 0,9812)		0,0948
					~ 0,09

Für die anderen Brandschutzkonzepte ist der Teilnachweis in Anhang F durchgeführt worden. Die Gegenüberstellung der Kompensationsindizes für alle Brandschutzkonzepte ist in Tabelle 22 enthalten. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass bei allen Brandschutzkonzepten auch der Teilnachweis innerhalb der Kompensationsgruppen erfolgreich ist.

Tabelle 22: Teilnachweise für die Kompensationsgruppen

Brandschutzkonzept	Kompensationsindex	Vergleichswert MBO (ohne Rauchwarnmelder)	Vergleichswert MBO (mit Rauchwarnmeldern)
2	0,09	0,57	0,29
3	0,59	0,91	0,63
4	0,68	1,02	0,74
5	0,57	1,02	0,74
Alternative Konzept 4	0,61	0,94	0,66
Alternative Konzept 5	0,50	0,94	0,66

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Das Bauen mit Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen erlebt derzeit einen erfreulichen Aufschwung. Vor dem Hintergrund des kaum gezügelten Ressourcenverbrauchs und der Klimadiskussion gewinnen die positiven Eigenschaften dieser Baustoffe immer mehr an Bedeutung. Die Gründe dafür liegen auf der Hand: Es gilt als erwiesen, dass die vermehrte Verwendung von Holz im Bauwesen eine nachhaltige Aufforstung der heimischen Wälder bewirkt. Jedes verbaute Brett trägt dabei indirekt zur Senkung des CO₂-Gehaltes der Luft bei und wirkt damit dem Treibhauseffekt entgegen. Außerdem wird bei der Gewinnung, Bearbeitung und dem Einbau von Holz weniger Energie benötigt als bei anderen Baustoffen wie Zement, Stahl, Kunststoff oder Aluminium. Nicht zuletzt auch wegen des vom Nutzer als gesünder empfundenen Raumklimas wird der Holzbauweise in letzter Zeit immer öfter der Vorzug gegeben. Dem vermehrten Einsatz dieses Baustoffs im verdichteten innerstädtischen Bereich stehen aber zum Teil bauaufsichtliche Anforderungen entgegen.

Mit Einführung der Musterbauordnung von 2002 und der Muster-Holzbaurichtlinie von 2004 wurde zwar die Möglichkeit geschaffen, Holz als tragendes Element bis zu einer Gebäudehöhe von 13 Meter einzusetzen, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die hölzernen Tragglieder durch eine nichtbrennbare Bekleidung im Brandfall mindestens 60 Minuten vor einer Entzündung geschützt werden (Klassifikation K₂60). Zudem ist der Einsatz auf die Holztafelbauweise mit nichtbrennbarer Wärmedämmung beschränkt.

Diese Arbeit soll dazu beitragen, die Holzbauweisen auch für mehrgeschossige Gebäude in ihrer ganzen Vielfalt nutzen zu können. Die erforderlichen mechanischen und physikalischen Grundlagen wurden durch eigene Brandversuche und theoretische Untersuchungen geschaffen. Damit konnte der Nachweis erbracht werden, dass unter Einhaltung definierter konstruktiver Randbedingungen sowohl brennbare Wärmedämmungen in Holztafelelementen als auch flächige Massivholzelemente verbaut werden können, ohne das brandschutztechnische Sicherheitsniveau zu reduzieren. Eine wesentliche bauliche Voraussetzung bleibt jedoch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung mit dem Leistungskriterium K₂60.

Für die Ermittlung der Brandschutzzeigenschaften der unterschiedlichen Holzbauweisen im mehrgeschossigen Holzbau wurden neue bzw. weiterentwickelte Prüfmethode und Auswertungsverfahren genutzt. So wurden mit dem Cone-Kalorimeter-Verfahren nach ISO 5660 Grenztemperaturen der thermischen Zersetzung von brennbaren Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bestimmt, bei deren Einhaltung im Brandfall weder eine Entzündung noch die Entstehung von entzündlichen oder toxischen Gasen zu befürchten ist. Gestützt auf Brandversuche im kleinen und mittleren Maßstab und theoretische Überlegungen, wurden Mindestanforderungen für die Konstruktionen definiert, bei deren Einhaltung die Brandschutzbekleidung verringert werden oder entfallen kann.

Anhand von vergleichenden Risikoanalysen wurde anschließend aufgezeigt, wie das durch eine Reduktion der Brandschutzbekleidung erhöhte Brandrisiko im Rahmen ganzheitlicher, schutzzielorientierter Brandschutzkonzepte kompensiert werden kann. Solche Brandschutzkonzepte wurden für alle Holzbauweisen mit einer K₂30-Bekleidung sowie ohne Bekleidung für die Holzmassivbauweise erarbeitet. Zur risikogerechten Bewertung der Brandschutzkonzepte wurde eine semi-quantitative Risikoindekmethode, die ursprünglich in Skandi-

navian zur Ermittlung des Brandrisikos in mehrgeschossigen Wohngebäuden entwickelt worden war, an das deutsche Baurecht angepasst. Dazu wurden die für das Risiko maßgebenden Parameter auf Grundlage einer Delphi-Umfrage unter Brandschutzexperten neu gewichtet. Außerdem wurden die das Tragwerk betreffenden Parameter zur Berücksichtigung der Kapselbauweise überarbeitet und die Baustoffqualität der Oberflächen wurde als zusätzliche Bauteileigenschaft definiert. Um die Effizienz unterschiedlicher Kompensationsmaßnahmen direkt vergleichen zu können, wurden sog. Kompensationsgruppen eingeführt und Minimalanforderungen für einzelne wichtige Parameter festgelegt.

Die so erweiterte Indexmethode stellt ein praxishohes und effektives Hilfsmittel zur Beurteilung brandschutztechnischer Maßnahmen dar und ermöglicht es, verschiedene Konstruktionsvarianten untereinander zu vergleichen und ggf. gezielt zu optimieren. Auf diese Weise wurden die erarbeiteten Brandschutzkonzepte mit reduzierter Kapselungsdauer im Vergleich zu den Anforderungen nach MBO und Muster-Holzbaurichtlinie bewertet. Selbst wenn künftig, wie schon jetzt in einzelnen Landesbauordnungen, Rauchwarnmelder in Wohngebäuden verlangt werden, ist das Sicherheitsniveau von Standardgebäuden nach Bauordnung nicht höher als das der hier vorgeschlagenen alternativen Holzbauweisen.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Indexmethode nicht zur Dimensionierung von Brandschutzmaßnahmen und auch nicht als Ersatz für eine qualitative Risikoanalyse im Rahmen von Brandschutzkonzepten geeignet ist. Sie bietet aber erstmals die Möglichkeit, die Wirksamkeit von Brandschutzkonzepten im mehrgeschossigen Wohnungsbau mit angemessenem Kosten- und Zeitaufwand zahlenmäßig zu belegen, wobei die Anwendung keineswegs auf die in dieser Arbeit behandelten Bauweisen beschränkt ist.

9.2 Ausblick

Es ist beabsichtigt, die Ergebnisse dieser Arbeit in die fällige Überarbeitung der Muster-Holzbaurichtlinie einzubringen. Vorschläge für die Ergänzungen der Muster-Holzbaurichtlinie sind in Anhang G enthalten. Bei deren Umsetzung wären schutzzielorientierte Sicherheitskonzepte neben dem Standardkonzept der Bauordnung mit materiellen Brandschutzanforderungen für Gebäude normaler Art und Nutzung als sicherheitstechnisch gleichwertige Alternative verankert.

Zukünftige Forschungsarbeiten zum Thema mehrgeschossiger Holzbau könnten sich auf eine weitere Optimierung der Brandschutzbekleidung konzentrieren. Die Brandschutzbekleidung wird in der Regel mit metallischen Verbindungsmitteln wie Klammern oder Schrauben an der Holzkonstruktion befestigt. Auf Grund der sehr guten Wärmeleitfähigkeit von Metall wird im Brandfall die Hitze über die Verbindungsmittel in die Holzkonstruktion geleitet und bewirkt so eine deutlich schnellere Verkohlung. Dies führt zu einer Überdimensionierung der nichtbrennbaren Brandschutzbekleidung. Andere Verbindungstechniken wie Klebungen wären hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit deutlich besser geeignet. Im Zuge dieser Untersuchungen könnte wiederum durch eine brandschutztechnische Risikoanalyse geklärt werden, ob punktuelle Verkohlungen im Schraubenbereich unter Beachtung der Schutzziele der Muster-Holzbaurichtlinie tolerierbar sind, und es könnten entsprechende Grenzwerte für eine zulässige Verkohlung ermittelt werden.

Durch die aktuelle Entwicklung einer Hochleistungsbrandschutzbeschichtung wird langfristig angestrebt, dass neben nichtbrennbaren Bekleidungen auch Beschichtungssysteme für die Einkapselung der Holzkonstruktion verwendet werden dürfen. Damit wären künftig sichtbare

Holzelemente mit integriertem Entzündungsschutz im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 möglich [34].

Die Indexmethode FRIM-MAB-D ist zur Bewertung des Brandrisikos mehrgeschossiger Wohngebäude der Gebäudeklasse 4 entwickelt worden. Die Struktur ist aber grundsätzlich auch geeignet, das Brandrisiko von Sonderbauten wie Pflegeheimen, Schulen oder Hotels in der Gebäudeklasse 4 zu bewerten. Da bei Sonderbauten jedoch im Vergleich zu Gebäuden normaler Art und Nutzung eine abweichende Risikosituation vorliegt, müssen die das Risiko beeinflussenden Parameter neu gewichtet werden.

In Hinblick auf eine Erweiterung des Anwendungsbereichs der Indexmethode auf Brandschutzkonzepte von Sonderbauten erscheint eine Kopplung mit Ingenieurmethoden des Brandschutzes oder mit quantitativen Risikoanalysen sinnvoll. Die durch eine Delphi-Befragung ermittelten Gewichtungen der Parameter könnten zum Beispiel in Teilbereichen durch eine Ereignisbaumanalyse überprüft werden. In gleicher Weise ist denkbar, dass einzelne Parameter direkt mit Ingenieurmethoden ermittelt werden. Als Beispiel ist die Bewertung der Rettungswegsituation mit Entfluchtungsmodellen zu nennen.

Literatur

- [1] Hosser, D.; Dehne, M.; Kampmeier, B.: Brandschutzforschung für den mehrgeschossigen Holzbau zur Förderung des Einsatzes von Holz im Bauwesen; Wilhelm-Klauditz-Preis für Holzforschung und Umweltschutz 2006
- [2] Hosser, D; Wesche, J; Dehne, M.; Becker, J; Tichelmann, K: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise; Forschungsauftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; Abschlussbericht März 2001
- [3] Hosser, D.; Kampmeier, B.; Mühlhäusler, A.; Schnetgöke, R.; u. a.: Fertighauscity 5+. Typologische und technische Untersuchung zu mehrgeschossigen Holzbauweisen; Forschungsprojekt des Bundesamtes für Bauordnung und Raumwesen; Technische Universität Braunschweig 2007
- [4] Becker, J; Tichelmann, K; Hosser, D; Wesche, J: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise; Forschungsauftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; Untersuchungsbericht Teil 1 Juli 1997
- [5] Hosser, D; Dehne, M.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise; Forschungsauftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; Zwischenbericht Mai 1999
- [6] Hosser, D; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise; Forschungsauftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; 2. Zwischenbericht September 1999
- [7] Hosser, D; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise; Forschungsauftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; 3. Zwischenbericht Februar 2000
- [8] Hosser, D; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise; Forschungsauftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; Abschlussbericht zur Stufe 2 Mai 2000
- [9] Wenig, B.: Infobrief Mai 2007; Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR); Gülzow 2007
- [10] Hosser, D.; Kampmeier, B.: Untersuchungen zur Optimierung und Standardisierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen; Teilprojekt 3b: Brandtechnische Untersuchungen zur Optimierung der Flammenschutzmittelzusammensetzung und des Brandverhaltens auf Bauteilebene; Schlussbericht eines vom BMELV geförderten und der FNR betreuten Forschungsvorhaben; FKZ:22008905; 2007
- [11] Kampmeier, B.: Verwendbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Holztafelbau; Braunschweiger Brandschutz-Tage `07; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz; Schriftenreihe des iBMB Heft 199; Braunschweig 2007

- [12] Hosser, D.; Kampmeier, B.: Bewertung des Brandverhaltens unbekleideter flächiger massiver Holzbauteile im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau unter Berücksichtigung des geltenden nationalen Sicherheitsniveaus sowie der DIN EN 1995-1-2; Forschungsauftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; Abschlussbericht Juli 2008
- [13] Schober, K. P.; u. a.: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich. Holzskelett- und Holzmassivbauweise; proHolz Austria; Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft; Wien 2002
- [14] Richardson, L. R.; Batista, M.: Fire resistance of timber decking for heavy timber construction; In: Fire and materials 25; Wiley InterScience 2001
- [15] Riese, O.: Ein Brandausbreitungsmodell für Kabel; Dissertation an der TU Braunschweig; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz; Schriftenreihe des iBMB Heft 201; Braunschweig 2007
- [16] Dehne, M.; Kruse, D.; Kampmeier, B.: Wirtschaftlicher Brandschutz für Holzbauten; Bauen mit Holz; Bruderverlag 8/2005
- [17] Hosser, D.: Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes; Technischer Bericht der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V.; 1. Auflage; Altenberge, Braunschweig 2006
- [18] Vandeveldel, P.; Streuve, E.; u. a.: Fire risk evaluation to european cultural heritage; fire-tech decision supporting procedure; users guide; Gent: Laboratorium voor Aanwending der Brandstoffen en Warmteoverdracht / Department of Flow, Heat and Combustion Mechanics, 2005
- [19] Schneider, J.: Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen, Grundwissen für Ingenieure; 2. überarbeitete Auflage; Hochschulverlag AG an der ETH Zürich / B. G. Teubner Stuttgart 1996
- [20] Klingmüller, O.; Bourgund, U.: Sicherheit und Risiko im konstruktiven Ingenieurbau; Vieweg Verlag; Wiesbaden 1992
- [21] Karlsson, B.: Fire Risk Index Method – Multi-storey Apartment Buildings; Version 2.0; Trätek, Rapport P 0212053; Stockholm 2002
- [22] Östmann, B.; u. a.: Brandsäkra trähus – Nordisk kunskapsöversikt och vägledning; Version2; Tryckning AB Stjärntryck; 2002
- [23] Karlsson, B.; Larsson, D.: Using a Delphi Panel für developing a fire risk index method for multi-storey apartment buildings; Report 3114; Lund University, Department of Fire Safety Engineering; 2000
- [24] Larsson, D.: Developing the Structure of a Fire Risk Index Method for Timber-frame Multi-storey Apartment Buildings; Report 5062; Lund University, Department of Fire Safety Engineering; 2000
- [25] Hultquist, H.; Karlsson, B.: Evaluation of a Fire Risk Index Method for Multi-storey Apartment Buildings; Report 3088; Lund University, Department of Fire Safety Engineering; 2000

- [26] Christensson, A.; Karlsson, B.: Repeatability of FRIM-MAB Fire Risk Index Method for Multi-storey Apartment Buildings; Trätek, Rapport P 0212052; Stockholm 2002
- [27] Magnusson, S. E.; Rantatalo, T.: Risk Assessment of Timberframe Multi-storey Apartment Buildings. Proposal for a Comprehensive Fire Safety Evaluation Procedure; Internal Report 7004; Lund University, Department of Fire Safety Engineering; 1998
- [28] Häder, M.: Delphi-Befragungen; 1. Auflage; Westdeutscher Verlag GmbH; Wiesbaden 2002
- [29] Häder, M.; Häder, S.: Die Delphi-Technik in den Sozialwissenschaften; Westdeutscher Verlag GmbH; Wiesbaden 2002
- [30] Minimax: Feinsprüh-Sprinkleranlagen Minifog EconAqua; Informationsbroschüre der Firma Minimax GmbH & Co. KG; Stand 2008
- [31] Gressmann, H.-J.: Abwehrender und Anlagentechnischer Brandschutz; Expert Verlag; Renningen 2005
- [32] Eibelshäuser, M.: Zwölfter zusammenfassender Bericht des Hessischen Rechnungshofs; Betz-Druck; Darmstadt 2002
- [33] Berger, J.; u. a.: Hinweise zur Leistungsfähigkeit der Feuerwehr des Landesfeuerwehrverbandes und des Innenministeriums mitgetragen von Städtetag Gemeindetag Landkreistag; Baden-Württemberg 2008
- [34] Kampmeier, B.; Kruse, D.: Sichere Holzkonstruktionen durch Hochleistungsbrandschutzbeschichtung; Braunschweiger Brandschutz-Tage `05; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz; Schriftenreihe des iBMB Heft 185; Braunschweig 2005

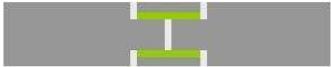
Normen und Richtlinien

- [35] Musterbauordnung (MBO); Fassung November 2002
- [36] Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie – M-HFH HolzR); Fassung Juli 2004
- [37] DIN EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Ausgabe Januar 2008
- [38] DIN EN 14135: Brandschutzbekleidungen – Bestimmung der Brandschutzwirkung; Ausgabe November 2004
- [39] DIN EN 1363-1: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1363-1; Ausgabe Oktober 1999
- [40] ISO 5660-1 Prüfungen zum Brandverhalten von Baustoffen- Wärmefreisetzung, Rauchentwicklung und Masseverlustrate – Teil 1: Wärmefreisetzungsrate (Cone-Kalorimeter-Verfahren); Ausgabe Dezember 2002
- [41] DIN 18180: Gipsplatten – Arten und Anforderungen; Ausgabe Januar 2007
- [42] DIN 4102-1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1; Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe Mai 1998
- [43] DIN 4102-2: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe September 1977
- [44] DIN 4102-8: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 8: Kleinprüfstand; Ausgabe Oktober 2003
- [45] Bauregelliste A, Bauregelliste B, Liste C; Ausgabe 2007/1

Anhang

- Anhang A: Übersicht der durchgeführten Brandversuche im Brandofen nach DIN 4102-8
- Anhang B: Delphi-Umfrage zur Gewichtung einer Index-Methode
- Anhang C: Ergebnis der Delphi-Befragung
- Anhang D: FRIM-MAB-D
- Anhang E: Durchführung der Globalnachweise
- Anhang F: Durchführung der Teilnachweise
- Anhang G: Vorschlag zur Erweiterung des Anwendungsbereichs der Muster-Holzbaurichtlinie

Übersicht der durchgeführten Brandversuche im Brandofen nach DIN 4102-8

Versuchsnr.	Probekörper A	Probekörper B
1	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm; Löschen durch Nebel	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm
2	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm; Löschen durch Nebel + Strahl	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm
3	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm; Löschen durch Strahl	Brettsperrholzelement; unbekleidet; d= 15,5 cm
4	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm; Löschen durch Nebel + Strahl (light water)	Brettsperrholzelement; unbekleidet; d= 10 cm
5	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm; ohne Löschen	Brettschichtholzelement; unbekleidet; d= 10 cm
6	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm; Löschen durch Nebel + Strahl als Deckenelement	Dübelelement; unbekleidet; d= 10 cm
7	genageltes Brettstapelelement; unbekleidet; d= 12 cm; Löschen durch Nebel + Strahl als Deckenelement	Dübelelement; bekleidet mit 2* 12,5 mm GKF (E130)
8	genageltes Brettstapelelement; bekleidet mit 12,5 mm GKF; d= 12 cm; Löschen durch Nebel + Strahl	 Fugentyp A; BSH-Element; 16 cm
9	Brettsperrholzelement; unbekleidet; d= 14,5 cm; Löschen durch Nebel + Strahl	 Fugentyp B; BSH-Element; 16 cm
10	Magnum board; unbekleidet; d= 12,5 cm; Löschen durch Nebel + Strahl	 Fugentyp C; BSH-Element; 16 cm

Delphi-Umfrage zur Gewichtung einer Index-Methode

Eine sehr praxisnahe und rationale Methode um das Gesamt-Brandrisiko von Gebäuden bewerten und vergleichen zu können stellen semi-quantitative Index-Methoden dar. Eine speziell zur Beurteilung des Brandrisikos mehrgeschossiger Wohngebäude entwickelte Methode (**Fire Risk Index Method for Multi-storey Apartment Buildings**; kurz: FRIM-MAB) soll innerhalb eines Forschungsvorhabens des iBMB weiterentwickelt werden. Dazu ist es unter anderem erforderlich, dass die Bedeutung der das Brandrisiko beeinflussenden Parameter neu bewertet und angepasst wird. Dies soll mit Hilfe einer Delphi-Umfrage geschehen. Je 5 Experten aus den Bereichen Forschung, Bauaufsicht, Materialprüfung, Feuerwehr, Versicherung und Ingenieurbüros werden gebeten, die Bewertung der Parameter in der Index-Methode hinsichtlich einer Anwendung in Deutschland auf mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise nach eigenen Erkenntnissen und Erfahrungen vorzunehmen.

Die FRIM-MAB hat einen hierarchischen Aufbau (Bild 1). Die oberste Ebene in der Hierarchie ist die „Policy“. Sie gibt die übergeordnete Zielsetzung für das Brandschutzkonzept wieder. Die „Policy“ wird in der darunter liegenden Ebene der „Objectives“ in verschiedene Schutzziele untergliedert. Die dritte Ebene der „Strategies“ enthält verschiedene Strategien, mit denen die Schutzziele erreicht werden sollen. Die unterste Ebene der „Parameters“ umfasst eine Vielzahl von (Brandschutz-)Maßnahmen, die zur Umsetzung der Strategien beitragen.

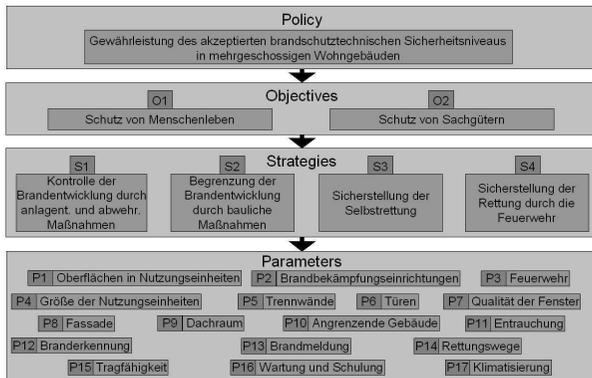


Bild 1: Struktur der FRIM-MAB

Die FRIM-MAB Methode in der vorliegenden Form wurde anhand einer Delphibefragung, die in Skandinavien durchgeführt wurde, erstellt. Auf Grund landesspezifischer Besonderheiten kann es durchaus sein, dass eine Delphi-Umfrage in anderen Ländern zu abweichenden Ergebnissen in der Gewichtung der Parameter führen kann. Daher muss für eine Anwendung in Deutschland die Gewichtung anhand einer Delphi-Umfrage erneut überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Auf dem folgenden Bewertungsbogen sind die ersten beiden Ebenen der FRIM-MAB zu bewerten.

- Welchen Einfluss haben die Objectives auf die Policy? (2 Bewertungen erforderlich)
- Welchen Einfluss haben die Strategies auf die Objectives? (8 Bewertungen erforderlich)

Auf eine Überprüfung der dritten Ebene wird verzichtet, da es sich hierbei bereits um konkrete Maßnahmen handelt. Unterschiede in der Bewertung auf Grund landesspezifischer Besonderheiten sind daher nicht zu erwarten.

Die Bewertung erfolgt – wie oben erläutert – durch Punkte von 0 bis 5 (Bild 3). Die Skala kann wie folgt gedeutet werden:

- 0 = kein Einfluss
- 1 = nur sehr geringer Einfluss
- 2 = nicht so wichtig
- 3 = wichtig
- 4 = sehr wichtig
- 5 = extrem wichtig

Anmerkung: Die Gesamtsumme der Gewichtungen ist nicht von Bedeutung !

Bewertungsbogen**Gesamtzielsetzung (Policy):**

Das allgemein akzeptierte brandschutztechnische Sicherheitsniveau in mehrgeschossigen Wohngebäuden muss erhalten bleiben

Schutzziele (Objectives):

Nr.	Bedeutung der Schutzziele:	Gewicht (0 – 5 Punkte)
O ₁	Welche Bedeutung hat der <u>Schutz von Menschenleben</u> für das allgemein akzeptierte brandschutztechnische Sicherheitsniveau in mehrgeschossigen Wohngebäuden?	
O ₂	Welche Bedeutung hat der <u>Schutz von Sachgütern</u> für das allgemein akzeptierte brandschutztechnische Sicherheitsniveau in mehrgeschossigen Wohngebäuden?	

Strategien (Strategies):**Für O1: Schutz von Menschenleben**

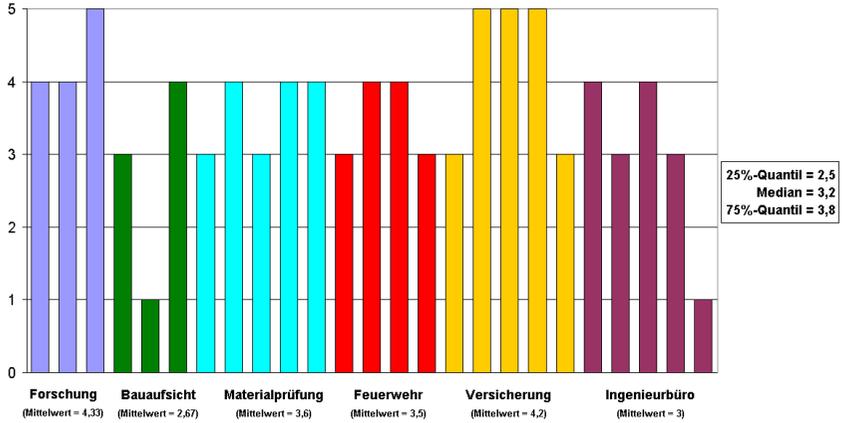
Nr.	Bedeutung der Strategien:	Gewicht (0 – 5 Punkte)
S ₁	Welche Bedeutung hat die <u>Kontrolle der Brandentwicklung durch abwehrende und anlagentechnische Maßnahmen</u> für den Schutz von Menschenleben?	
S ₂	Welche Bedeutung hat die <u>Kontrolle der Brandentwicklung durch bauliche Maßnahmen</u> für den Schutz von Menschenleben?	
S ₃	Welche Bedeutung hat die <u>Sicherstellung der Selbstrettung</u> für den Schutz von Menschenleben?	
S ₄	Welche Bedeutung hat die <u>Sicherstellung der Rettung durch die Feuerwehr</u> für den Schutz von Menschenleben?	

Für O2: Schutz von Sachgütern

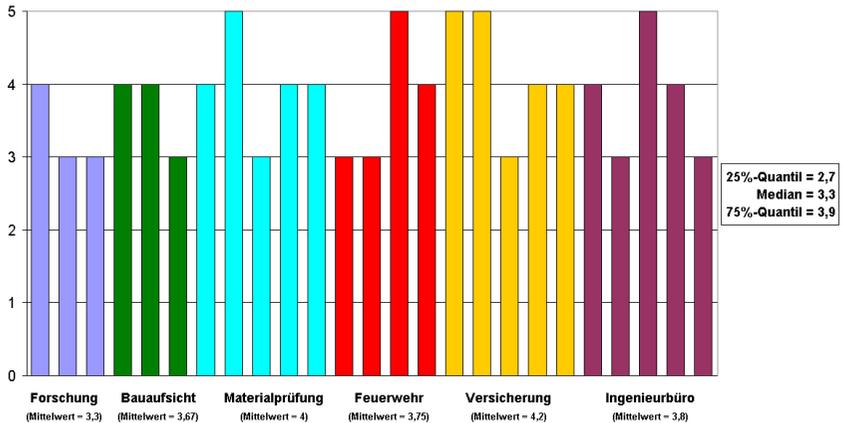
Nr.	Bedeutung der Strategien:	Gewicht (0 – 5 Punkte)
S ₁	Welche Bedeutung hat die <u>Kontrolle der Brandentwicklung durch abwehrende und anlagentechnische Maßnahmen</u> für den Schutz von Sachgütern?	
S ₂	Welche Bedeutung hat die <u>Kontrolle der Brandentwicklung durch bauliche Maßnahmen</u> für den Schutz von Sachgütern?	
S ₃	Welche Bedeutung hat die <u>Sicherstellung der Selbstrettung</u> für den Schutz von Sachgütern?	
S ₄	Welchen Einfluss hat die <u>Sicherstellung der Rettung durch die Feuerwehr</u> für den Schutz von Sachgütern?	

Ergebnis der Delphi-Befragung

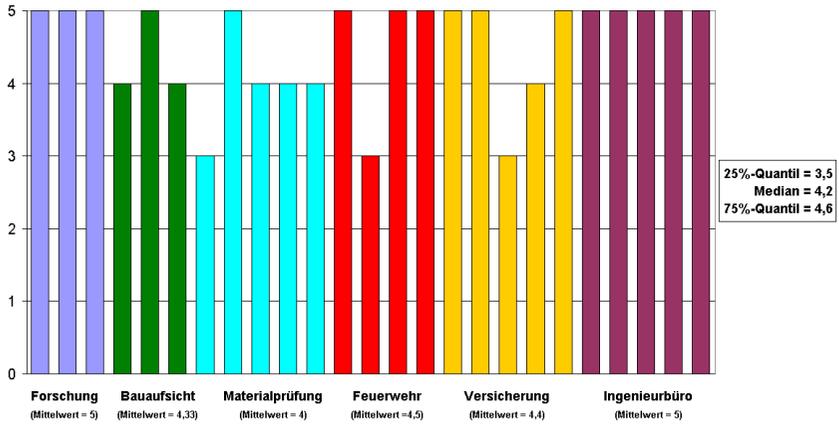
Einfluss von Strategy S1 auf Objective O1
(Mittelwert = 3,55)



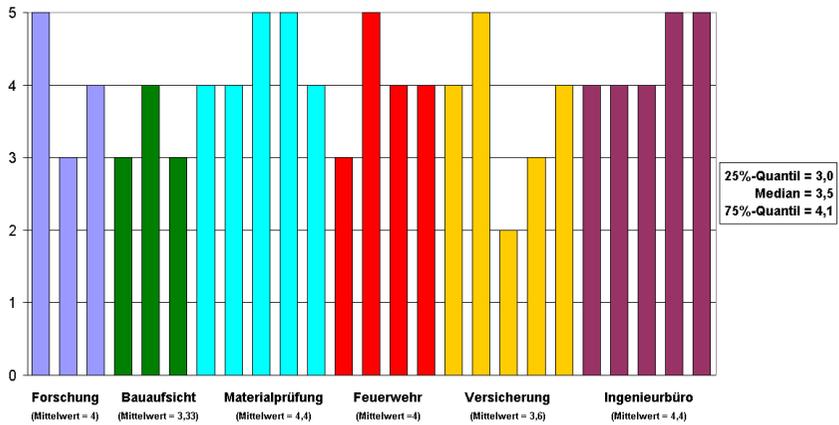
Einfluss von Strategy S2 auf Objective O1
(Mittelwert = 3,79)



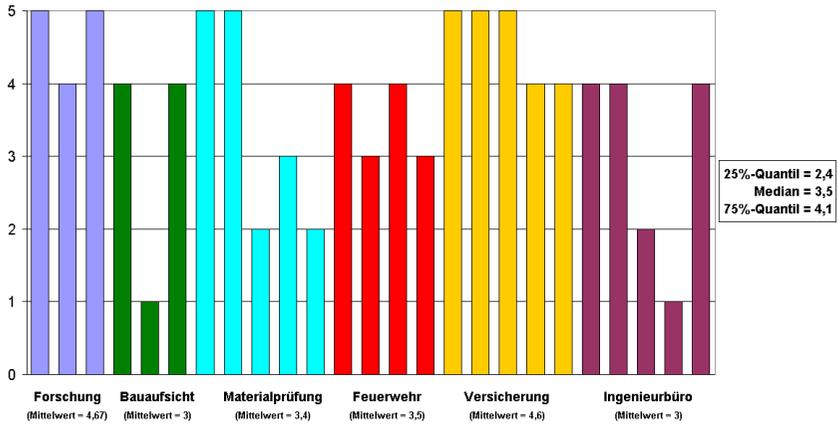
Einfluss von Strategy S3 auf Objective O1
(Mittelwert = 4,54)



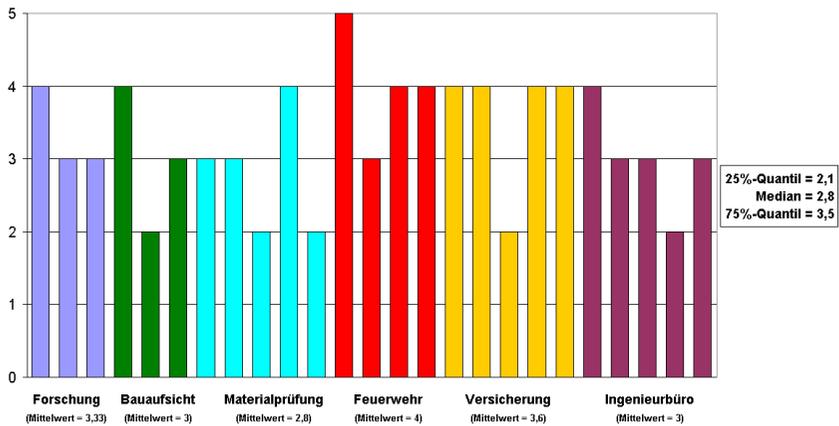
Einfluss von Strategy S4 auf Objective O1
(Mittelwert = 3,96)



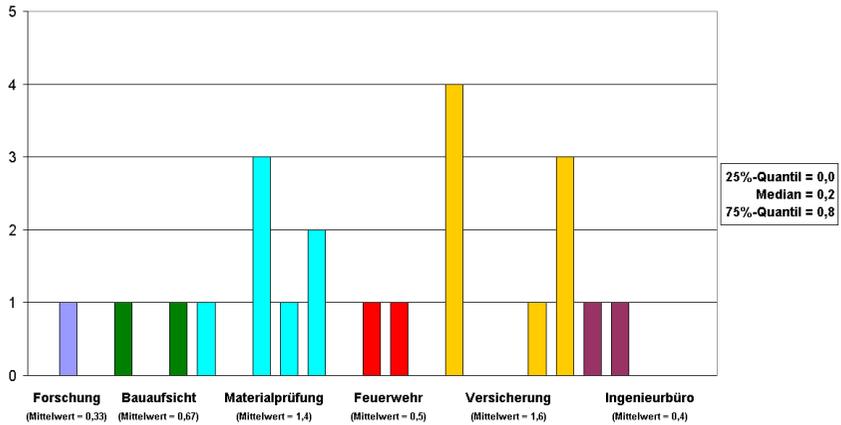
Einfluss von Strategy S1 auf Objective O2
(Mittelwert = 3,7)



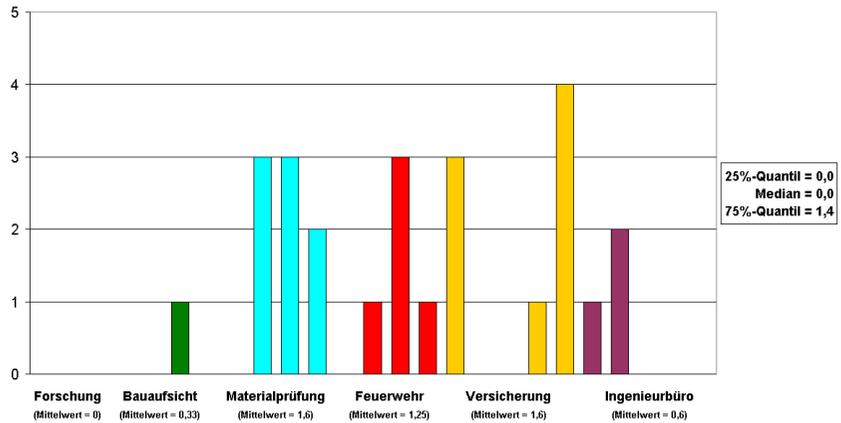
Einfluss von Strategy S2 auf Objective O2
(Mittelwert = 3,29)



Einfluss von Strategy S3 auf Objective O2
(Mittelwert = 0,82)



Einfluss von Strategy S4 auf Objective O2
(Mittelwert = 0,9)



FRIM-MAB-D**P₁ Oberflächen in Nutzungseinheiten (außer Bodenbelägen)****DEFINITION:**

Möglichkeit durch die Baustoffqualität der Oberflächen in Nutzungseinheiten die Entzündung zu verzögern und die Brandausbreitungsgeschwindigkeit zu reduzieren.

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₁:

Es werden die Baustoffklassen der Wand- und Deckenoberflächen bewertet, die in einer Nutzungseinheit vorzufinden sind. Liegen unterschiedliche Baustoffklassen vor, kann dies anteilig über den Umsetzungsgrad berücksichtigt werden. Von der Bewertung ausgenommen sind kleine Teilbereiche, die von der Bauordnung zugelassen sind.

BAUSTOFFKLASSE DER OBERFLÄCHEN					
Typische Produkte	Euro- klasse*	Baustoff- klasse	BEWER- TUNG	Umsetzungs- grad	GESAMT- BEWERTUNG P ₁
Stein, Beton	A 1	A 1	5		
Gipskartonplatten	A 2	A 2	5		
Imprägniertes Holz	B	B 1	3		
Tapete auf Gipskartonplatten	C				
Holz, d > 4 mm	D	B 2	1		
Holzfasernplatten mit niedriger Dichte	E				
verschiedene Kunststoffe	F	B 3	0		

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

* es sind nur die Hauptklassen angegeben

resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Die Bewohner können die Oberflächen verändern und unterschiedliche Oberflächenqualitäten können in verschiedenen Teilen eines Gebäudes zur Anwendung kommen. Der Anwender muss daher eine ingenieurgemäße Einschätzung der angemessenen Baustoffklasse geben, um dies zu berücksichtigen.

P₂ Brandbekämpfungseinrichtungen

DEFINITION:

Systeme und Ausrüstungen zur Brandbekämpfung

SUB-PARAMETER:

P_{2a} automatische Löschanlage

Art der Löschanlage (N = keine Löschanlage, R = „residential sprinkler“, O = „ordinary sprinkler“)

Einbauort der Löschanlage (W = in den Nutzungseinheiten, F = in den Rettungswegen, B = sowohl in den Nutzungseinheiten als auch in den Rettungswegen)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN						
Art der Löschanlage	N	R	R	R	O	O	O
Einbauort	-	W	F	B	W	F	B
BEWERTUNG P_{2a}	K	M	G	H	M	G	H

(K = kein Einfluss, G = geringer Einfluss, M = mittlerer Einfluss, H = hoher Einfluss)

P_{2b} mobiles Löschgerät

N	Nicht vorhanden
E	Feuerlöscher auf jeder Etage
W	Feuerlöscher in jeder Nutzungseinheit

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₂

SUB-PARAMETER	ENTSCHEIDUNGSHILFEN											
P _{2a} autom. Löschanlage	K	K	K	G	G	G	M	M	M	H	H	H
P _{2b} mobiles Löschgerät	N	E	W	N	E	W	N	E	W	N	E	W
BEWERTUNG P₂	0	0	1	1	1	2	4	4	4	5	5	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

resultierende Bewertung:

Bemerkungen von Anwendern:

Der Begriff „residential sprinklers“ kann von Land zu Land unterschiedlich belegt sein. Im Allgemeinen sind unter „residential sprinklers“ Anlagen für Wohngebäude zu verstehen, die auf Grund geringerer Anforderungen direkt an die Hauswasserversorgung angeschlossen werden können. An sogenannte „ordinary sprinklers“ für öffentliche Gebäude oder Industrieanlagen bestehen erhöhte Anforderungen an die Bevorratung und Zuverlässigkeit der Wasserversorgung.

P₃ **Feuerwehr**

DEFINITION:

Möglichkeiten der Feuerwehr zur Brandbekämpfung und Lebensrettung

SUB-PARAMETER:

P_{3a} Leistungsfähigkeit der zuständigen Feuerwehr

LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER ZUSTÄNDIGEN FEUERWEHR	BEWERTUNG P _{3a}
Kein Löschzug erreichbar	0
Brandbekämpfung nur von außerhalb des Gebäudes möglich	1
Brandbekämpfung möglich, aber keine Begehung eines verrauchten Gebäudes	2
Brandbekämpfung und Begehung eines verrauchten Gebäudes möglich	4
Gleichzeitige Brandbekämpfung, Begehung eines verrauchten Gebäudes und Personenrettung über Leitern möglich	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{3b} Hilfsfrist der Feuerwehr

HILFSFRIST [min]	BEWERTUNG P _{3b}
> 20	0
15 - 20	1
10 - 15	2
5 - 10	3
0 - 5	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{3c} Anleiterbarkeit (Anzahl der Fenster oder Balkone die bei einem Brand von Feuerwehrleitern erreichbar sind)

ANLEITERBARKEIT	BEWERTUNG P _{3c}
Weniger als 1 Fenster pro Nutzungseinheit ist über Feuerwehrleitern erreichbar	0
Mindestens 1 Fenster pro Nutzungseinheit ist über Feuerwehrleitern erreichbar	3
Alle Fenster sind über Feuerwehrleitern erreichbar	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

BEWERTUNG DES PARAMETERS

$P_3 = (0,31 \times P_{3a} \text{ Leistungsfähigkeit} + 0,47 \times P_{3b} \text{ Hilfsfrist} + 0,22 \times P_{3c} \text{ Anleiterbarkeit})$

resultierende Bewertung:

Bemerkungen von Anwendern:

Wenn kein Löschzug erreichbar ist wird der Parameter P₃ = 0 gesetzt.

P₄ Größe der Nutzungseinheiten

DEFINITION:

Maximale Fläche der Nutzungseinheiten in einem Gebäude

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₄

MAX. FLÄCHE DER NUTZUNGSEINHEITEN	BEWERTUNG P ₄
> 400 m ²	0
200 - 400 m ²	1
100 - 200 m ²	2
50 - 100 m ²	3
< 50 m ²	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

Resultierende Bewertung:

Bemerkungen von Anwendern:

Keine Bemerkungen

P₅ Raumabschließende Bauteile

DEFINITION:

Feuerwiderstand und Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile

SUB-PARAMETER:

P_{5a} Raumabschluss und Wärmedämmung

RAUMABSCHLUSS, THERM. ISOLIERUNG (UND RAUCHDICHTIGKEIT)	BEWERTUNG P _{5a}
EI < EI 15*	0
EI 15 ≤ EI ≤ EI 30*	1
EI 30 ≤ EI ≤ EI 45*	3
EI 45 ≤ EI ≤ EI 60*	4
EI ≥ EI 60*	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

*Anforderung muss auch für die Bauteilanschlüsse nachgewiesen sein

P_{5b} Brandverhalten

Liegen unterschiedliche Bauteilaufbauten vor, kann dies anteilig über den Umsetzungsgrad berücksichtigt werden.

BAUWEISE, KAPSELUNG, BRENNBARKEIT	BEWERTUNG P _{5b}	UMSETZUNGSGRAD [%]	GESAMT- BEWERTUNG P5B
Holztafelbauweise; nichtbrennbare Dämmung; K ₂ 30 *	4		
Holztafelbauweise; nichtbrennbare Dämmung; K ₂ 60 *	5		
Holztafelbauweise brennbare Dämmung; K ₂ 30 * (therm. Schutz der Dämmung über 60 Min)	4		
Holztafelbauweise; brennbare Dämmung; K ₂ 60 * (therm. Schutz der Dämmung über 60 Min)	5		
Holzmassivbauweise; unbekleidet	1		
Holzmassivbauweise; K ₂ 15 *	3		
Holzmassivbauweise; K ₂ 30 *	4		
Holzmassivbauweise; K ₂ 60 *	5		

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

* Anforderung muss auch für die Bauteilschlüsse und Einbauten nachgewiesen sein

P_{5c} Installationsführungen

INSTALLATIONSFÜHRUNGEN	BEWERTUNG P _{5d}
Installationsführung ohne besondere Schutzmaßnahmen	0
Installationsführung entsprechend den Erleichterungen der MLAR	2
Installationsführung mit klassifizierten Abschottungen	3
Installationsschächte, die eine eigene Nutzungseinheit mit klassifizierten Abschottungen zu den angrenzenden Nutzungseinheiten bilden	3
Keine Installationsführungen zwischen den Nutzungseinheiten vorhanden	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

Hinweis:

Ist die Bewertung des Sub-Parameters P_{5c} „Installationsführungen“ = 0, so ist auch die resultierende Bewertung des Parameters P₅ = 0 zu setzen.

Bewertung des Parameters:

$$P_5 = (0,35 \times P_{5a} \text{ Raumabschluss, therm. Isolierung und Rauchdichtigkeit} \\ + 0,41 \times P_{5b} \text{ Brandverhalten} + 0,24 \times P_{5c} \text{ Durchdringungen})$$
Resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Keine Bemerkungen

P₆ Türen

DEFINITION:

Behinderung der Brand- und Rauchweiterleitung durch Türen

SUB-PARAMETER:

P_{6a} Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg

Raumabschluss und therm. Isolierung = EI

(A = keine Anforderung, B = dichtschießend, C = EI ≥ EI 30)

Rauchdichtigkeit: J = Ja, N = Nein

Schließmechanismus: M = manuell, S = selbstschließend

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN								
Raumabschluss und therm. Isolierung	A	B	B	B	B	C	C	C	C
Rauchdichtigkeit	-	N	N	J	J	N	N	J	J
Schließmechanismus	-	M	S	M	S	M	S	M	S
Bewertung P_{6a}	0	1	2	1	3	2	4	3	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{6b} Türen zwischen notwendigen Fluren und Treppenraum

Raumabschluss und Wärmedämmung = EI

(A = keine Anforderung, B = dichtschießend, C = EI ≥ EI 30)

Rauchdichtigkeit: J = Ja, N = Nein

Schließmechanismus: M = manuell, S = selbstschließend

Wenn kein notwendiger Flur (Schleuse vor dem Treppenraum) vorhanden ist wird der Sub-Parameter P_{6b} mit 0 bewertet.

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN									
Raumabschluss und therm. Isolierung	A	B	B	B	B	C	C	C	C	-
Rauchdichtigkeit	-	N	N	J	J	N	N	J	J	-
Schließmechanismus	-	M	S	M	S	M	S	M	S	-
Bewertung P_{6b}	0	1	2	1	3	2	4	3	5	0

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

Bewertung des Parameters:

$P_6 = (0,67 \times P_{6a} \text{ Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg} + 0,33 \times P_{6b} \text{ Türen zwischen notwendigen Fluren und Treppenraum})$

Resultierende Bewertung:

Bemerkungen von Anwendern:

Einige Anwender fragten, wie Aufzugtüren zu behandeln sind. Wenn der Aufzug als Rettungsweg genutzt werden soll und er mit allen erforderlichen Anforderungen ausgestattet ist, so dass er bei den Behörden als Fluchtmöglichkeit anerkannt wird, werden die Aufzugtüren wie „Türen in Rettungswegen“ behandelt.

P₇ Fenster

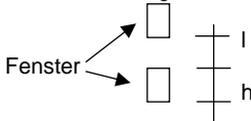
DEFINITION:

Maßnahmen, die einen Brandüberschlag über die Fassade durch Fenster oder andere Öffnungen in der Fassade beeinflussen

SUB-PARAMETER:

P_{7a} relative vertikale Entfernung

Der Wert r ist definiert als der Quotient aus vertikaler Distanz zweier Fenster in übereinanderliegenden Geschossen (l) und der Fensterhöhe (h).



Relative vertikale Entfernung, $r = l/h$

(A = $r < 1$, B = $r \geq 1$)

P_{7b} Brandschutzqualität der Fenster

Raumabschluss E	
ohne Anforderung	C
$E \geq E 15$,	D
$E \geq E 30$	E

Bewertung des Parameters P₇

SUB-PARAMETER	ENTSCHEIDUNGSHILFEN					
P _{7a} Relative vertikale Entfernung	A	A	A	B	B	B
P _{7b} Brandschutzklasse	C	D	E	C	D	E
Bewertung P₇	0	3	5	2	5	5

(schlechteste Bewertung = 0, beste Bewertung = 5)

Resultierende Bewertung:

Bemerkungen von Anwendern:

Einige Anwender haben angemerkt, dass die vertikale Entfernung zwischen den Fenstern unterschiedlich sein kann. Auch hier muss dann eine ingenieurgemäße Einschätzung zur Bewertung genutzt werden. Wenn z. B. alle Fenster bis auf zwei Fenster im Giebel die gleiche vertikale Entfernung aufweisen, sollten die erstgenannten Fenster die Basis für die Bewertung bilden. Zum Vergleich können für eine weitere Bewertung des Gebäudes die beiden Giebefenster als Basis genommen werden. In den meisten Fällen wird der Einfluss sehr gering sein und das Problem unterschiedlicher vertikaler Entfernungen hat keine große Bedeutung.

P₈ Fassade**DEFINITION:**

Möglichkeit durch die Baustoffqualität der Fassade die Brandausbreitung zu reduzieren

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₈:

BAUSTOFFKLASSE DER FASSADENKONSTRUKTION		
Euroklasse*	Baustoffklasse	BEWERTUNG
A 1	A 1	5
A 2	A 2	5
B	B 1	3
C		
D	B 2	1
E		
F	B 3	0

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

Resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Keine Bemerkung

P₉ Dachraum**DEFINITION:**

Maßnahmen zur Unterdrückung der Brandausbreitung auf den Dachraum und innerhalb des Dachraumes

SUB-PARAMETER:**P_{9a} Behinderung der Brandausbreitung auf den Dachraum**

Der übliche Weg der Brandausbreitung auf den Dachraum geschieht über die Traufe. Spezielle konstruktive Lösungen behindern dies.

N	Nein
J	Ja

P_{9b} Bauliche Unterteilung des Dachraums

MAXIMALE BAULICH NICHT UNTERTEILTE FLÄCHE IM DACHRAUM	BEWERTUNG P _{9b}
Kein Dachraum vorhanden	S
$A \leq 100 \text{ m}^2$	H
$100 \text{ m}^2 < A \leq 400 \text{ m}^2$	M
$400 \text{ m}^2 < A \leq 1600 \text{ m}^2$	G
$A > 1600 \text{ m}^2$	K

(K = kein Einfluss, G = geringer Einfluss, M = mittlerer Einfluss, H = hoher Einfluss, S = sehr hoher Einfluss)

P_{9c} Unterteilung des Dachraums entsprechend der Nutzungseinheiten

N	Die Grenzen der Nutzungseinheiten sind nicht im Dachraum fortgeführt
J	Die Grenzen der Nutzungseinheiten sind im Dachraum fortgeführt

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₉

SUB-PARAMETER	ENTSCHEIDUNGSHILFEN													
P _{9a} Behinderung der Brandausbreitung	N	N	N	N	N	J	J	J	J	J				
P _{9b} Bauliche Unterteilung	K	G	M	H	S	K	G	M	H	S				
P _{9c} Unterteilung entsprechend der Nutzungseinheiten	N	N	N	J	N	J	-	N	N	N	J	N	J	-
BEWERTUNG P₉	0	0	1	2	2	3	5	2	2	3	4	4	5	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Keine Bemerkungen

P₁₀ Angrenzende Gebäude**DEFINITION:**

Abstand zu angrenzenden Gebäuden

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₁₀

Wenn zwei Gebäude durch eine Brandwand getrennt sind ist dies mit einem Abstand von 8 m vergleichbar.

ENTFERNUNG ZU ANGRENZENDEN GEBÄUDEN	BEWERTUNG P ₁₀
$D < 5 \text{ m}$	0
$5 \leq D < 8 \text{ m}$	1
$8 \leq D < 12 \text{ m}$	2
$12 \leq D < 20 \text{ m}$	3
$D \geq 20 \text{ m}$	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

Resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Keine Bemerkung

P₁₁ Entrauchung**DEFINITION:**

Einrichtungen zur Entrauchung der Rettungswege

SUB-PARAMETER:**P_{11a} Häufigkeit der Entrauchungseinrichtungen**

K	Kein Entrauchungssystem vorhanden
O	Nur im obersten Geschoss
J	In jedem Geschoss

P_{11b} Aktivierung der Entrauchungseinrichtungen

M	manuell
A	automatisch

P_{11c} Art der Entrauchungssysteme

N	Natürliche Entrauchung durch das Öffnen eines Fensters in Deckennähe
M	Mechanische Entrauchung
ÜN	Überdruck und natürliche Entrauchung bestehenden Rauches
ÜM	Überdruck und mechanische Entrauchung bestehenden Rauches

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₁₁

SUB-PARAMETER	ENTSCHEIDUNGSHILFEN															
P _{11a} Häufigkeit	K	O	O	O	O	O	O	O	O	J	J	J	J	J	J	J
P _{11b} Aktivierung	-	M	M	M	M	A	A	A	A	M	M	M	M	A	A	A
P _{11c} Art	-	N	M	ÜN	ÜM	N	M	ÜN	ÜM	N	M	ÜN	ÜM	N	M	ÜN
BEWERTUNG P₁₁	0	1	1	2	2	3	3	4	4	2	2	3	3	4	4	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Man erhält eine sehr irreführende Bewertung, wenn ein Gebäude außenliegende Rettungswege aufweist, z. B. wenn aus jeder Nutzungseinheit Ausgänge auf Balkone vorhanden sind und eine Treppe von dort nach unten führt. Für viele dieser Gebäude ist kein Entrauchungssystem erforderlich, da der Rauch frei von der Gangway abfließen kann. In einigen dieser Gebäude können allerdings umlaufende Bekleidungen die Gangway abtrennen, so dass eine verrauchte Zone entstehen könnte. Eine ingenieurgemäße Einschätzung ist hier erforderlich.

P₁₂ Branderkennung

DEFINITION:

Einrichtungen, die der Erkennung eines Brandes dienen

SUB-PARAMETER:

P_{12a} Häufigkeit der Branddetektoren

Branddetektoren in Wohnungen (N = kein Detektor, A = mindestens ein Detektor je Nutzungseinheit, B = mehr als ein Detektor je Nutzungseinheit)

Branddetektoren in Rettungswegen (N = Nein, J = Ja)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN					
Branddetektoren in Wohnungen	N	N	A	B	A	B
Branddetektoren in Rettungswegen	N	J	N	N	J	J
BEWERTUNG P_{12a}	K	G	G	M	H	H

(K = Kein Einfluss, G = geringer Einfluss, M = mittlerer Einfluss, H = hoher Einfluss)

P_{12b} Zuverlässigkeit der Branddetektoren

Wirkungsweise der Branddetektoren (W = Wärmedetektor, R = Rauchdetektor)

Energieversorgung (B = Batterie, Ö = öffentliches Stromnetz)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN					
Wirkungsweise	W	W	W	R	R	R
Energieversorgung	B	Ö	BÖ	B	Ö	BÖ
BEWERTUNG P_{12b}	G	M	M	M	H	H

(K = Kein Einfluss, G = geringer Einfluss, M = mittlerer Einfluss, H = hoher Einfluss)

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₁₂

SUB-PARAMETER	ENTSCHEIDUNGSHILFEN									
P _{12a} Häufigkeit	K	G	G	G	M	M	M	H	H	H
P _{12b} Zuverlässigkeit	-	G	M	H	G	M	H	G	M	H
BEWERTUNG P₁₂	0	1	2	2	2	3	3	3	4	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

resultierende Bewertung:

Bemerkungen von Anwendern:

Bei der Bewertung sogenannter „Heimbrandmelder“ ist eine ingenieurgemäße Einschätzung erforderlich. Es ist auf eine sinnvolle Kombination der Parameter P₁₂ und P₁₃ zu achten.

P₁₃ Brandmeldung**DEFINITION:**

Einrichtungen, die im Brandfall der Alarmierung dienen

SUB-PARAMETER:**P_{13a} Art des Signals**

Optisches Signal (N = Nein, J = Ja)

Akustisches Signal (N = Nein, T = Tonsignal, S = Sprachmitteilung)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN					
Optisches Signal	N	J	N	N	J	J
Akustisches Signal	N	N	T	S	T	S
BEWERTUNG P_{13a}	K	G	M	H	M	H

(K = Kein Einfluss, G = geringer Einfluss, M = mittlerer Einfluss, H = hoher Einfluss)

P_{13b} Reichweite der Alarmierung

Werden durch die Alarmierung nur die Nutzer der betroffenen Nutzungseinheit gewarnt oder können auch Nutzer außerhalb dieser erreicht werden?

A	Die Alarmierung erfolgt nur innerhalb der Nutzungseinheit
B	Es besteht die Möglichkeit das Signal manuell auf das Gesamtgebäude oder mindestens einen großen Teil des Gebäudes auszudehnen

(K = Kein Einfluss, G = geringer Einfluss, M = mittlerer Einfluss, H = hoher Einfluss)

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₁₃

SUB-PARAMETER	ENTSCHEIDUNGSHILFEN						
P _{13a} Art des Signals	K	G	G	M	M	H	H
P _{13b} Reichweite der Alarmierung	-	A	B	A	B	A	B
BEWERTUNG P₁₃	0	1	2	3	4	4	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Bei der Bewertung sogenannter „Heimbrandmelder“ ist eine ingenieurgemäße Einschätzung erforderlich. Es ist auf eine sinnvolle Kombination der Parameter P₁₂ und P₁₃ zu achten.

P₁₄ Rettungswege

DEFINITION:

Sicherheit von Rettungswegen

SUB-PARAMETER:

P_{14a} Art der Rettungswege

Treppenträume (A = eine notwendige Treppe dient als Fluchtmöglichkeit, B = der Rettungsweg führt zu zwei unabhängigen notwendigen Treppen, C = direkte Fluchtmöglichkeit zu zwei unabhängigen notwendigen Treppen)

Fenster/ Balkone (D = Fenster und Balkone können nicht zur Flucht genutzt werden, E = je Nutzungseinheit kann mindestens ein Fenster zur Flucht genutzt werden, F = je Nutzungseinheit können mindestens zwei unabhängige Fenster zur Flucht genutzt werden, G = je Nutzungseinheit kann der Balkon zur Flucht genutzt werden, H = je Nutzungseinheit können mindestens ein Fenster und der Balkon zur Flucht genutzt werden)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN												
notwendige Treppen	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C
Fenster/ Balkone	E	F	G	H	E	F	G	H	D	E	F	G	H
Bewertung P_{14a}	0	1	1	3	2	3	3	4	4	5	5	5	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{14b} Dimensionierung und Anordnung

Maximale Entfernung zu einer notwendigen Treppe (A < 15 m, B = 15 – 30 m, C > 30 m)

Anzahl der Stockwerke (D ≤ 4, E = 5 – 6)

Maximale Anzahl von Nutzungseinheiten je Geschoss, die an einen Rettungsweg anschließen (F ≤ 4, G ≥ 5)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN												
Maximale Entfernung	C	C	C	C	B	B	B	B	A	A	A	A	A
Anzahl der Geschosse	E	E	D	D	E	E	D	D	E	E	D	D	D
Anzahl der Nutzungseinheiten	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	F
Bewertung P_{14b}	0	1	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{14c} Orientierungshilfen

Hinweisschilder (A = nicht vorhanden, B = unbeleuchtete Schilder, C = beleuchtete Schilder)

Gesamtbeleuchtung (D = manuell einzuschalten, E = dauerhaft eingeschaltet)

Notbeleuchtung (F = nicht vorhanden, G = vorhanden)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN												
Hinweisschilder	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	C
Gesamtbeleuchtung	D	D	E	E	D	D	E	E	D	D	E	E	E
Notbeleuchtung	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	G
Bewertung P_{14c}	0	3	3	4	2	4	3	4	2	4	3	5	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{14d} Oberflächen in Rettungswegen (außer Bodenbelägen)

Typische Produkte	BAUSTOFFKLASSE		BEWERTUNG P _{14d}
	Euroklasse*	Baustoffklasse	
Stein, Beton	A 1	A 1	5
Gipskartonplatten	A 2	A 2	5
Imprägniertes Holz	B	B 1	3
Tapete auf Gipskartonplatten	C		
Holz, d > 4 mm	D	B 2	1
Holzfaserverplatten mit niedriger Dichte	E		
verschiedene Kunststoffe	F	B 3	0

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

* es sind nur die Hauptklassen angegeben

BEWERTUNG DES PARAMETERS

$P_{14} = (0,34 \times P_{14a} \text{ Art der Rettungswege} + 0,27 \times P_{14b} \text{ Dimensionierung und Anordnung} + 0,16 \times P_{14c} \text{ Orientierungshilfen} + 0,23 \times P_{14d} \text{ Bekleidungen und Fußböden})$

resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Es gibt keine Möglichkeit Gebäude mit außenliegender Gangway (das bedeutet, der Ausgang aus jeder Nutzungseinheit führt zu einem Balkon mit einer Treppe nach unten) zu berücksichtigen. Mit dem ersten Parameter kann dies unter der Annahme berücksichtigt werden, dass die Flucht auch über den Balkon möglich ist. Wenn das Gebäude außenliegende Gangways hat, sollte die Bewertung für den Parameter P_{14b} bei Gebäuden ≤ 4 Geschosse = 4 (= B, D, F) und bei Gebäuden zwischen 5 und 6 Geschosse = 3 (=B, E, F) sein.

Weiter besteht die Möglichkeit, dass das Licht über Bewegungsmelder geschaltet ist. Dies kann als „Licht immer an“ bewertet werden.

Die Baustoffklasse von Fußböden in Rettungswegen wird nicht berücksichtigt.

P₁₅ Tragende Bauteile

DEFINITION:

Tragfähigkeit und Brandverhalten der tragenden Bauteile

SUB-PARAMETER:

P_{15a} Tragfähigkeit

TRAGFÄHIGKEIT (R)	BEWERTUNG P _{15a}
$R < R 30$	0
$R 30 \leq R < R 60$	2
$R 60 \leq R < R 90$	4
$R 90 \leq R$	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{15b} Stoßbeanspruchung

(N = sind nicht auf das Kriterium der seitlichen Stoßbeanspruchung geprüft, J = sind auf das Kriterium der seitlichen Stoßbeanspruchung geprüft)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN				
	N	J*	N	J*	J*
Gebäudeabschlusswände und innere Brandwände	N	J*	N	J*	J*
Treppenraumwände	N	N	J	J	J
Trennwände	N	N	N	N	J
Bewertung P_{15b}	0	2	2	4	5

* oder wenn keine Brandwand erforderlich

P_{15c} Brandverhalten

Liegen unterschiedliche Bauteilaufbauten vor, kann dies anteilig über den Umsetzungsgrad berücksichtigt werden.

BAUWEISE, KAPSELUNG, BRENNBARKEIT	BEWERTUNG P _{5b}	UMSETZUNGSGRAD [%]	GESAMT- BEWERTUNG P5B
Holztafelbauweise; nichtbrennbare Dämmung; K ₂ 30 *	4		
Holztafelbauweise; nichtbrennbare Dämmung; K ₂ 60 *	5		
Holztafelbauweise brennbare Dämmung; K ₂ 30 * (therm. Schutz der Dämmung über 60 Min)	4		
Holztafelbauweise; brennbare Dämmung; K ₂ 60 * (therm. Schutz der Dämmung über 60 Min)	5		
Holzmassivbauweise; unbekleidet	1		
Holzmassivbauweise; K ₂ 15 *	3		
Holzmassivbauweise; K ₂ 30 *	4		
Holzmassivbauweise; K ₂ 60 *	5		

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

* Anforderung muss auch für die Bauteilschlüsse und Einbauten nachgewiesen sein

Bewertung des Parameters:

$$P_{15} = (0,50 \times P_{15a} \text{ Tragfähigkeit} + 0,24 \times P_{15b} \text{ Stoßbeanspruchung} + 0,26 \times P_{15c} \text{ Brandverhalten})$$

Resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Keine Bemerkungen

P₁₆ **Wartung und Schulung**

DEFINITION:

Wartung der Anlagentechnik und Rettungswege, Schulung der Nutzer

SUB-PARAMETER:

P_{16a} **Wartung der Anlagentechnik**

wie Brandmeldern, maschineller Entrauchung oder automatische Löschanlagen

WARTUNG DER ANLAGENTECHNIK	BEWERTUNG P _{16a}
Seltener als alle 3 Jahre	0
Mindestens einmal in drei Jahren	2
Mindestens einmal pro Jahr	4
Mindestens zweimal pro Jahr	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{16b} **Überprüfung der Rettungswege**

ÜBERPRÜFUNG DER RETTUNGSWEGE	BEWERTUNG P _{16B}
Seltener als alle 3 Jahre	0
Mindestens einmal in drei Jahren	1
Mindestens einmal pro Jahr	3
Mindestens zweimal pro Jahr	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

P_{16c} **Schulung der Nutzer**

Schriftliche Informationen (A = nicht erhältlich, B = schriftliche Informationen liegen an einem öffentlichen Ort aus, C = schriftliche Informationen liegen an einem öffentlichen Ort aus und werden neuen Bewohnern ausgehändigt)

Übungen (D = es werden keine Übungen durchgeführt, E = Brandbekämpfungsübungen werden regelmäßig durchgeführt, F = Evakuierungsübungen werden regelmäßig durchgeführt, G = Brandbekämpfungs- und Evakuierungsübungen werden regelmäßig durchgeführt)

EINFLUSSGRÖßEN	ENTSCHEIDUNGSHILFEN											
Schriftliche Informationen	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C
Übungen	D	E	F	G	D	E	F	G	D	E	F	G
Bewertung P_{16c}	0	1	1	2	1	3	3	4	2	4	4	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

Bewertung des Parameters:

$P_{16} = (0,40 \times P_{16a} \text{ Wartung der Anlagentechnik} + 0,27 \times P_{16b} \text{ Überprüfung der Rettungswege} + 0,33 \times P_{16c} \text{ Schulung der Nutzer})$

resultierende Bewertung:

Bemerkungen von Anwendern:

Eine Wiederholungsstudie der Methode zeigte, dass verschiedene Ingenieure diesen Parameter unterschiedlich bewerteten. Ein Grund hierfür ist, dass Zeichnungen und Baubeschreibungen hierzu nur sehr wenige Informationen enthalten. Trotzdem stellt der Parameter „Wartung und Schulung“ einen sehr wichtigen Gesichtspunkt hinsichtlich der brandschutztechnischen Sicherheit eines Gebäudes dar. Es wird daher vom Anwender verlangt, Informationen aus anderen verlässlichen Quellen zu besorgen. Nur so ist eine vernünftige Einschätzung dieses Parameters möglich.

P₁₇ Be- und Entlüftung**DEFINITION:**

Maßnahmen um eine Rauchausbreitung über Be- und Entlüftungssysteme zu behindern

BEWERTUNG DES PARAMETERS P₁₇:

ART DER KLIMATISIERUNG	BEWERTUNG P ₁₇
Keine Vorrichtungen zur Behinderung der Rauchausbreitung im System vorhanden	0
Zentrale Belüftung, bei der über Druckunterschiede erreicht wird, dass Rauch leichter in die Abluft gelangt als in angrenzende Nutzungseinheiten (Belüftungssysteme nach DIN 18017 T1 und T3)	2
Belüftungssysteme, die durch Brandschutzklappen in Trennwänden unter Brandbeanspruchung einen ausreichenden Widerstand gegen die Rauchausbreitung nachgewiesen haben (vgl. M-LüAR Bild 1.1, Bild 1.3 und Bild 1.4)	3
Belüftungssysteme mit einem Installationsschacht als eigenen „Brandabschnitt“ und Brandschutzklappen in den Schachtwänden (vgl. M-LüAR Bild 1.2)	3
Individuelle Belüftungseinrichtung je Nutzungseinheit	5

(schlechteste Bewertung = 0; beste Bewertung = 5)

resultierende Bewertung:**Bemerkungen von Anwendern:**

Keine Bemerkungen vorhanden

Zusammenfassung und Auswertung der Parameter

Globalnachweis:

Die Bewertung der Parameter ist in die unten stehende Tabelle einzutragen. Der maximale Wert je Parameter ist 5. Die Parameter werden anschließend mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert. Die gewichteten Bewertungen werden anschließend addiert und führen zu einem Wert, der maximal 5 betragen kann.

Der Risikoindex ist definiert als 5 - Wert. Ein niedriger Risikoindex bedeutet ein geringes Risiko und ein höheres Brandschutzniveau. Der Risikoindex erhält erst im Vergleich zu einem zweiten Wert eine Bedeutung.

Parameter	Gewichtung	Bewertung	gewichtete Bewertung
P 1 Oberflächen in Nutzungseinheiten	0,0575		
P 2 Brandbekämpfungseinrichtungen	0,0675		
P 3 Feuerwehr	0,0685		
P 4 Größe der Nutzungseinheiten	0,0664		
P 5 Trennwände	0,0675		
P 6 Türen	0,0695		
P 7 Qualität der Fenster	0,0475		
P 8 Fassade	0,0496		
P 9 Dachraum	0,0523		
P 10 Angrenzende Gebäude	0,0404		
P 11 Entrauchung	0,0606		
P 12 Branderkennung	0,0630		
P 13 Brandmeldung	0,0506		
P 14 Rettungswege	0,0605		
P 15 Tragfähigkeit	0,0631		
P 16 Wartung und Schulung	0,0601		
P 17 Klimatisierung	0,0556		
	Summe	1.0000	(a)
	Risikoindex = (5 - Wert (a))		

Durchführung der Globalnachweise**Risikoindex für Gebäude in REI60 K60-Bauweise mit geforderten Rauchmeldergrundschutz**

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10- 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 K ₂ 60; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	4,28	0,2889
P6	Türen	Dichtschießende Türen zwischen NE und notw. Flur; RS-Türen zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	1,66	0,1154
P7	Qualität der Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Auf jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur für Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
P14	Rettungswege	Ein Treppenraum und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; der Treppenraum befindet sich in 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragfähigkeit	REI 60 K ₂ 60	6,31	4,26	0,2688
P16	Wartung und Schulung	Keine Anforderung	6,01	0	0,0000
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					2,0117
Risikoindex =(5- 2,0117)					2,9883

Risikoindex für Gebäude in REI 60 K30-Bauweise

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10- 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 K₂30; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	3,87	0,2612
P6	Türen	Dichtschließende Türen zwischen NE und notw. Flur; RS-Türen zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	1,66	0,1154
P7	Qualität der Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Auf jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14	Rettungswege	Ein Treppenraum und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; der Treppenraum befindet sich in 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragfähigkeit	REI 60 K₂30	6,31	4	0,2524
P16	Wartung und Schulung	Wartung der Anlagentechnik mindestens einmal pro Jahr	6,01	1,60	0,0962
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					2,3034
Risikoindex =(5- 2,3034)					2,6966

Risikoindex für Gebäude in unbekleideter REI60-Bauweise mit Löschanlage

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse B2	5,75	1	0,0575
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Vollflächige automatische Löschanlage	6,75	4	0,2700
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10- 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 ungekapselt; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	2,64	0,1782
P6	Türen	Dichtschließende Türen zwischen NE und notw. Flur; RS-Türen zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	1,66	0,1154
P7	Qualität der Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Auf jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Durch Druckabfall in der Löschanlage wird Alarmglocke betätigt	6,30	4	0,2520
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14	Rettungswege	Ein Treppenraum und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; der Treppenraum befindet sich in 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragfähigkeit	REI 60 ungekapselt	6,31	3,22	0,2032
P16	Wartung und Schulung	Wartung der Anlagentechnik mindestens einmal pro Jahr	6,01	1,60	0,0962
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					2,1482
Risikoindex = (5- 2,1482)					2,8518

Risikoindex für Gebäude in unbekleideter REI60-Bauweise und NE < 100 m²

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse B2	5,75	1	0,0575
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10- 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	< 100 m ²	6,64	3	0,1992
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 ungekapselt; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	2,64	0,1782
P6	Türen	RS-Türen zwischen NE und notw. Flur, als auch zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	3	0,2085
P7	Qualität der Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Auf jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14	Rettungswege	Ein Treppenraum und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; der Treppenraum befindet sich in 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragfähigkeit	REI 60 ungekapselt	6,31	3,22	0,2032
P16	Wartung und Schulung	Wartung der Anlagentechnik mindestens einmal pro Jahr	6,01	1,6	0,0962
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					2,1671
Risikoindex =(5- 2,1671)					2,8329

Risikoindex für Gebäude mit unbekleideten REI60-Decken, REI60 K30-Wänden und NE < 200 m²

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2 und B2	5,75	3	0,1725
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10- 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	< 200 m ²	6,64	2	0,1328
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	3,26	0,2201
P6	Türen	RS-Türen zwischen NE und notw. Flur, als auch zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	3	0,2085
P7	Qualität der Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Auf jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14	Rettungswege	Ein Treppenraum und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; der Treppenraum befindet sich in 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragfähigkeit	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30	6,31	3,61	0,2287
P16	Wartung und Schulung	Wartung der Anlagentechnik mindestens einmal pro Jahr	6,01	1,6	0,0962
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					2,2822
Risikoindex =(5- 2,2822)					2,7178

Risikoindex für Gebäude in unbekleideter REI60-Bauweise und NE < 100 m²**Alternative: 2 unabhängige bauliche Rettungswege**

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse B2	5,75	1	0,0575
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10- 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	< 100 m ²	6,64	3	0,1992
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 ungekapselt; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	2,64	0,1782
P6	Türen	Dichtschießende Türen zwischen NE und notw. Flur; RS-Türen zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	1,66	0,1154
P7	Qualität der Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Auf jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14	Rettungswege	Zwei unabhängige bauliche Rettungswege können je NE zur Flucht genutzt werden; die Treppenräume befinden sich in 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	2,51	0,1519
P15	Tragfähigkeit	REI 60 ungekapselt	6,31	3,22	0,2032
P16	Wartung und Schulung	Wartung der Anlagentechnik mindestens einmal pro Jahr	6,01	1,6	0,0962
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					2,1562
Risikoindex =(5- 2,1562)					2,8438

Risikoindex für Gebäude mit unbedeckten REI60-Decken, REI60 K30-Wänden und NE < 200 m²**Alternative: 2 unabhängige bauliche Rettungswege**

Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2 und B2	5,75	3	0,1725
P2	Brandbekämpfungseinrichtungen	Keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10- 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	< 200 m ²	6,64	2	0,1328
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30; Installationsführung gemäß MLAR	6,75	3,26	0,2201
P6	Türen	Dichtschießende Türen zwischen NE und notw. Flur; RS-Türen zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	1,66	0,1154
P7	Qualität der Fenster	Keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	Schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m ²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	Auf jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1214
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14	Rettungswege	Zwei unabhängige bauliche Rettungswege können je NE zur Flucht genutzt werden; die Treppenräume befinden sich in 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	2,51	0,1519
P15	Tragfähigkeit	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30	6,31	3,61	0,2287
P16	Wartung und Schulung	Wartung der Anlagentechnik mindestens einmal pro Jahr	6,01	1,6	0,0962
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
Summe:					2,2713
Risikoindex =(5- 2,2713)					2,7287

Durchführung der Teilnachweise

Teilnachweis für Konzept 2

Gebäude in REI 60 K₂30-Bauweise

Kompensation des Parameter P1 und der Sub-Parameter P5b und P15c

Vergleichswert Konzept MBO

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	Keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	Keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
			Summe:		0,5079
				Kompensationsindex = ((0,2152*5) - 0,5079)	0,5681

Vergleichswert Konzept MBO mit gefordertem Rauchmeldergrundschutz

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
			Summe:		0,7857
				Kompensationsindex = ((0,2152*5) - 0,7857)	0,2903

Vergleichswert Konzept 2

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 30	0,41 x 6,75	4	0,1107
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 30	0,26 x 6,31	4	0,0656
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
			Summe:		0,9812
				Kompensationsindex = ((0,2152*5) - 0,9812)	0,0948

Teilnachweis für Konzept 3

Gebäude in unbekleideter REI 60-Bauweise mit Löschanlage
Kompensation des Parameter P1 und der Sub-Parameter P5b und P15c

Vergleichswert Konzept MBO

Zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P2	Automatische Löschanlage	Keine Anforderungen	6,75	0	0,0000
P12	Branderkennung	Keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	Keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
Summe:			28,27		0,5079
Kompensationsindex =((0,2827*5)- 0,5079)					0,9056

Vergleichswert Konzept MBO mit gefordertem Rauchmeldergrundschutz

Zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P2	Automatische Löschanlage	Keine Anforderungen	6,75	0	0,0000
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
Summe:			28,27		0,7857
Kompensationsindex =((0,2827*5)- 0,7857)					0,6278

Vergleichswert Konzept 3

Zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse B2	5,75	1	0,0575
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 unbekleidet	0,41 x 6,75	1	0,0277
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 unbekleidet	0,26 x 6,31	1	0,0164
Kompensationsmaßnahmen					
P2	Automatische Löschanlage	Automat. Löschanlage in den Nutzungseinheiten	6,75	4	0,2700
P12	Branderkennung	Durch Druckabfall in der Löschanlage wird Alarmglocke betätigt	6,30	4	0,2520
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
Summe:			28,27		0,8260
Kompensationsindex =((0,2827*5)- 0,8260)					0,5875

Teilnachweis für Konzept 4

Gebäude in unbekleideter REI 60-Bauweise und NE < 100 m²
Kompensation des Parameter P1 und der Sub-Parameter P5b und P15c

Vergleichswert Konzept MBO

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P6a	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg	Dichtschließende Türen	0,67 x 6,95	1	0,0466
P12	Branderkennung	Keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	Keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
		Summe:	32,81		0,6209
				Kompensationsindex =((0,3281*5)- 0,6226)	1,0196

Vergleichswert Konzept MBO mit gefordertem Rauchmeldergrundschutz

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P6a	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg	Dichtschließende Türen	0,67 x 6,95	1	0,0466
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
		Summe:	32,81		0,8987
				Kompensationsindex =((0,3281*5)- 0,8987)	0,7418

Vergleichswert Konzept 4

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse B2	5,75	1	0,0575
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 unbekleidet	0,41 x 6,75	1	0,0277
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 unbekleidet	0,26 x 6,31	1	0,0164
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	< 100 m ²	6,64	3	0,1992
P6a	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg	Dichtschließende Türen	0,67 x 6,95	3	0,1397
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
		Summe:	32,81		0,9579
				Kompensationsindex =((0,3281*5)- 0,9579)	0,6826

Teilnachweis für Konzept 5

Gebäude mit unbekleideten REI 60-Decken, REI 60 K₂30-Wänden und NE < 200 m²
Kompensation des Parameter P1 und der Sub-Parameter P5b und P15c

Vergleichswert Konzept MBO

Zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P6a	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg	Dichtschließende Türen	0,67 x 6,95	1	0,0466
P12	Branderkennung	Keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	Keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
Summe:			32,81		0,6209
			Kompensationsindex =((0,3281*5)- 0,6226)		1,0196

Vergleichswert Konzept MBO mit gefordertem Rauchmeldergrundschutz

Zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P6a	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg	Dichtschließende Türen	0,67 x 6,95	1	0,0466
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
Summe:			32,81		0,8987
			Kompensationsindex =((0,3281*5)- 0,8987)		0,7418

Vergleichswert Konzept 5

Zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2 und B2	5,75	3	0,1725
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30	0,41 x 6,75	2,5	0,0692
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30	0,26 x 6,31	2,5	0,0410
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	100 - 200 m ²	6,64	2	0,1328
P6a	Türen zwischen Nutzungseinheiten und Rettungsweg	Dichtschließende Türen	0,67 x 6,95	3	0,1397
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
Summe:			32,81		1,0726
			Kompensationsindex =((0,3281*5)- 1,0726)		0,5679

Teilnachweis für Alternative Konzept 4Gebäude in unbedeckter REI 60-Bauweise und NE < 100 m²

Alternative: 2 unabhängige bauliche Rettungswege

Kompensation des Parameter P1 und der Sub-Parameter P5b und P15c

Vergleichswert Konzept MBO

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P12	Branderkennung	Keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	Keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
P14a	Art der Rettungswege	1 Treppenraum und 1 Fenster je NE	0,34 x 6,05	0	0,0000
			Summe:	30,22	0,5743
			Kompensationsindex		0,9367
			=((0,3022*5) - 0,5743)		

Vergleichswert Konzept MBO mit gefordertem Rauchmeldergrundschutz

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
P14a	Art der Rettungswege	1 Treppenraum und 1 Fenster je NE	0,34 x 6,05	0	0,0000
			Summe:	30,22	0,8521
			Kompensationsindex		0,6589
			=((0,3022*5) - 0,8521)		

Vergleichswert Alternative Konzept 4

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse B2	5,75	1	0,0575
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 ungekapselt	0,41 x 6,75	1	0,0277
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 ungekapselt	0,26 x 6,31	1	0,0164
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	< 100 m ²	6,64	3	0,1992
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14a	Art der Rettungswege	2 unabhängige bauliche Rettungswege	0,34 x 6,05	4	0,0823
			Summe:	30,22	0,9005
			Kompensationsindex		0,6105
			=((0,3022*5) - 0,9005)		

Teilnachweis für Alternative Konzept 5Gebäude mit unbedeckten REI 60-Decken, REI 60 K₂30-Wänden und NE < 200 m²

Alternative: 2 unabhängige bauliche Rettungswege

Kompensation des Parameter P1 und der Sub-Parameter P5b und P15c

Vergleichswert Konzept MBO

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P12	Branderkennung	Keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	Keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
P14a	Art der Rettungswege	1 Treppenraum und 1 Fenster je NE	0,34 x 6,05	0	0,0000
			Summe:	30,22	0,5743
				Kompensationsindex =((0,3022 ⁵)- 0,5743)	0,9367

Vergleichswert Konzept MBO mit gefordertem Rauchmeldergrundschutz

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 K ₂ 60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200- 400 m ²	6,64	1	0,0664
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
P14a	Art der Rettungswege	1 Treppenraum und 1 Fenster je NE	0,34 x 6,05	0	0,0000
			Summe:	30,22	0,8521
				Kompensationsindex =((0,3022 ⁵)- 0,8521)	0,6589

Vergleichswert Alternative Konzept 5

Zu kompensierende Parameter	Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung	
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2 und B2	5,75	3	0,1725
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30	0,41 x 6,75	2,5	0,0692
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 ungekapselt und K ₂ 30	0,26 x 6,31	2,5	0,0410
Kompensationsmaßnahmen					
P4	Größe der Nutzungseinheiten	100 - 200 m ²	6,64	2	0,1328
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
P14a	Art der Rettungswege	2 unabhängige bauliche Rettungswege	0,34 x 6,05	4	0,0823
			Summe:	30,22	1,0152
				Kompensationsindex =((0,3022 ⁵)- 1,0152)	0,4958

**Vorschlag zur Erweiterung des Anwendungsbereichs
der Muster-Holzbaurichtlinie**

Inhalt

- 1 Geltungsbereich**
- 2 Allgemeines**
- 3 Anforderungen an Wand- und Deckenbauteile, Stützen und Träger**
 - 3.1 Baustoffe**
 - 3.1.1 Holz
 - 3.1.2 Dämmstoffe
 - 3.1.3 Folien
 - 3.2 Brandschutzbekleidung**
 - 3.3 Bauteile**
 - 3.3.1 Allgemeines
 - 3.3.2 Wände und Wandscheiben
 - 3.3.3 Decken
 - 3.3.4 Stützen und Träger
 - 3.4 Anschlüsse von Stützen, Trägern, Wand- und Deckenbauteilen**
 - 3.4.1 Allgemeines
 - 3.4.2 Anschlüsse von Wänden an Wände
 - 3.4.3 Anschlüsse von Wänden und Stützen an Decken
 - 3.5 Öffnungen für Türen, Fenster und sonstige Einbauten**
- 4 Installationen**
 - 4.1 Allgemeines**
 - 4.2 Elektrische Leitungen**

5 Reduzierte Brandschutzbekleidung

5.1 Allgemeines

5.2 Brandschutzbekleidung K₂30

5.2.1 Konstruktive Ausführung

5.2.2 Kompensationsmaßnahmen

5.3 Unbekleidete Holzbauteile

5.3.1 Konstruktive Ausführung

5.3.2 Kompensationsmaßnahmen

6 Verwendung brennbarer Dämmstoffe und nichtbrennbarer Dämmstoffe mit einem Schmelzpunkt < 1000 °C

6.1 Thermische Grenztemperatur

6.2 Ausführung der Brandschutzbekleidung

6.3 Installationen

7 Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweis

7.1 Verwendbarkeitsnachweis

7.2 Übereinstimmungsnachweis

8 Bauausführung

1 Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für Gebäude, deren tragende, aussteifende oder raumabschließende Teile aus Holz oder Holzwerkstoffen bestehen und die nach bauaufsichtlichen Vorschriften hochfeuerhemmend sein müssen (§ 26 Abs. 2 Satz 2 Nr. 3 MBO).

Die Richtlinie gilt für Holzbauweisen, die einen gewissen Grad der Vorfertigung haben wie Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerkbauweise, sowie für *Holz-Massivbauweisen (Brettstapel-, Brettschichtholz- und Brettspertholzbauweise)*, jedoch nicht für die *Blockbohlenbauweise*.

2 Allgemeines

Die Richtlinie stellt brandschutztechnische Anforderungen, die sich insbesondere beziehen auf

- die Baustoffe,
- die Brandschutzbekleidung,
- die konstruktive Ausbildung der Wand- und Deckenbauteile, Stützen und Träger einschließlich ihrer Anschlüsse,
- die Öffnungen für Türen, Fenster und sonstige Einbauten und
- die Installationsführungen,
- technische Kompensationsmaßnahmen bei Abweichungen von Regelausführungen.

Durch diese Anforderungen sollen

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

Die Richtlinie regelt außerdem die Überwachung der Herstellung und der Ausführung der Bauteile.

3 Anforderungen an Wand- und Deckenbauteile, Stützen und Träger

3.1 Baustoffe

3.1.1 Holz

Bauschnittholz muss mindestens den Anforderungen der Sortierklasse S 10 nach DIN 4074 Teil 1, Ausgabe Mai 2001 (DIN 4074-1 : 2001-05), genügen. Die Holzfeuchte muss 15 _ 3 % betragen. Die Maßhaltigkeit der Querschnitte darf ± 1 mm bei der Messbezugsfeuchte von 15% nicht überschreiten (Toleranzklasse 2 nach DIN EN 336, Ausgabe Januar 2001 (DIN EN 336 : 2001-01)).

3.1.2 Dämmstoffe

Grundsätzlich sind Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen mit einem Schmelzpunkt $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ gemäß DIN 4102-17, Ausgabe Dezember 1990 (DIN 4102-17:1990-12), zu verwenden. *Wenn von diesen Anforderungen abgewichen wird, sind zusätzliche Anforderungen gemäß Abschnitt 6 zu erfüllen.*

Fugen von stumpf gestoßenen, einlagigen Dämmschichten müssen dicht sein. Bei zweilagigen Dämmschichten sind die Stöße zu versetzen.

3.1.3 Folien

Normalentflammbare Folien für die Bauteilabdichtung zur Erzielung einer Wind- bzw. Luftdichtheit sowie Dampfbremsen sind zulässig.

3.2 Brandschutzbekleidung

Die Brandschutzbekleidung muss *grundsätzlich* eine Entzündung der tragenden und aussteifenden Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen während einer Branddauer von mindestens 60 Minuten verhindern und als K_2 60 (Kapselklasse) nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein (brandschutztechnisch wirksame Bekleidung nach § 26 Abs. 2 Satz 2 Nr. 3 MBO). *Wenn die Brandschutzleistung der Bekleidung reduziert werden soll, sind zusätzliche Brandschutzmaßnahmen gemäß Abschnitt 5 zu ergreifen.*

Die Brandschutzbekleidung muss allseitig und durchgängig aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Sie ist mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszubilden.

3.3 Bauteile

3.3.1 Allgemeines

Hochfeuerhemmende Bauteile mit einer Brandschutzbekleidung müssen auf der Grundlage der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen als REI 60 bzw. EI 60 nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein.

Hochfeuerhemmende Wände, die anstelle von Brandwänden zulässig sind, und hochfeuerhemmende Wände notwendiger Treppenträume mit einer Brandschutzbekleidung müssen auf der Grundlage der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen als REI-M 60 bzw. EI-M 60 nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein.

3.3.2 Wände und Wandscheiben

Hochfeuerhemmende Wände und Wandscheiben sind mit allseitiger Brandschutzbekleidung nach Abschnitt 3.2 herzustellen. Sie sind bei der Holztafelbauweise mit umlaufenden Rahmenhölzern und einer formschlüssig verlegten, hohlraumfüllenden Dämmung aus Dämmstoffen nach Abschnitt 3.1.2 auszuführen.

3.3.3 Decken

Hochfeuerhemmende Decken sind an ihrer Unterseite mit einer Brandschutzbekleidung nach Abschnitt 3.2 herzustellen. Decken in Holzrahmen- oder Holztafelbauweise sind umlaufend mit Holzprofilen (sog. Verblockung, s. Bild 1) auszuführen, die zwischen die Deckenbalken oder die Rippen einzubauen sind.

Zwischen den Deckenbalken oder -rippen muss ein Dämmstoff nach Abschnitt 3.1.2 flankenformschlüssig verlegt werden.

Der Fußbodenaufbau (schwimmender Estrich oder schwimmender Fußboden, Trockenestrichelemente) muss einschließlich seiner Anschlussfugenausbildung die Anforderungen an die Brandschutzbekleidung nach Abschnitt 3.2 entsprechend erfüllen. Dies gilt als erfüllt bei Verwendung eines auf mindestens 20 mm dicken, nichtbrennbaren Dämmstoffen verlegten, mindestens 30 mm dicken schwimmenden Estrich aus nichtbrennbaren Baustoffen oder mehrlagigen Trockenestrichelementen aus insgesamt mindestens 25 mm dicken, nichtbrennbaren Gipskarton- oder Gipsfaserplatten, wenn umlaufend Randstreifen aus nichtbrennbaren Baustoffen verwendet werden.

3.3.4 Stützen und Träger

Hochfeuerhemmende Stützen und Träger sind mit allseitiger Brandschutzbekleidung nach Abschnitt 3.2 herzustellen.

3.4 Anschlüsse von Stützen, Trägern, Wand- und Deckenbauteilen

3.4.1 Allgemeines

Im Anschlussbereich sind die Brandschutzbekleidungen der Bauteile nach Abschnitt 3.3 mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen so auszubilden, dass keine durchgängigen Fugen entstehen (s. Bild 3).

Außerdem sind die Anschlüsse so auszuführen, dass die Brandschutzbekleidung bei durch Brandeinwirkung entstehenden Verformungen nicht aufreißt. Dazu sind die Bauteile nach Abschnitt 3.3 im Anschlussbereich in Abständen von höchstens 500 mm mit Schrauben zu verbinden, die einen Schaftdurchmesser von mindestens 12 mm haben und eine Einschraubtiefe von mindestens 70 mm aufweisen müssen. Alternativ können Schrauben oder Gewindestangen mit einem Mindestdurchmesser von 8 mm eingesetzt werden, wenn der Abstand der Verbindungsmittel nicht mehr als 500 mm beträgt und die erforderliche Verbindungskraft von mindestens 0,85 kN/lfm (unter Normaltemperatur) nachgewiesen ist. Fugen sind mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verschließen (z. B. Verspachtelung oder Deckleisten).

Die Anschlüsse von Wänden und Decken mit einer geringeren Feuerwiderstandsfähigkeit als hochfeuerhemmend an Bauteile nach Abschnitt 3.3 müssen so erfolgen, dass die Brandschutzbekleidung dieser Bauteile nicht unterbrochen wird (s. Bilder 4 und 6).

3.4.2 Anschlüsse von Wänden an Wände

Die Anschlüsse sind so auszubilden, dass die jeweiligen Stiele in den *Holztafelwänden* oder die *Massivholzelemente* miteinander verschraubt werden können, ggf. sind zusätzliche Stiele einzubauen. Die Stiele der Wandkonstruktionen sind in Abständen von höchstens 500 mm kraftschlüssig miteinander zu verschrauben (s. Bild 5).

Abweichend von Abschnitt 3.4.1 kann anstelle eines Fugenversatzes der Brandschutzbekleidung in der Fuge ein mindestens 20 mm dicker Streifen aus Dämmstoffen nach Abschnitt 3.1.2 komprimiert eingebaut werden (s. Bild 5).

3.4.3 Anschlüsse von Wänden und Stützen an Decken

Bei Anschlüssen von Wänden an Decken sind die Deckenbalken und die Verblockung mit den umlaufenden Rahmenhölzern der Wände in Abständen von höchstens 500 mm zu verschrauben (s. Bild 1). Dieser Abstand gilt auch für den Anschluss von Decken an vertikal durchlaufende Wände (Spannrichtung der Deckenbalken parallel zum Rahmenholz der Wandkonstruktion) (s. Bild 2). *Für Massivholzdecken gelten diese Ausführungen sinngemäß.* In den vertikalen Fugen zwischen den Wand- und Deckenbauteilen muss ein mindestens 20 mm dicker Streifen aus Dämmstoffen nach Abschnitt 3.1.2 komprimiert eingebaut werden.

3.5 Öffnungen für Türen, Fenster und sonstige Einbauten

Werden in hochfeuerhemmenden Bauteilen Öffnungen für Einbauten wie Fenster, Türen, Verteiler und Lampenkästen hergestellt, ist die Brandschutzbekleidung in den Öffnungsleibungen mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszuführen (s. Bild 7).

Werden an den Verschluss der Öffnungen brandschutztechnische Anforderungen gestellt wie an Feuerschutzabschlüsse, Brandschutzverglasungen, Rohr- oder Kabelabschottungen und Brandschutzklappen, muss ein entsprechender bauaufsichtlicher Verwendbarkeits- bzw. Anwendbarkeitsnachweis vorliegen, der den Einbau dieser Abschlüsse in hochfeuerhemmende Bauteile nach Abschnitt 3.3 regelt.

4 Installationen

4.1 Allgemeines

Installationen (Leitungs- und Lüftungsanlagen) dürfen grundsätzlich nicht in hochfeuerhemmenden Bauteilen geführt werden. Sie sind vor Wänden bzw. unterhalb von Decken (s. Bild 8) oder in Schächten und Kanälen zu führen.

Für Öffnungen in hochfeuerhemmenden Wänden und Decken zur Durchführung von Schächten, Kanälen und von Installationen gilt Abschnitt 3.5 entsprechend.

4.2 Elektrische Leitungen¹

Abweichend von Abschnitt 4.1 Satz 1 dürfen einzelne Leitungen oder einzelne Hüllrohre aus nichtbrennbaren Baustoffen mit bis zu drei Leitungen, die zur Versorgung des angrenzenden Raumes innerhalb derselben Nutzungseinheit dienen, innerhalb von Wänden und Decken geführt werden. *In Verbindung mit der Massivholzbauweise gilt diese Ausnahmeregelung nur für elektrische Leitungen ohne nichtbrennbare Ummantelung, wenn es sich um mindestens schwerentflammable Leitungen handelt.* Bei Durchführung der Leitungen durch die Brandschutzbekleidung sind die verbleibenden Hohlräume in der Brandschutzbekleidung mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verspachteln.

Abweichend von Abschnitt 4.1 Satz 1 dürfen *in Bauteile in Holztafelbauweise* einzelne Hohlwanddosen zum Einbau von Steckdosen, Schaltern und Verteilern

¹ Lichtwellenleiter-Kabel und elektrische Kabel gelten als elektrische Leitungen (vgl. Nr. 2.1 der MLAR 2000).

eingebaut werden, wenn der Abstand zum nächsten Holzständer bzw. zur nächsten Holzrippe mindestens 150 mm beträgt. Gegenüberliegende Hohlwanddosen müssen gefachversetzt eingebaut werden (s. Bild 9). Sie müssen innerhalb des Wandhohlraumes vollständig von Dämmstoffen nach Abschnitt 3.1.2 umhüllt werden, wobei der hohlraumfüllende Dämmstoff im Bereich der Hohlwanddosen auf eine Mindestdicke von 30 mm gestaucht werden darf.

Abweichend von Abschnitt 4.1 Satz 1 dürfen in Bauteile der Massivholzbauweise einzelne Elektrodosen zum Einbau von Steckdosen, Schaltern und Verteilern eingebaut werden, wenn die Brandschutzbekleidung um die Elektrodose herum geführt wird. Dies kann alternativ durch eine nichtbrennbare Spachtelmasse in ausreichender Dicke erfolgen. Gegenüber liegende Elektrodosen sind um mindestens 150 mm versetzt anzuordnen. Die Restdicke des Bauteils muss den Anforderungen an den Raumabschluss E genügen und das Temperaturkriterium I erfüllen.

Die vorstehenden Ausnahmeregelungen gelten für Treppenraumwände nur in Bezug auf Leitungen, die ausschließlich der Versorgung des Treppenraums dienen; sie gelten nicht für hochfeuerhemmende Stützen und Träger nach Abschnitt 3.3.4 und Wände, die anstelle von Brandwänden zulässig sind.

5 Reduzierte Brandschutzbekleidung

5.1 Allgemeines

Die Dicke der Brandschutzbekleidung kann gegenüber den Anforderungen nach Abschnitt 3.2 reduziert werden, wenn das erhöhte Brandrisiko durch zusätzliche Brandschutzmaßnahmen kompensiert wird. Die gleichwertige Brandsicherheit ist in einem ganzheitlichen Brandschutzkonzept darzustellen. Im Folgenden werden gleichwertige Lösungen für Holzbauteile mit einer K₂30 Bekleidung und für unbedeckte Holzbauteile beschrieben.

5.2 Brandschutzbekleidung K₂30

5.2.1 Konstruktive Ausführung

Die Brandschutzbekleidung muss eine Entzündung der tragenden einschließlich der aussteifenden Bauteile aus Holz- oder Holzwerkstoffen während eines Zeitraumes von mindestens 30 Minuten verhindern und als K₂30 nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein.

Die weiteren Anforderungen an die Brandschutzbekleidung nach Abschnitts 3.2 sind zu erfüllen.

Die Anforderungen an die Bauteile entsprechend Abschnitt 3.3, an die Anschlüsse von Stützen, Trägern, Wand- und Deckenbauteilen entsprechend Abschnitt 3.4 sowie an Installationen entsprechend Abschnitt 4 sind zu erfüllen.

5.2.2 Kompensationsmaßnahmen

Zur Kompensation des erhöhten Brandrisikos ist eine „Brandmeldeanlage“ zu installieren, die folgenden Anforderungen genügt:

- *Anordnung von vernetzten Rauchwarnmeldern nach DIN 14676 in allen Zimmern und den Rettungswegen,*

- *Energieversorgung über das öffentliche Stromnetz und über eine Batterie als Zusatzversorgung,*
- *Bei Meldung Auslösung eines Tonsignals zunächst innerhalb der betroffenen Nutzungseinheit und anschließend im Gesamtgebäude,*
- *Installation der vernetzten Rauchwarnmelder durch eine Elektrofachkraft,*
- *Wartung der vernetzten Rauchwarnmelder gemäß DIN 14676 mindestens einmal pro Jahr durch eine Elektrofachkraft.*

5.3 Unbekleidete Holzbauteile

5.3.1 Konstruktive Ausführung

Holzbauteile dürfen nur in Verbindung mit der Holzmassivbauweise unbekleidet ausgeführt werden und nur, wenn das erhöhte Brandrisiko durch die nachfolgend beschriebenen besonderen Brandschutzmaßnahmen kompensiert wird.

Die Elementfugen müssen hohlraumfrei ausgeführt werden. Eine doppelte Nut-Feder-Verbindung ist zu bevorzugen. Werden Fugen mit Hohlraum ausgeführt ist dieser Hohlraum mit nichtbrennbaren Baustoffen vollständig und rauchdicht auszufüllen.

Die Rauchdichtigkeit der Bauteile (einschließlich Elementfugen) ist durch die Anordnung einer beidseitigen rauchdichten Bekleidung sicherzustellen. Alternativ kann einseitig eine K₂60-Brandschutzbekleidung angeordnet werden oder es kann ein zweischaliger Bauteilaufbau mit einer innenliegenden Rauchdichtigkeitsebene ausgeführt werden, sofern diese ihre Funktionsfähigkeit über eine Branddauer von 60 Minuten behält.

Die Bauteilanschlüsse sind entsprechend den Abschnitten 3.4.2 und 3.4.3 auszuführen. Zusätzlich ist zur Sicherstellung der Rauchdichtigkeit bei raumabschließenden Bauteilen beidseitig eine dauerelastische Dichtungsfuge auszuführen. Es dürfen keine (Element)-Fugen über raumabschließende Bauteile hinweg geführt werden.

Installationen sind außerhalb der Bauteile zu führen. Bei Anordnung einer Installationsebene hinter einer Vorsatzschale bzw. eine Unterdecke ist die Bauteiloberfläche der Massivholzelemente als Rückseite der Installationsebene durch eine nichtbrennbare Bekleidung mindestens der Qualität K₂10 zu bekleiden.

Elektrische Leitungen dürfen als Einzelleitung oder gebündelt zu maximal drei Leitungen auch innerhalb der Massivholzelemente geführt werden. Dabei müssen die Leitungen allseitig ohne Hohlraum durch nichtbrennbare Baustoffe umgeben sein. Dies ist sichergestellt, wenn in den Grund des Installationsschlitzes ein Gipsplattenstreifen eingelegt, anschließend die Leitung montiert und der restliche Hohlraum durch eine nichtbrennbare Spachtelmasse verschlossen wird. Bei der Durchführung von Leitungen durch ein Massivholzelement ist eine nichtbrennbare Ummantelung nicht erforderlich, wenn es sich um ein mindestens schwerentflammbares Kabel handelt, das hohlraumfrei geführt wird.

Beim Einbau von Hohlwanddosen ist darauf zu achten, dass diese bei gegenüberliegender Anordnung um mindestens 150 mm versetzt sind. Die Hohlwanddosen müssen bei unbekleideter Ausführung der Bauteile auf ihrer Rückseite durch eine Gipsplatte vom Massivholzbauteil getrennt sein. Bei Anordnung einer Brandschutzbekleidung muss diese in gleicher Qualität die Hohlraumdose umhüllen. Dies kann durch die Anordnung von Plattenmaterialien oder durch eine ausreichend dimensionierte nichtbrennbare Spachtelmasse sichergestellt werden.

Bei der Verwendung von Massivholzelementen mit planmäßigen Hohlräumen muss durch eine entsprechend dimensionierte massive Außenschicht sichergestellt sein, dass die Hohlräume nicht in das Brandgeschehen mit einbezogen werden. Als

Vorhaltemaß ist die rechnerische Abbrandtiefe nach 60 Minuten Branddauer gemäß DIN 4102-4/A1 zuzüglich eines Sicherheitszuschlags von 2 cm einzuhalten. Der Abbrand kann durch Anordnung einer Bekleidung reduziert werden. Die Hohlräume der Massivholzelemente müssen vollständig mit nichtbrennbaren Baustoffen gefüllt sein, um die Ansammlung von Rauchgasen und einen damit verbundenen verstärkten Fugeneinbrand zu unterbinden.

5.3.2 Kompensationsmaßnahmen

Das erhöhte Brandrisiko aufgrund der brennbaren Holzoberflächen kann eines der nachfolgend beschriebenen Maßnahmenkonzepte kompensiert werden.

Automatische Löschanlage

Bei einer zulässigen Größe der Nutzungseinheiten $< 400 \text{ m}^2$ und einem Anteil unbekleideter Massivholzteile $> 50 \%$ ist eine Sprinkleranlage entsprechend VDS CEA 4001 anzuordnen.

Begrenzung der Grundfläche der Nutzungseinheit auf 100 m^2

Wenn die Grundfläche der Nutzungseinheiten auf maximal 100 m^2 begrenzt wird, dürfen die Oberflächen der massiven Holzbauteile unbekleidet bleiben.

Es ist eine Brandmeldeanlage zu installieren, die mindestens den Anforderungen in Abschnitt 5.2.2 genügt. Türen zwischen einer Nutzungseinheit und einem notwendigen Flur sind mindestens als RS-Türen nach DIN 4102-18² und DIN 18095⁴ auszuführen, Türen zwischen Nutzungseinheiten und einem notwendigen Treppenraum sind als T 30-RS-Türen nach DIN 4102-5⁴; DIN 4102-18⁴ und DIN 18095⁴ auszuführen.

Bei Vorhandensein eines unabhängigen zweiten baulichen Rettungsweges können die Türen zwischen Nutzungseinheit und notwendigem Flur als dichtschießende Türen zwischen Nutzungseinheit und Treppenraum als mindestens dicht- und selbstschießende Türen nach DIN 4102-5⁴ und DIN 4102-18⁴ ausgeführt werden.

Begrenzung der Grundfläche der Nutzungseinheit auf 200 m^2

Wenn die Grundfläche der Nutzungseinheiten auf maximal 200 m^2 begrenzt wird, dürfen maximal 50% der Oberflächen massiver Holzbauteile unbekleidet bleiben.

Die Anforderungen an die Brandmeldeanlage und an die Türen zwischen Nutzungseinheiten und notwendigen Fluren oder Treppenräumen entsprechen denen bei Begrenzung der Nutzungseinheit 100 m^2 Grundfläche.

6 Verwendung brennbarer Dämmstoffe und nichtbrennbarer Dämmstoffe mit einem Schmelzpunkt $< 1000 \text{ °C}$

6.1 Thermische Grenztemperatur

Abweichend von den Materialanforderungen des Abschnitts 3.1.2 dürfen brennbare Dämmstoffe und nichtbrennbare Dämmstoffe mit einem Schmelzpunkt $< 1000 \text{ °C}$ eingesetzt werden, wenn ihre thermische Grenztemperatur im Brandfall während der vorgegebenen Branddauer nicht überschritten wird.

Die thermische Grenztemperatur eines Dämmstoffes ist diejenige Temperatur, bis zu der im Einbauzustand weder eine thermische Schädigung noch eine bedenkliche Rauchfreisetzung auftritt.

² Alternativ europäische Normen

⁴ alternativ europäische Normen

Die thermische Grenztemperatur kann mit dem in Anhang 2 beschriebenen Prüfaufbau im Cone-Kalorimeter nach ISO 5660 bestimmt werden. Die Rauchfreisetzung wird mit dem „Prüfverfahren für die Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen“ in Anlehnung an DIN 4102-1, Anhang A bei reduzierter Temperaturbeanspruchung ermittelt.

6.2 Ausführung der Brandschutzbekleidung

Die Brandschutzbekleidung ist entsprechend den Anforderungen des Abschnitts 3.2 herzustellen.

Zur Bestimmung des thermischen Schutzes der Brandschutzbekleidung dürfen die Ergebnisse der Prüfung nach DIN 14135 verwendet werden, wenn die Fugen in der unteren Lage der Brandschutzbekleidung auf einem Ständer ausgeführt werden. Wenn freie Stöße erforderlich sind, muss die Unbedenklichkeit gesondert durch Brandversuche in Anlehnung an DIN EN 14135 nachgewiesen werden.

Bei Befestigungen mit Schrauben, Klammern oder Nägel auf einem Ständer ist der Nachweis der Unbedenklichkeit bereits durch die Klassifizierung der Brandschutzbekleidung nach DIN EN 14135 erbracht. Wenn die Verbindungsmittel auch im Feld mit direktem Kontakt zum Dämmstoff angeordnet werden, muss die Unbedenklichkeit gesondert durch Brandversuche in Anlehnung an DIN EN 14135 nachgewiesen werden.

Wenn die thermische Grenztemperatur des Dämmstoffes unterhalb der rückseitigen Temperatur der Brandschutzbekleidung liegt kann der erforderliche thermische Schutz durch eine zusätzlich unterhalb der Brandschutzbekleidung angeordnete Holzwerkstoffplatte sichergestellt werden. Erforderliche Stöße der Holzwerkstoffplatte müssen dann auf einem Ständer angeordnet und kraftschlüssig verschraubt werden; der maximale Abstand der Verbindungsmittel darf 8 cm nicht überschreiten. Der Nachweis der Dicke der Holzwerkstoffplatte darf rechnerisch erfolgen. Die temperaturabhängigen Materialkennwerte sind DIN EN 1995-1-2 Anhang B.2 zu entnehmen. Als Temperaturbelastung sind die rückseitigen Temperaturen der Brandschutzbekleidung nach DIN EN 14135 anzusetzen.

Auch bei einer Reduzierung der Brandschutzbekleidung auf K₂30 entsprechend Abschnitt 5.2 muss während eines Zeitraumes von mindestens 60 Minuten verhindert werden, dass die thermische Grenztemperatur der Dämmstoffe nicht überschritten wird.

6.3 Installationen

Die Anforderungen des Abschnitts 4.1 sind einzuhalten. Die Ausnahmeregelungen für elektrische Leitungen entsprechend Abschnitt 4.2 gelten nicht bei der Verwendung brennbarer Dämmstoffe und nichtbrennbarer Dämmstoffe mit einem Schmelzpunkt < 1000 °C.

7 Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweis

7.1 Verwendbarkeitsnachweis

Für die Bauteile nach dieser Richtlinie ist nach Maßgabe der Bauregelliste A Teil 2 als bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis (§ 17 Abs. 3 MBO) ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis erforderlich, das sich auf die Brandschutzbekleidung, die Feuerwiderstandsfähigkeit einschließlich der Elementfugen, die Dämmstoffe und auf die brandschutztechnischen Anforderungen dieser Richtlinie bezieht.

7.2 Übereinstimmungsnachweis

Für die Herstellung der Bauteile nach dieser Richtlinie ist als Übereinstimmungsnachweis ein Übereinstimmungszertifikat (§ 24 MBO) erforderlich.

8 Bauausführung

Bauarbeiten nach dieser Richtlinie dürfen nur durch Unternehmen ausgeführt werden, die für diese Arbeiten geeignet sind (§ 55 MBO).

Die Bauaufsichtsbehörde/ der Prüfsachverständige/Prüfingenieur³ für Standsicherheit hat im Rahmen der Überwachung der Bauausführung nach § 81 Abs. 2 Satz 1 Nr. 1 MBO zusätzlich die ordnungsgemäße Bauausführung nach dieser Richtlinie zu überwachen und zu bescheinigen.

Anhang 1

Prinzipdarstellungen Bilder

Anhang 2

Bestimmung der thermischen Grenztemperatur im Cone-Kalorimeter

Die Bestimmung der thermischen Grenztemperatur von Dämmstoffen erfolgt im Cone-Kalorimeter nach ISO 5660. Ein oben offener Kasten aus nichtbrennbaren Dämmplatten mit den Innenmaßen 100 x 100 mm² und einer Höhe von 50 mm wird vollständig mit dem zu untersuchenden Dämmstoff in dessen Anwendungsdichte gefüllt und anschließend mit einer 18 mm dicken Gipskarton-Feuerschutzplatte gemäß DIN 18180 abgedeckt. Mittig auf der Unterseite der Gipskartonplatte wird ein Thermoelement angeordnet, um die Temperaturentwicklung zu messen. Anschließend wird der Probenkasten mit einer homogenen Wärmestromdichte von 20 kW/m² durch den elektrisch beheizten Strahler des Cone-Kalorimeters solange erwärmt, bis auf der Rückseite der Gipskartonplatte eine zuvor festgesetzte Temperatur von 150 °C, 175 °C, 200 °C, 225 °C oder 250 °C gemessen wird. Nach Erreichen der Temperatur wird der Versuch sofort beendet, der Probekörper aus dem Cone-Kalorimeter entfernt und die Gipskartonplatte abgenommen.

Anhand der Verfärbung der Dämmstoffoberfläche wird festgestellt, ob bereits eine thermische Zersetzung des Materials vorliegt. Die thermische Grenztemperatur ist diejenige Temperatur bei der noch keine Verfärbung auftritt. Für diese Temperatur ist der Versuch insgesamt dreimal mit gleichem Ergebnis durchzuführen.

³ Nach Landesrecht

VERZEICHNIS DER BISHER IN DER SCHRIFTENREIHE DES IBMB ERSCHIENENEN HEFTE (ISSN 1439-3875)

In der Schriftenreihe "Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig - ISSN 0178-5796 (Heft 1 bis 16 als "Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig", Heft 17 bis 39 als "Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig") sind bisher die nachfolgend aufgeführten Hefte erschienen.

Sie können bezogen werden von:

Institut für Baustoffe,
Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Bibliothek
Beethovenstraße 52
38106 Braunschweig

Tel. (05 31) 3 91-54 54
Fax (05 31) 3 91-5900
E-Mail o.dienelt@tu-bs.de

oder über jede Buchhandlung.

Kosten:

Je nach Umfang zwischen € 7 und € 30
(zuzüglich Versandkosten)

Das aktuelle Verzeichnis unter:
www.ibmb.tu-bs.de (→ Bibliothek)

Vergriffene Hefte können als Kopien gegen
Erstattung der Kopierkosten bezogen werden.

Heft 1:

Deters, R.: Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öligler Holzschutzmittel. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1962; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1962

Heft 2:

Kordina, K.: Das Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter Feuerangriff. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1963; Sonderdruck aus: Beton 13(1962), S. 11-18, 81-84

Heft 3:

Eibl, J.: Zur Stabilitätsfrage des Zweigelenkbogens mit biegeweichem Zugband und schlaffen Hängestangen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1963; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1963

Heft 4:

Kordina, K.; Eibl, J.: Ein Verfahren zur Bestimmung des Vorspannverlustes infolge Schlupf in der Verankerung. Zur Frage der Temperaturbeanspruchung von kreiszylindrischen Stahlbetonsilos. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1964; Sonderdruck aus: Beton- und Stahlbetonbau 58(1963), S. 265-268; 59(1964), S. 1-11

Heft 5:

Ertingshausen, H.: Über den Schalungsdruck von Frischbeton. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1965; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Hannover, 1965

Heft 6:

Waubke, N.V.: Transportphänomene in Betonporen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1966; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 7:

Ehm, H.: Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

Heft 8:

Steinert, J.: Möglichkeiten der Bestimmung der kritischen Last von Stab- und Flächen-tragwerken mit Hilfe ihrer Eigenfrequenz. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

Heft 9:

Lämmke, A.: Untersuchungen an dämm-schichtbildenden Feuerschutzmitteln. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

Heft 10:

Rafla, K.: Beitrag zur Frage der Kippstabilität aufgehängter Träger. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 11:

Ivanyi, G.: Die Traglast von offenen, kreisförmigen Stahlbetonquerschnitten: Brazier-Effekt. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 12:

Meyer-Ottens, C.: Brandverhalten verschiedener Bauplatten aus Baustoffen der Klassen A und B. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1969

Heft 13:

Fuchs, G.: Zum Tragverhalten von kreisförmigen Doppelsilos unter Berücksichtigung der Eigensteifigkeit des Füllgutes. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 14:

Meyer-Ottens, C.: Wände aus Holz und Holzwerkstoffen unter Feuerangriff. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Sonderdruck aus: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, H.56(1969)

Heft 15:

Lewandowski, R.: Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten anhand von Betongütekübeln und -bohrproben. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1970

Heft 16:

Neubauer, F.-J.: Untersuchungen zur Frage der Rissesicherung von leichten Trennwänden aus Gips-Wandbauplatten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1969

Heft 17:

Meyer-Ottens, C.; Kordina, K.: Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton: aufgestellt für den Fachverband Gasbetonindustrie. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1970

Heft 17:

Meyer-Ottens, C.; Kordina, K.: Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton. Erw. Neuaufl. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974

Heft 18:

Bödeker, W.: Die Stahlblech-Holz-Nagelverbindung und ihre Anwendung: Grundlagen und Bemessungsvorschläge. Braunschweig. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1971; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1971, ISBN 3-89288-057-3

Heft 19:

Meyer-Ottens, C.: Bauaufsichtliche Brandschutzvorschriften: Beispiele für ihre Erfüllung bei Wänden, Brandwänden und Decken. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1971

Heft 20:

Liermann, K.: Das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbrückenpfeilern mit Rollenlagern. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972, ISBN 3-89288-056-5

Heft 22:

Nürnberg, U.: Zur Frage des Spannungsrißkorrosionsverhaltens kohlenstoffarmer Betonstähle in Nitratlösungen unter Berücksichtigung praxisnaher Verhältnisse. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972, ISBN 3-89288-054-9

Heft 23:

Meyer-Ottens, C.: Zur Frage der Abplatzungen an Betonbauteilen aus Normalbeton bei Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972

Heft 24:

El-Arousy, T.H.: Über die Steinkohlenflugasche und ihre Wirkung auf die Eigenschaften von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge im frischen und festen Zustand. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973, ISBN 3-89288-053-0

Heft 25:

Rieche, G.: Mechanismen der Spannungs-korrosion von Spannstählen im Hinblick auf ihr Verhalten in Spannbetonkonstruktionen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973, ISBN 3-89288-052-2

Heft 26:

Tennstedt, E.: Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangsschnittgrößen unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens des Stahlbetons. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-051-4

Heft 27:

Schneider, U.: Zur Kinetik festigkeitsmindernder Reaktionen in Normalbetonen bei hohen Temperaturen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973

Heft 28:

Neisecke, J.: Ein dreiparametriges, komplexes Ultraschall-Prüfverfahren für die zerstörungsfreie Materialprüfung im Bauwesen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-050-6

Heft 29:

Kordina, K.; Maack, P.; Hjorth, O.: Traglastermittlung an Stahlbeton-Druckgliedern. Schlußbericht (AIF-Nr. 956). Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-048-4

Heft 30:

Eibl, J.; Ivanyi, G.: Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit von Randbalken bei Stahlbetondecken. Schlußbericht, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974

Heft 31:

Kordina, K.; Janko, B.: Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau. Schlußbericht (AIF-Nr. 1388), Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-049-2

Heft 32:

Hjorth, O.: Ein Beitrag zur Frage der Festigkeiten und des Verbundverhaltens von Stahl und Beton bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1976; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1975

Heft 33:

Klingsch, W.: Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbetondruckglieder mittels zwei- und dreidimensionaler Diskretisierung. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1976; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1976

Heft 34:

Djamous, F.: Thermische Zerstörung natürlicher Zuschlagstoffe im Beton. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977

Heft 35:

Haksever, A.: Zur Frage des Trag- und Verformungsverhaltens ebener Stahlbetonrahmen im Brandfall. Braunschweig. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977

Heft 36:

Storkebaum, K.-H.: Ein Beitrag zur Traglastermittlung von vierseitig gelagerten Stahlbetonwänden. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977, ISBN 3-89288-045-X

Heft 37:

Bechtold, R.: Zur thermischen Beanspruchung von Außenstützen im Brandfall. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977, ISBN 3-89288-046-8

Heft 38:

Steinert, J.: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Unveränderter Nachdruck der Erstveröffentlichung Bad Honnef, Osang, 1977 (Zivilschutzforschung, Bd. 7)

Heft 39:

Weiß, R.: Ein haufwerkstheoretisches Modell der Restfestigkeit geschädigter Betone. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1978; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1978, ISBN 3-89288-047-6

Heft 40:

Alda, W.: Zum Schwingkriechen von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1978; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1978, ISBN 3-89288-035-2

Heft 41:

Deutsch, M.: Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken mit rechteckigem Querschnitt unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-036-0

Heft 42:

Schneider, U.: Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1979

Heft 43:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Veröffentlichungen 1967 bis 1979. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-037-9

Heft 44:

Kordina, K.; Fröning, H.: Druckmessungen in Silozellen mit einer neu entwickelten Sonde. Abschlußbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-038-7

Heft 45:

Henke, V.: Ein Beitrag zur Zuverlässigkeit frei gelagerter Stahlbetonstützen unter genormter Brandeinwirkung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1980; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1980

Heft 46:

Schneider, U.; Haksever, A.: Wärmebilanzrechnungen für Brandräume mit unterschiedlichen Randbedingungen (Teil 1). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1980

Heft 47:

Walter, R.: Partiiell brandbeanspruchte Stahlbetondecken: Berechnung des inneren Zwanges mit einem Scheibenmodell. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-039-5

Heft 48:

Svensvik, B.: Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Ein-schluß der Mitwirkung des Betons auf Zug in Abhängigkeit von Last und Zeit. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981; Zugl.: Dissertation, Technische Uni-versität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-040-9

Heft 49:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Veröffentlichungen 1967 bis 1981. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-041-7

Heft 50:

Ojha, S.K.: Die Steifigkeit und das Verfor-mungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter kombinierter Be-anspruchung aus Torsion, Biegemoment, Querkraft und Axialkraft. Institut für Bau-stoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-042-5

Heft 51:

Henke, V.: Zusammenstellung und Anwen-dung Bayes'scher Verfahren bei der Stich-probenbeurteilung. Projekt D1 des SFB 148. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-043-3

Heft 52:

Haksever, A.: Stahlbetonstützen mit Rech-teckquerschnitten bei natürlichen Bränden. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Habil.-Schr., Technische Universität Istanbul, 1982, ISBN 3-89288-044-1

Heft 53:

Weber, V.: Untersuchung des Reiß- und Ver-formungsverhaltens segmentärer Spann-betonbauteile. Braunschweig. Institut für Bau-stoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Dissertation, Technische Uni-versität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-017-4

Heft 54:

Ranisch, E.-H.: Zur Tragfähigkeit von Ver-klebungen zwischen Baustahl und Beton: geklebte Bewehrung. Unveränderter Nach-druck der Ausgabe 1982. Institut für Bau-stoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Uni-versität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-010-7

Heft 55:

Wiedemann, G.: Zum Einfluß tiefer Tempe-raturen auf Festigkeit und Verformung von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universi-tät Braunschweig, 1982; Zugl.: Disserta-tion, Technische Universität Braunschweig, 1982

Heft 56:

Timm, R.: Ein geometrisch und physika-lisch nichtlineares Rechenmodell zur opti-malen Biegebemessung ebener Stahlbeton-rahmen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universi-tät Braunschweig, 1982; Zugl.: Disserta-tion, Technische Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-018-2

Heft 57:

Diederichs, U.: Untersuchungen über den Verbund zwischen Stahl und Beton bei hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-019-0

Heft 58:

Schneider, U.: Wärmebilanzrechnungen in Verbindung mit Versuchen in Brandräumen (Teil 2). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-020-4

Heft 59:

Dobbernack, R.: Wärmebilanzrechnungen in Brandräumen unter Berücksichtigung der Mehrzonenmodellbildung (Teil 3). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-021-2

Heft 60:

Hillger, W.: Verbesserungen und Erweiterungen von Ultraschallprüfverfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellen- und Qualitätskontrolle von Betonbauteilen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-014-X

Heft 61:

Blume, F.: Zur Wirklichkeitsnähe der Lastannahmen in Silovorschriften für Zellen aus Stahlbeton und Spannbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-013-1

Heft 62:

Nölting, D.: Das Durchstanzen von Platten aus Stahlbeton : Tragverhalten, Berechnung, Bemessung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-012-3

Heft 63:

Wesche, J.: Brandverhalten von Stahlbetonplatten im baupraktischen Einbauzustand. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-009-3

Heft 64:

Droese, S.: Untersuchungen zur Technologie des Gleitschalungsbaus. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-000-X

Heft 65:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Forschungsarbeiten 1978 - 1983. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-001-8

Heft 66:

Hegger, J.: Einfluß der Verbundart auf die Grenztragfähigkeit von Spannbetonbalken. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-002-6

Heft 67:

Kepp, B.: Zum Tragverhalten von Verankerungen für hochfeste Stäbe aus Glasfaserverbundwerkstoff als Bewehrung im Spannbetonbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-003-4

Heft 68:

Sager, H.: Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Verbundverhalten von einbetonierten Bewehrungsstäben. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-004-2

Heft 69:

Haß, R.: Zur praxisgerechten brandschutztechnischen Beurteilung von Stützen aus Stahl und Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-005-0

Heft 70:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: 17. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, März 1986, Kurzfassungen der Beiträge. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-006-9

Heft 71:

Ehm, C.: Versuche zur Festigkeit und Verformung von Beton unter zweiaxialer Beanspruchung und hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-007-7

Heft 72:

Hartwich, K.: Zum Riß- und Verformungsverhalten von Stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-008-5

Heft 73:

Scheuermann, J.: Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Verbund und Rißbildung von Stahlbetonbauteilen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-011-5

Heft 74:

Hinrichsmeyer, K.: Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-015-8

Heft 75:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Fachseminar Neue Bemessungsregeln durch Änderung der Stahlbeton- und Spannbetonvorschriften DIN 1045, DIN 4227, Juni 1986, Kurzfassungen der Beiträge. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-022-0

Heft 76:

Budelmann, H.: Zum Einfluß erhöhter Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-016-6

Heft 77:

Großmann, F.: Spannungen und bruchmechanische Vorgänge im Normbeton unter Zugbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-023-9

Heft 78:

Rohling, A.: Zum Einfluß des Verbundkriechens auf die Rißbreitenentwicklung sowie auf die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-024-7

Heft 79:

Henning, W.: Zwangrißbildung und Bewehrung von Stahlbetonwänden auf steifen Unterbauten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-025-5

Heft 80:

Richter, E.: Zur Berechnung der Biegetragfähigkeit brandbeanspruchter Spann-betonbauteile unter Berücksichtigung geeigneter Vereinfachungen für die Materialgesetze. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-026-3

Heft 81:

Kiel, M.: Nichtlineare Berechnung ebener Stahlbetonflächentragwerke unter Einschluß von Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-027-1

Heft 82:

Konietzko, A.: Polymerspezifische Auswirkungen auf das Tragverhalten modifizierter zementgebundener Betone (PCC). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-028-X

Heft 83:

Grzeschkowitz, R.: Zum Trag- und Verformungsverhalten schlanker Stahlbetonstützen unter besonderer Berücksichtigung der schiefen Biegung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-030-1

Heft 84:

Wiese, J.: Zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonplatten unter partieller Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-031-X

Heft 85:

Rudolph, K.: Traglastberechnung zweiachsig biegebeanspruchter Stahlbetonstützen unter Brandeinwirkung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-032-8

Heft 86:

Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.; Noack, I.: Einfluß der Eigenbrandlast auf das Brandverhalten von Bauteilen aus brennbaren Baustoffen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989, in Vorbereitung, ISBN 3-89288-058-1

Heft 87:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Forschungsarbeiten 1984 - 1989. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989, ISBN 3-89288-034-4

Heft 88:

Grossert, E.: Untersuchungen zum Tragverhalten von Massivbrücken mit zweizelligem Kastenquerschnitt. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1989, ISBN 3-89288-059-X

Heft 89:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Weiterbildungsseminar "Bauen in Europa", 15.-16. November 1990 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-063-8

Heft 90:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.; Voß, K.-U.: Vorspannung im Hochbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1991, ISBN 3-89288-064-6

Heft 91:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachtagung Spannbeton im Hoch- und Industriebau, Kurzreferate, 1991, ISBN 3-89288-065-4

Heft 92:

Heins, T.: Simulationsmodell zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Rauchausbreitung in ausgedehnten Räumen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1991; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, ISBN 3-89288-066-2

Heft 93:

Hagen, E.: Zur Prognose des Gefährdungspotentials von Raumbränden. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1992; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1991, ISBN 3-89288-072-7

Heft 94:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Instandsetzung und Ertüchtigung von Massivbauten", 14.-15. November 1991 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-068-9

Heft 95:

Qualitätssicherung im Bauwesen, VMPA-Tagung 1992, 25.-26.06.1992, Tagungsbericht, ISBN 3-89288-071-9

Heft 96:

Weiterbildungsseminar "Brandschutz im Industriebau", 30.09.1992 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-070-0

Heft 97:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Neue Technologien im Bauwesen", 12.-13.11.1992 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-073-5

Heft 98:

Gunkler, E.: Verstärkung biegebeanspruchter Mauerwerkswände durch bewehrte Ergänzungsschichten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1992, ISBN 3-89288-074-3

Heft 99:

Dorn, T.: Zur Berechnung des Tragverhaltens brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung der Träger-Stützen-Anschlüsse. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1992, ISBN 3-89288-075-1

Heft 100:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Stahlfaserbeton", 04.03.1993 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-076-X

Heft 101:

Falkner, H.; Teutsch, M.: Vergleichende Untersuchungen an unbewehrten und stahlfaserbewehrten Industriefußböden. Forschungsbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-077-8

Heft 102:

Falkner, H.; Teutsch, M.: Comparative studies of plain and steel fiber reinforced concrete industrial ground slabs. Forschungsbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-078-6

Heft 103:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1993: Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis. 06.-07.10.1993, Kurzreferate, ISBN 3-89288-079-4

Heft 104:

Thienel, K.-C.: Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-080-8

Heft 105:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Braunschweiger Bauseminar 1993 "Dauerhafte Bauwerke aus Faserbeton", 11.-12.11.1993 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-081-6

Heft 106:

Neuentwicklungen im baulichen Brandschutz. Dr. Meyer-Ottens 60 Jahre; Fachseminar 18.03.1994 in Braunschweig, ISBN 3-89288-085-9

Heft 107:

Bunte, D.: Zum karbonatisierungsbedingten Verlust der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-086-7

Heft 108:

Holzenkämpfer, P.: Ingenieurmodell des Verbundes geklebter Bewehrung für Betonbauteile. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-087-5

Heft 109:

Forschungsarbeiten 1990 - 1994. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-088-3

Heft 110:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Rohde, S.: Untersuchung der Schubtragfähigkeit und der Wasserundurchlässigkeit von Arbeitsfugen unter Verwendung von Stremaform-Ab-schalelementen.
Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.: Schubtragfähigkeit des Vergußbetons zwischen Köcher-, Block oder Hülsenfundamenten und Stützenfuß bei unterschiedlich profilierten Betonoberflächen.
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-089-1

Heft 111:

Voß, K.-U.: Zum Trag- und Verformungsverhalten bei Schwellbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-090-5

Heft 112:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 05./06.10.1994 in Braunschweig; Kurzreferate, 1994, ISBN 3-89288-092-1

Heft 113:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Aus der Forschung in die Praxis: 10./11.11.1994; Braunschweiger Bauseminar 1994, ISBN 3-89288-091-3

Heft 114:

Warnecke, P.: Tragverhalten und Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk, 1995

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-094-8

Heft 115:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1995: 6. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 04.-05.10.1995, Kurzreferate, ISBN 3-89288-093-X

Heft 116:

Huang, Z.: Grenzbeanspruchung gebetteter Stahlfaserbetonplatten, 1995

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-095-6

Heft 117:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Huang, Z.: Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-096-4

Heft 118:

Kubat, B.: Durchstanzverhalten von vorgespannten, punktförmig gestützten Platten aus Stahlfaserbeton, 1995

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-097-2

Heft 119:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Dichte Bauwerke: 09./10.11.1995; Braunschweiger Bauseminar 1995, ISBN 3-89288-091-3

Heft 120:

Steinert, C.: Bestimmung der Wärmeübergangsbedingungen auf Bauteile im Brandfall, Abschlußbericht, 1995, ISBN 3-89288-099-9

Heft 121:

Schütte, J.; Teutsch, M.; Falkner, H.: Fugenlose Betonbodenplatten, Forschungsbericht, 1996, ISBN 3-89288-100-6

Heft 122:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 24./25.09.1996 in Braunschweig, Kurzreferate, 1996, ISBN 3-89288-101-4

Heft 123:

Droese, S.; Riese, A.: Belastungsversuche an zwei Durchlauf-Plattenstreifen aus Elementplatten mit Aufbeton aus Stahlfaserbeton, 1996, ISBN 3-89288-102-4

Heft 124:

Hankers, C.: Zum Verbundtragverhalten laschenverstärkter Betonbauteile unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung, 1996
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1996, ISBN 3-89288-103-0

Heft 125:

Schmidt-Döhl, F.: Ein Modell zur Berechnung von kombinierten chemischen Reaktions- und Transportprozessen und seine Anwendung auf die Korrosion mineralischer Baustoffe, 1996

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1996, ISBN 3-89288-104-9

Heft 126:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Ingenieurbauwerke mit neuen Konzepten: 14./15.11.1996, Braunschweiger Bauseminar 1996, ISBN 3-89288-105-7

Heft 127:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1990 - 1993, 1996, ISBN 3-89288-106-5

Heft 128:

Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy: Baustoffe in Praxis, Lehre und Forschung, 1997, ISBN 3-89288-107-3

Heft 129:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1994, 1997, ISBN 3-89288-108-1

Heft 130:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1995, 1997, ISBN 3-89288-109-X

Heft 131:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Klinkert H.: Trag- und Verformungsverhalten dynamisch beanspruchter Fahrbahnen aus Beton- und Stahlfaserbeton, Forschungsbericht, 1997, ISBN 3-89288-110-3

Heft 132:

Schütte, J.: Einfluß der Lagerungsbedingungen auf Zwang in Betonbodenplatten, 1997

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1997, ISBN 3-89288-111-1

Heft 133:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1997: 7. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 01.-02.10.1997, Kurzreferate, ISBN 3-89288-112-X

Heft 134:

Ameler, J.: Betonverhalten bei hohen Temperaturen und triaxialer Beanspruchung - FE-Modell auf der Basis der Betonstruktur, 1997

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1997, ISBN 3-89288-113-8

Heft 135:

Tagung Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk: 06./07.11.1997 in Braunschweig, ISBN 3-89288-114-6

Heft 136:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Innovatives Bauen: 13./14.11.1997, Braunschweiger Bauseminar 1997, ISBN 3-89288-115-4

Heft 137:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1996 - 1997. 1998.

ISBN 3-89288-116-2

Heft 138:

Scheibe, M.: Vorhersage des Zeitstandverhaltens unidirektionaler Aramidfaserverbundstäbe in alkalischer Umgebung. 1998.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 1998. ISBN 3-89288-117-0

Heft 139:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 29./30.9.1998 in Braunschweig ; Kurzreferate. 1998.

ISBN 3-89288-118-9

Heft 140:

Gutsch, A.: Stoffeigenschaften jungen Betons - Versuche und Modelle. 1998. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.

ISBN 3-89288-119-7

Heft 141:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.] Beton auf neuen Wegen : 12.-13.11.1998 ; Braunschweiger Bauseminar 1998.

ISBN 3-89288-120-0

Heft 142:

Betonbau - Forschung, Entwicklung und Anwendung : Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing Horst Falkner am 20.4.1999. 1999.
ISBN 3-89288-121-9

Heft 143:

Teutsch, M ; Klinkert, H.
Leistungsklassen von Stahlfaserbeton.
1999.
ISBN 3-89288-122-7

Heft 144:

Forschungsarbeiten 1995 - 1999. 1999.
ISBN 3-89288-123-5

Heft 145:

Braunschweiger Brandschutztage 1999: 8. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis ; 4.-5. Oktober 1999 in Braunschweig., Kurzreferate. 1999.
ISBN 3-89288-124-3

Heft 146:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]
Bauen im nächsten Jahrtausend : 11.11.-12.11.1999 ; Braunschweiger Bauseminar 1999.
ISBN 3-89288-125-1

Heft 147:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 28./29.3.2000 in Braunschweig; Kurzreferate, 2000.
ISBN 3-89288-126-X

Heft 148:

Hariri, K.: Bruchmechanisches Verhalten jungen Betons - Laser-Speckle-Interferometrie und Modellierung der Rißprozeßzone. 2000.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.
ISBN 3-89288-127-8

Heft 149:

Wigger, H.: Rissbildung in historischem Natursteinmauerwerk : Beobachtung, Versuche und Berechnungsmodelle. 2000.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.
ISBN 3-89288-128-6

Heft 150:

Neubauer, U.: Verbundtragverhalten geklebter Lamellen aus Kohlenstofffaser - Verbundwerkstoff zur Verstärkung von Betonbauteilen. 2000
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.
ISBN 3-89288-129-4.

Heft 151:

Brandschutz in Chemikalienlagern. 2000.
ISBN 3-89288-130-8

Heft 152:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]
Trends und Entwicklungen im Bauwesen : 9.-10.11.2000 ; Braunschweiger Bauseminar 2000.
ISBN 3-89288-131-6

Heft 153:

Rostásy, F.S. ; Budelmann, H. [Hrsg.]
Rissbeherrschung massiger Betonbauteile : Bauwerk, Werkstoff, Simulation ; Braunschweig, 20.3.2001.
ISBN 3-89288-132-4

Heft 154:

Krauß, M. ; Hariri, K. ; Rostásy, F.S.
Hydratationsgrad, Ultraschall-Technik zur Beschreibung der Erhärtung, bruchmechanisches Verhalten jungen Betons : Berichte ; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.
ISBN 3-89288-135-9.

Heft 155:

Gutsch, A. ; Rostásy, F.S.
Spannungs-Dehnungslinie, viskoelastisches Verhalten und autogenes Schwinden jungen Betons : Berichte ; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.
ISBN 3-89288-136-7

Heft 156:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.
Spannungsberechnung und Risskriterien für
jungen Beton – Methoden des iBMB : Be-
richt ; Forschungsprojekt der EU (Brite
Euram BE96-3843), IPACS. 2001.
ISBN 3-89288-137-5

Heft 157:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.
Früher Zwang in massigen Sohlplatten :
Bericht ; Forschungsprojekt der EU (Brite
Euram BE96-3843), IPACS. 2001.
ISBN 4-89288-138-3

Heft 158:

Braunschweiger Brandschutztage 2001: 9.
Fachseminar Brandschutz - Forschung und
Praxis ; 1.-2. Oktober 2001 in Braun-
schweig., Kurzreferate. 2001.
ISBN 3-89288-139-1

Heft 159:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]
Bauen im Wandel der Zeit : 8.-9.11.2001 ;
Braunschweiger Bauseminar 2001. 2001.
ISBN 3-89288-140-5.

Heft 160:

Beiträge zum 40. Forschungskolloquium
des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton :
11.-12.10.2001 in Braunschweig. 2001.
ISBN 3-89288-141-3

Heft 161:

Dora, B.: Hydraulisch erhärtende Baustoffe
aus Betonbrechsand – Phasenveränderun-
gen durch Temperaturbehandlung und
Einsatzmöglichkeiten.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2001.
ISBN 3-89288-142-1.

Heft 162:

RO 70 : 50 Jahre Forschung und 25 Disser-
tationen ; Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. zum
70 Geburtstag gewidmet. 2002.
ISBN 3-89288-143-X.

Heft 163:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbau-
ten : 1. und 2. Oktober 2002 in Braun-
schweig ; Kurzreferate.
2002.
ISBN 3-89288-144-8

Heft 164:

Stahlfaserbeton : Ein unberechenbares Ma-
terial? ; 14.-15. November - Braunschwei-
ger Bauseminar 2002.
ISBN 3-89288-145-6

Heft 165:

Niemann, P.
Gebrauchsverhalten von Bodenplatten aus
Beton unter Einwirkungen infolge Last und
Zwang. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.,
2002.
ISBN 3-89288-146-4

Heft 166:

Budelmann ; H. ; Falkner, H. [Hrsg.]
Bauen im Bestand : 25. März 2003.
ISBN 3-89288-147-2

H. 167:

Blume, G.W.: Ingenieurmodell zur brand-
schutztechnischen Bemessung von Bautei-
len auf der Basis von experimentell ermit-
telten Verbrennungseffektivitäten. 2003.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2002.
ISBN 3-89288-148-0

H. 168:

Braunschweiger Brandschutztage 2003: 10.
Fachseminar Brandschutz - Forschung und
Praxis ; 30.9. - 1.10.2003 in Braunschweig.,
Kurzreferate. 2003.
ISBN 3-89288-149-9

H. 169:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]
Bauforschung und -praxis in schwierigen
Zeiten : 13. und 14. November ; Braun-
schweiger Bauseminar 2003.
ISBN 3-89288-150-2

H 170:

Hemmy, O.: Zum Gebrauchs- und Tragverhalten von Tunnelschalen aus Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärktem Stahlbeton.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003.

ISBN 3-89288-151-0

H. 171:

Dehne, M.: Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung. 2003.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003.

ISBN 3-89288-153-7

H. 172:

Paliga, K.: Entstehung und Vermeidung von Betonabplatzungen bei Tunnelbränden. 2003.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003.

ISBN 3-89288-154-5

Heft 173:

Festschrift zum 60 Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hossler : Brandschutz und mehr... 2003.

ISBN 3-89288-152-9

Heft 174:

Timm, M.: Verbundwirkung des Betons im Bereich von STREMAFORM - Abschalenelementen : Untersuchungsbericht ; Okt. 2000. 2004.

ISBN 3-89288-156-1

Heft 175:

Zehfuß, J.: Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-155-3

Heft 176:

Nause, P.: Berechnungsgrundlagen für das Brandverhalten von Druckgliedern aus hochfestem Beton. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-157-X

Nicht in der Schriftenreihe erschienen.

Heft 177:

Budelmann ; H. ; Falkner, H. [Hrsg.]

Bauen im Bestand : 23. März 2004.

ISBN 3-89288-158-8

H. 178:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 29. – 30.9.2004 in Braunschweig ; Kurzreferate. 2004.

ISBN 3-89288-159-6

H. 179:

Krauß, M.: Probabilistischer Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen gegen frühe Trennrisse in massigen Betonbauteilen. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-160-X.

H. 180:

Weiske, R.

Durchleitung hoher Stützlasten bei Stahlbetonflachdecken. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-161-8.

H. 181:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]

Qualität im Bauwesen : 11. und 12. Nov. ; Braunschweiger Bauseminar 2004.

ISBN 3-89288-162-6

H. 182:

Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Großkurth : Struktur und Anwendung der Baustoffe. 2005.

ISBN 3-89288-163-4

H. 183:

Budelmann, H. ; Laube, M. ; Hinrichs, W. [Hrsg.]

Bauen im Bestand : 23. Februar 2005.

ISBN 3-89288-164-2

H. 184:

Hinrichs, W.

Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik und Validierung ausgewählter Verfahren für die Bestimmung der Maschenweiten von Stahldrahtgeweben : Das Forschungsvorhaben wurde von der Stiftung Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. gefördert (Az: A 182/S24/10036/02. 2005). ISBN 3-89288-166-9.

H. 185:

Braunschweiger Brandschutz-Tage '05 : 11. Fachseminar Brandschutz – Forschung und Praxis, 28. und 29. Sept. 2005 in Braunschweig, Tagungsbericht. ISBN 3-89288-167-7.

H. 186:

Will, J.: Entwicklung eines sauerstoffkalorimetrischen Verfahrens zur Bestimmung von Brandparametern bei unterschiedlich ventilierten Bränden. 2005. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2005. ISBN 3-89288-168-5.

H. 187:

Rigo, E.M.: Ein probabilistisches Konzept zur Beurteilung der Korrosion zementgebundener Baustoffe durch lösenden und treibenden Angriff. 2005. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2005. ISBN 3-89288-169-3.

H. 188:

Budelmann, H. ; Gutsch, A.-W. [Hrsg.] Bauen im Bestand : Beton in der Abwassertechnik ; 6. Sept. 2005. ISBN 3-89288-170-7.

H. 189:

Gerritzen, D.P.

Zur Frage der Nachnutzbarkeit verbundlos vorgespannter Stahlbetondecken nach Brandeinwirkung. 2005. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2005. ISBN 3-89288-171-5.

H. 190:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]

Bewe(ä)rteter Betonbau : 10. und 11. November ; Braunschweiger Bauseminar 2005. ISBN 3-89288-172-3

H. 191:

Kurzberichte aus der Forschung 2005. 2006. ISBN 3-89288-173-1

H. 192:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 26.-27. Sept. 2006 ; Kurzreferate. ISBN-10: 3-89288-174-X ISBN-13: 978-3-89288-174-2.

H. 193:

Sperling, D.

Eine Methode zur automatisierten Überwachung von Spannbetonfahrwegträgern. 2006. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006. ISBN-10: 3-89288-175-8 ISBN-13: 978-3-89288-175-9.

H. 194:

Grunert, J.P.

Zum Tragverhalten von Spannbetonfertigteilt balken aus Stahlfaserbeton ohne Betonstahlbewehrung. 2006. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006. ISBN-10: 3-89288-176-6 ISBN-13: 978-3-89288-176-6.

H. 195:

Budelmann, H. ; Gutsch, A.-W. [Hrsg.]

Bau Symposium Braunschweig (BSB 2007) : Stand und Entwicklung des Trockenbaus ; 8. März. 2007. ISBN 978-3-89288-177-3.

H. 196:

Bruder, S.

Adaptive Modellierung der Dauerhaftigkeit im Zuge der Überwachung von Betonbauwerken. 2007. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 1996. ISBN 978-3-89288-178-0.

H. 197:
Holst, A.
Korrosionsmonitoring und Bruchortung
vorgespannter Zugglieder in Bauwerken.
2007.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 978-3-89288-179-7.

H. 198:
Forell, B.
A Methodology to assess Species Yields of
Compartment Fires by means of an ex-
tended Global Equivalence Ratio Concept.
2007.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 978-3-89288-180-3.

H. 199:
Braunschweiger Brandschutz-Tage '07 : 21.
Fachseminar Brandschutz – Forschung und
Praxis, 26. und 27. Sept. 2007 in Braun-
schweig, Tagungsband.
ISBN 978-3-89288-181-0.

H. 200:
Nothnagel, R.
Hydratations- und Strukturmodell für Ze-
mentstein. 2007.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 978-3-89288-182-7

H. 201:
Riese, O.
Ein Brandausbreitungsmodell für Kabel.
2007.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 978-3-89288-183-4

H. 202:
Braunschweiger Brandschutz-Tage '08 : 22.
Fachtagung ; Brandschutz bei Sonderbauten
, 30.9. – 1.10.2008 – Tagungsband.
ISBN 978-3-89288-185-8

H. 203:
Klinzmann, C.
Methodik zur computergestützten, probabi-
listischen Bauwerksbewertung unter Einbe-
ziehung von Bauwerksmonitoring. 2008.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 978-3-89288-186-5.

H. 204:
Schnetgöke, R.
Zuverlässigkeitsorientierte Systembewer-
tung von Massivbauwerken als Grundlage
für die Bauwerksüberwachung. 2008.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 978-3-89288-187-2.

H. 205:
Budelmann, H. ; Gutsch, A.-W. [Hrsg.]
Bau Symposium Braunschweig (BSB
2008): Konstruktiver Holzbau ; 4. Novem-
ber 2008.
ISBN 978-3-89288-188-9.

H. 206:
Kampmeier, B.
Risikogerechte Brandschutzlösungen für
den mehrgeschossigen Holzbau. 2008.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 978-3-89288-189-6.

