

F 2848

D. Hosser, Björn Kampmeier, Dirk Kruse, Norbert Rüther

Optimierung der Konstruktion und der Herstellprozesse von hochfeuer- hemmenden Holztafelelementen unter sicherheitsrelevanten, tech- nischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Optimierung K60)

F 2848

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2013

ISBN 978-3-8167-8939-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Abschlussbericht über das Forschungsvorhaben

Optimierung der Konstruktion und der Herstellprozesse von hochfeuerhemmenden Holztafelementen unter sicherheitsrelevanten, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Optimierung K60)

Forschungsstellen:



Prof. Dr.-Ing. B. Kasal



Prof. Dr.-Ing. D. Hosser

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

(Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7- 08.40/ II 2 – F20-08-026)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Koordination:

Dipl.-Ing. Dirk Kruse (WKI)

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Hosser (iBMB)

Dr. Ing. Björn Kampmeier (iBMB)

Dipl.-Ing. Dirk Kruse (WKI)

Dipl.-Ing. (FH) Norbert Rütger (WKI)

Industriepartner:

Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.

Bundesverband der Gipsindustrie e.V.

Xella Trockenbau GmbH

Knauf Gips KG

Saint-Gobain Rigips GmbH

Betreuergruppe:

Professor Dr. Klausjürgen Becker

Professor Dr. Nikolaus Nebgen

Professor Dr. Ulrich Schwarz

Braunschweig, im Dezember 2010

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	7
2 Grundlagen	8
2.1 Musterbauordnung	8
2.1.1 Schutzziele der Musterbauordnung	9
2.2 Muster-Holzbaurichtlinie	11
2.3 K60 Prüfkriterien	13
2.4 Abgeschlossene Forschungsvorhaben	13
3 Zulässige Verfärbung im Bereich des Verbindungsmittels	14
3.1 Entzündung von Holz durch erhöhten Temperatureintrag einer Schraube	15
3.1.1 Erwärmung im Cone-Kalorimeter	15
3.1.1.1 Versuchsdurchführung	15
3.1.1.2 Versuchsergebnisse	16
3.1.2 Erwärmung durch Strom	18
3.1.2.1 Versuchsdurchführung	18
3.1.2.2 Versuchsergebnisse	18
3.2 Ermittlung der Temperaturverteilung um eine Schraube	20
3.2.1 Beurteilung der Verkohlung durch den Schraubenauszugswiderstand	21
3.2.2 Ermittlung der Vergleichstemperatur in der Oberfläche	21
3.3 Ergebnis zur zulässigen Verfärbung	27
4 Verklebungen	28
4.1 Schubtragfähigkeit unter Temperaturbeanspruchung	28
4.1.1 Herstellung der Probekörper	29
4.1.2 Vorversuche zur Festlegung der Klebefläche	30
4.1.2.1 Versuchsdurchführung	30
4.1.2.2 Versuchsergebnis	30
4.1.3 Bestimmung der Schubtragfähigkeit bei Raumtemperatur	31
4.1.3.1 Versuchsdurchführung	31
4.1.3.2 Versuchsergebnisse	32
4.1.4 Bestimmung der temperaturabhängigen Schubtragfähigkeit	32
4.1.4.1 Versuchsdurchführung	32
4.1.4.2 Versuchsergebnisse	33

4.1.5	Bestimmung der Temperaturbeständigkeit des Klebers	35
4.1.6	Vergleichswerte bei Verwendung von Stahlplatten	37
4.1.7	Untersuchung der Feuchtigkeitsentwicklung in der Klebefuge	37
4.1.7.1	Herstellung der Probekörper	38
4.1.7.2	Versuchsdurchführung	38
4.1.7.3	Versuchsergebnis.....	38
4.1.8	Systematische Tragfähigkeitsanalyse bei Temperaturbeanspruchung	39
4.1.9	Temperaturentwicklung einer Brandschutzbekleidung mit Dampfbremse.....	42
4.1.9.1	Methoden.....	42
4.1.9.2	Ergebnisse.....	43
4.2	Untersuchung einer Klebefuge zwischen zwei Gipsplattenlagen	45
4.2.1	Herstellung der Probekörper.....	46
4.2.2	Versuchsdurchführung.....	46
4.2.3	Versuchsergebnisse	47
4.3	Normbrandversuch mit verklebter Brandschutzbekleidung im Kleinformat	49
4.3.1	Herstellung der Probekörper.....	50
4.3.2	Versuchsdurchführung.....	50
4.3.3	Versuchsergebnisse	51
4.4	Ergebnisse zur Untersuchung von Klebeverbindungen	52
5	Untersuchung des Brandverhaltens bei Konsollasten	53
5.1	Hintergrund	54
5.2	Entwicklung von Konstruktionen	56
5.3	Numerische Berechnungen	56
5.3.1	Methode	56
5.3.2	Ergebnisse der numerischen Berechnungen.....	56
5.4	Normbrandversuche im Brandofen nach DIN 4102-8.....	58
5.4.1	Material und Methode	58
5.4.2	Ergebnisse der Brandversuche	59
5.4.2.1	Versuch 1	59
5.4.2.2	Versuch 2	61
5.4.2.3	Versuch 3	63
5.4.2.4	Versuch 4	64
5.4.2.5	Versuch 5	66
5.4.2.6	Versuch 6	67
5.5	Ergebnis zum Brandverhalten bei Konsollasten	69

6	Analyse des Vorfertigungs- und Montageprozesses.....	70
6.1	Einführung.....	71
6.2	Bauteile	71
6.2.1	Anforderungen	71
6.2.2	Baustoffe zur Verwendung in hochfeuerhemmenden Bauteilen.....	71
6.2.2.1	Holz	71
6.2.2.2	Dämmstoffe	72
6.2.2.3	Folien.....	72
6.2.2.4	Bekleidung.....	72
6.2.3	Decken.....	72
6.2.4	Wände	74
6.3	Beschreibung von Holzkonstruktionen.....	75
6.3.1	Fachwerk	75
6.3.2	Holztafelbau.....	76
6.3.3	Flächige Systeme (Massivholz)	77
6.3.4	Holzskelettbau	78
6.4	Beschreibung der Bekleidungen	79
6.4.1	Aufgabe der Bekleidung	79
6.4.2	Materialien	81
6.4.3	Aufbau	81
6.5	Installationsführungen.....	81
6.5.1	Elektrische Leitungen	83
6.6	Öffnungen für Türen, Fenster und sonstige Einbauten.....	84
6.7	Befestigungen an / durch die Bekleidung	84
6.8	Vorfertigungsgrad / Montage	86
6.8.1	Holzkonstruktion	86
6.8.2	Beplankung.....	89
6.9	Fragenkatalog	91
7	Optimierungsmöglichkeiten.....	93
7.1	Möglichkeiten zur Verbesserung der Arbeitsabläufe	93
7.2	Möglichkeiten zur Optimierung der Bekleidung	95
7.2.1	Variante 1: Doppelbeplankung	95
7.2.2	Variante 2: Verbindungsmittel mit thermisch entkoppeltem Kopf	95
7.2.3	Variante 3: Verklebung der einzelnen Lagen.....	96
8	Regelkonstruktionen auf Grundlage der Ergebnisse des Vorhabens	96

8.1	Wandquerschnitte / Beplankungen	96
8.1.1	Klebeverbindungen	96
8.2	Konsollasten	97
8.2.1	Befestigung auf dem Ständer	97
8.2.2	Befestigung in der Gipsbekleidung (Feld).....	97
8.2.3	Befestigung in Massivholzkonstruktionen / Holzwerkstoffen	97
8.3	Sonderkonstruktionen für Konsollasten	98
8.3.1	Var. 1/2: Befestigung der Konsollasten an einer Federschiene.....	98
8.3.2	Var. 3 a/b: Stahlblech (3a) oder OSB (3b) auf Ständerwerk.....	99
8.3.3	Var. 4: Stahlblechtafel zwischen den Gipswerkstoffplatten	100
8.3.4	Variante 5: Vorwandinstallationsebene (ggf. auch auf Federschiene).	101
8.4	Überprüfung der Regelungen in der Baupraxis	101
9	Zusätzliche Fragestellungen zu Bauteilanschlüssen / Setzungsverhalten.....	102
9.1	Einleitung	102
9.2	Holzwerkstoffe	103
9.2.1	Etablierte Holzwerkstoffe	103
9.2.1.1	Berechnungsbeispiel von Setzungen	103
9.2.2	Ausblick auf technisch mögliche Holzwerkstoffe	104
9.3	Weitere Möglichkeiten.....	104
10	Zusammenfassung	106
11	Danksagung	107
12	Literatur	108

1 Einleitung

Seit der Novellierung der Musterbauordnung im Jahr 2002 [1] darf Holz als tragendes und aussteifendes Element bei Gebäuden mit einer Höhe der Fußbodenoberkante des höchsten Aufenthaltsraumes von 13 m über der mittleren Geländeoberfläche und bei Nutzungseinheiten mit nicht mehr als 400 m² verwendet werden. Zuvor war der Holzbau auf Gebäude geringer Höhe bis 7 m beschränkt. Die Voraussetzungen hierfür wurden mittels theoretischer Grundlagenuntersuchungen und eines umfangreichen Brandversuchsprogramms am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig erarbeitet. In diesen Arbeiten wurde nachgewiesen, dass sich bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Vorgaben das Brandrisiko im Vergleich zu Gebäuden in nichtbrennbarer Massivbauweise nicht erhöht. Zentraler Bestandteil dieser konstruktiven Anforderungen, welche in der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie M-HFHolzR) [2] zusammengefasst sind, ist das Kapselkriterium K60. Die tragende Holzstruktur muss durch eine nichtbrennbare Bekleidung über 60 Minuten Branddauer vor einer Entzündung geschützt werden. Diese brandschutztechnisch wirksame Bekleidung muss so dimensioniert werden, dass an der Oberfläche der Holzbauteile eine Temperatur von 270 °C im Mittel und 290 °C im Maximum nicht überschritten wird. Zusätzlich muss die Brandschutzbekleidung bei raumabschließenden Bauteilen ein Durchtreten von Feuer und Rauch verhindern, wofür sie mindestens zweilagig und mit versetzten Fugen auszuführen ist.

Die Brandschutzbekleidung wird in der Regel mit metallischen Verbindungsmitteln wie Klammern oder Schrauben an der Holzkonstruktion befestigt. Da die sehr gute Wärmeleitfähigkeit von Metall im Brandfall die Wärme über die Verbindungsmittel in die Holzkonstruktion leitet, wird eine deutlich schnellere Verkohlung bewirkt. Dies wirkt sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Konstruktionen aus, da wegen der lokal begrenzten Temperaturbelastung eine Überdimensionierung der nichtbrennbaren Brandschutzbekleidung erforderlich ist. Alternative Verbindungstechniken wie Verklebungen wären hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit günstiger, werden aber wegen der Kombination Holz – mineralischer Plattenwerkstoff allgemein als kritisch bewertet. In abgeschlossenen und laufenden Vorhaben wurde die grundsätzliche Eignung von Klebeverbindungen zwischen Vollholz und mineralisch gebundenen Plattenwerkstoffen untersucht ([10] bis [12]). Allerdings wurde bei den dazu durchgeführten Versuchsreihen die thermische Belastung durch einen Vollbrand nicht berücksichtigt.

Ein Ziel dieser Arbeit war es, metallische Verbindungsmittel durch eine entsprechende Verklebung zu ersetzen und somit eine wirtschaftlichere Methode zur Herstellung der Brandschutzbekleidung zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wurden verschiedene handelsübliche mineralisch gebundene Plattenwerkstoffe in Verbindung mit unterschiedlichen Klebstoffen untersucht.

Zur Erarbeitung geeigneter Lösungsansätze wurden Versuchsstände konzipiert, in denen die hergestellten Probekörper bei Raumtemperatur und unter Temperaturzunahme untersucht werden können. Zudem wurden die Platten – Holzverbindungen mit Gewichten belastet, um möglichst realistische Versuchsergebnisse erzielen zu können. Über Thermoelemente wurde die Temperatur während der Versuche gemessen.

2 Grundlagen

Im Folgenden wird die derzeitige baurechtliche Situation im mehrgeschossigen Holztafelbau beziehend auf die Musterbauordnung [1] und die Muster-Holzbaurichtlinie [2] beschrieben. Zudem werden die Schutzziele einer K60 Bekleidung dargestellt.

2.1 Musterbauordnung

Die Musterbauordnung 2002 [1] enthält unter anderem ein geändertes Brandschutzkonzept. Die neue Einteilung der Gebäude nach ihrer Höhe bietet Erleichterungen der Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile für Gebäude der Gebäudeklassen 1, 2 und 4 und ermöglicht es, fünfgeschossige Bauten mit einer tragenden Konstruktion aus Holz zu errichten. Insgesamt unterscheidet die Musterbauordnung 5 Gebäudeklassen, welche durch ihre Höhe, Größe und Anzahl von Nutzungseinheiten definiert sind (Abbildung 1).

Die Gebäudeklasse 4 umfasst Gebäude mit einer Höhe von 7 bis 13 m bis zur Oberkante des fertigen Fußbodens und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m². Dies bedeutet, dass sich die Fußbodenoberkante des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen maximal 13 m über der mittleren Geländeoberfläche befinden darf. Durch die begrenzte Größe der Nutzungseinheiten vermindert sich das Risiko einer Brandausbreitung im Gegensatz zu Gebäuden mit ausgedehnten Nutzungseinheiten, was die Brandbekämpfung durch die Feuerwehr erleichtert. Die sogenannte „Zellenbauweise“, bei der die Nutzungseinheiten weiter unterteilt werden in abgetrennte Räume, vermindert in Kombination mit der Gebäudehöhe das Brandausbreitungsrisiko weiter, so dass geringere Brandschutzanforderungen als nach früheren Fassungen der Musterbauordnung zu vertreten sind.

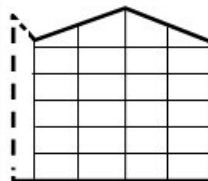
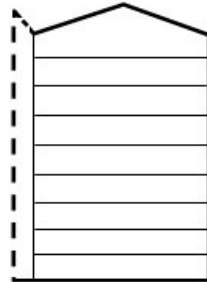
GK 1a	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5
freistehende Gebäude OKF ≤ 7 m ≤ 2 Nutzungseinh. Σ NE ≤ 400 m ² 	nicht freistehende Gebäude OKF ≤ 7 m ≤ 2 Nutzungseinh. Σ NE ≤ 400 m ² 	sonstige Gebäude mit einer OKF ≤ 7 m 	OKF ≤ 13 m Nutzungseinh. mit jeweils ≤ 400 m² 	sonstige Gebäude mit Ausnahme von Sonderbauten OKF ≤ 22 m 
GK 1b freistehende Gebäude land- und forstwirtschaftl. genutzt 				
Feuerwehreinsatz mit Steckleiter möglich			Feuerwehreinsatz mit Drehleiter nötig	

Abbildung 1: Einteilung der Gebäudeklassen nach MBO 2002

2.1.1 Schutzziele der Musterbauordnung

Die grundlegenden Schutzziele von baulichen Anlagen werden in § 3 „Allgemeine Anforderungen“ der Musterbauordnung festgelegt. Hiernach sind bauliche Anlagen „so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben und Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.“

Um dies zu gewährleisten, dürfen nur Bauprodukte und Bauarten verwendet werden, die bei ordnungsgemäßer Instandhaltung über einen angemessenen Zeitraum gebrauchstauglich sind und den baulichen Zweck der Anlage erfüllen. Falls diese Anforderungen in gleichem Maße durch eine alternative Lösung erfüllt werden können, ist eine Abweichung von technischen Baubestimmungen möglich. Diese technischen Baubestimmungen werden durch öffentliche Bekanntmachung durch die obersten Bauaufsichtsbehörden als technische Regeln eingeführt. Die Anforderungen gelten auch für die Beseitigung von baulichen Anlagen sowie bei einer Nutzungsänderung.

Die wesentlichen Schutzziele im Brandfall werden in § 14 „Brandschutz“ aufgeführt: „Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung)

vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.“

Nach § 17 Abs. 1 Nr. 1 gelten Bauprodukte als „geregelter Bauprodukt“, wenn diese von den „bekannt gemachten technischen Regeln nicht oder nicht wesentlich abweichen“. Nur in diesem Fall dürfen sie zur Errichtung von Gebäuden verwendet werden, es sei denn sie tragen ein Übereinstimmungszeichen aufgrund eines Übereinstimmungsnachweises.

Nicht geregelte Bauprodukte benötigen zur Verwendung eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder eine Zustimmung im Einzelfall. Für die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung ist dies ebenfalls notwendig. Baustoffe werden in der Musterbauordnung aufgrund ihres Brandverhaltens unterschieden in:

- nichtbrennbar,
- schwerentflammbar,
- normalentflammbar.

Leichtentflammbare Baustoffe dürfen nicht zum Einsatz kommen, es sei denn, diese Eigenschaft ist nicht relevant in Kombination mit anderen Baustoffen. Die Bauteile werden in der Musterbauordnung hinsichtlich ihres Brandverhaltens bezogen auf ihre Feuerwiderstandsdauer wie folgend klassifiziert:

- feuerhemmend: 30 Minuten (F 30)
- hochfeuerhemmend: 60 Minuten (F 60)
- feuerbeständig: 90 Minuten (F 90)

Es wird unterschieden in tragende und aussteifende Bauteile, bei denen sich die Feuerwiderstandsfähigkeit auf die Standsicherheit im Brandfall bezieht, sowie in raumabschließende Bauteile, bei denen der Durchtritt von Feuer und Rauch und/oder die Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgewandten Seite im Brandfall zu verhindern bzw. zu begrenzen sind.

Zur weiteren Differenzierung unterscheidet die Musterbauordnung das Brandverhalten der Konstruktionsbaustoffe der Bauteile. Während feuerhemmende Bauteile aus brennbaren Baustoffen bestehen dürfen, müssen feuerbeständige Bauteile in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Wenn die tragenden und aussteifenden Bauteile aus brennbaren Baustoffen bestehen und durch eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung umschlossen sind, ist der mehrgeschossige Holztafelbau der Gebäudeklasse 4 zulässig. Die verwendete Dämmung muss ebenso wie die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, was als Mindestanforderung an hochfeuerhemmende Bauteile für tragende und aussteifende Wände und Decken in der Gebäude-

klasse 4 festgesetzt ist. Neben der bekannten AB-Bauweise feuerbeständiger Bauteile wurde aufgrund dieser neuen Regelungen die zum Holztafelbau der Gebäudeklasse 4 gehörende „BA“-Bauweise entwickelt, welche jedoch nicht offiziell so klassifiziert, sondern nur indirekt über die Muster-Holzbaurichtlinie definiert wurde. A und B stehen hierbei für die Baustoffklassen nichtbrennbar (A) und brennbar (B). Die Baustoffklasse, die für die wesentlichen, tragenden und aussteifenden Bauteile verwendet wird, steht bei den Bezeichnungen AB bzw. „BA“ jeweils an erster Stelle. Der zweite Buchstabe beschreibt das Brandverhalten der Bekleidungsstoffe. Somit bedeutet die „BA“-Bauweise im Holztafelbau der Gebäudeklasse 4 eine Kombination aus tragenden und aussteifenden Bauteilen aus brennbaren Baustoffen und eine Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen. Die Muster-Holzbaurichtlinie enthält detaillierte Anforderungen an die Ausführung von hochfeuerhemmenden Bauteilen in Holztafelbauweise.

2.2 Muster-Holzbaurichtlinie

Die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHolzR) in der Fassung vom Juli 2004 [2] gilt für in gewissem Maße vorgefertigte Holzbauweisen der Gebäudeklasse 4. Sie ist gültig für Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerkbauweise. Sie gilt nicht für Holz-Massivbauweisen wie Brettstapel- und Blockbauweise, obwohl die Verwendung von Brettstapeldecken erlaubt ist. Generelles Ziel der Muster-Holzbaurichtlinie ist die Vermeidung von schwer bekämpfbaren Hohlraumbränden. Das wird erreicht durch:

- brandschutztechnisch wirksame Bekleidung
- nichtbrennbare Dämmung
- Minimierung der elektrischen Installationen innerhalb der Bauteile
- Ausführung der Brandschutzbekleidung 2-lagig mit versetzten Fugen.

Die tragende und aussteifende Holzkonstruktion soll sich laut Muster-Holzbaurichtlinie innerhalb von 60 Minuten nicht am Brandgeschehen beteiligen und es soll auch kein Tragfähigkeitsverlust des Holzes zustande kommen. Dies soll durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung gewährleistet werden. Die Bekleidung soll allseitig und durchgängig aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Zentrales Kriterium für die Klassifizierung des Holzes ist das Kapselkriterium „K“ nach DIN EN 14135 [3]. Es gilt als erfüllt, wenn keine Brand- oder Verkohlungserscheinungen auf der Holz- oder Holzwerkstoffoberfläche zu erkennen sind und im Mittel 270 °C und im Maximum 290 °C nicht überschritten werden.

Des Weiteren ist die Brandschutzbekleidung so zu installieren, dass über Fugen, Installationen oder Einbauten Feuer und Rauch nicht in die Wand- oder Deckenbauteile gelangen

kann. Zusätzlich darf die Brandschutzbekleidung nach einer Branddauer von 60 Minuten keine durchgehenden, klaffenden Risse aufweisen, damit es nicht innerhalb des betreffenden Bauteils zu einer Brandausbreitung kommt.

Um zu gewährleisten, dass die Feuerwehr sicher und vollständig ein Brandereignis bekämpfen kann, darf die Entstehung von Brandnestern zu keinem Zeitpunkt möglich sein. Ebenso soll ein unentdecktes Weiterbestehen jener Brandnester innerhalb des Bauteils ausgeschlossen werden.

Durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung soll die rasche Ausbreitung von Feuer und Rauch über die Hohlräume in angrenzende Nutzungseinheiten oder Räume verhindert werden. Die Rettungswege dürfen zu keiner Zeit durch eine Rauchausbreitung versperrt werden, damit die Flucht und Rettung von Personen möglich sind.

Der Einbau von Dämmstoffen in hochfeuerhemmenden Holztafeln muss laut Muster-Holzbaurichtlinie Punkt 3.1.2 ohne Hohlräume ausgeführt werden. Bei stumpf gestoßenen, einlagigen Dämmstoffen müssen die Fugen dicht sein, bei zweilagigen Dämmschichten sind die Stöße versetzt anzuordnen. Der Schmelzpunkt der verwendbaren Dämmstoffe muss bei mindestens 1000 °C liegen.

Installationen von Lüftungen und Leitungen sollen in einer Vorwandebene, unter der Decke oder in Schächten und Kanälen verbaut werden. Innerhalb der hochfeuerhemmenden Bauteile ist dies nicht gestattet. Ausnahme beim Verbau elektrischer Leitungen ist die Führung von bis zu drei Leitungen innerhalb eines Hüllrohrs aus nichtbrennbaren Baustoffen. Einzelne elektrische Leitungen dürfen innerhalb eines Wand- oder Deckenbauteils liegen, falls diese der Versorgung eines Raumes derselben Nutzungseinheit dienen. Wenn Leitungen innerhalb der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung geführt werden sollen, müssen sie mit nichtbrennbaren Baustoffen verspachtelt werden. Auch Hohlwanddosen dürfen unter bestimmten Voraussetzungen laut Muster-Holzbaurichtlinie Punkt 4.2 verwendet werden. Diese sind mit einem Abstand von 150 mm zum nächsten Holzständer oder zur nächsten Holzrippe einzubauen. Außerdem müssen sie vollständig von dem oben beschriebenen Dämmstoff umgeben sein. Der Dämmstoff darf dabei auf eine Mindestdicke von 30 mm reduziert werden. Im Treppenraum dürfen ausschließlich Leitungen verbaut werden, die der Versorgung des Raumes dienen.

Um die Rauchdichtigkeit von raumabschließenden Bauteilen zu gewährleisten, muss zwischen den Bekleidungslagen ein Fugenversatz, ein Stufenfalz oder eine Nut- und Federverbindung ausgebildet werden. Durcherspachteln oder Anbringen einer Deckleiste sollen die Fugen der brandseitig ersten Bekleidungslage mit nichtbrennbaren Baustoffen verschlossen

werden. Ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis als bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis (§ 17 Abs. 3 MBO) ist laut Muster-Holzbaurichtlinie für eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung notwendig.

2.3 K60 Prüfkriterien

Laut DIN EN 14135 [3] muss die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung für die Verwendung in der Gebäudeklasse 4 geprüft werden. Folgende Kriterien dürfen nach DIN EN 13501-2 [4] bei einer Brandraumtemperatur nach Einheits-Temperaturzeitkurve nicht überschritten werden:

- Die Anfangstemperatur der brandseitigen Spanplattenoberfläche darf im Mittel um nicht mehr als 250 °C überschritten werden.
- Die Anfangstemperatur der brandseitigen Spanplattenoberfläche darf im Maximum um nicht mehr als 270 °C überschritten werden.
- Es darf keine Entzündung oder Verkohlung an der Holzspanplattenoberfläche entstehen.

Eine Verfärbung der Trägerplatte wird noch nicht als Verkohlung angesehen.

Im Folgenden wird von einer mittleren Raumtemperatur von 20 °C ausgegangen. Wenn demzufolge Bezug auf Temperaturen von 270 °C im Mittel oder 290 °C im Maximum genommen wird, geschieht dies unter Voraussetzung dieser mittleren Raumtemperatur.

2.4 Abgeschlossene Forschungsvorhaben

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule Hildesheim in Kooperation mit dem iBMB aus dem Jahre 2007 wurden unter anderem in mehreren kleinförmigen Versuchsreihen verschiedene Verbindungsmittel in Kombination mit Holz und brandschutztechnisch wirksamer Bekleidung untersucht. Ziel dieser Untersuchungen war es, die Auswirkung der guten Wärmeleitfähigkeit metallischer Verbindungsmittel im Brandfall auf das Holz zu bestimmen. Zum Vergleich wurde der Temperatureintrag auf der brandabgewandten Seite der Brandschutzbekleidung ohne störende Verbindungsmittel gemessen. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die Verbindungsmittel eindeutig verantwortlich für den höchsten Temperatureintrag in das Holz sind. Bei der ungestörten Brandschutzbekleidung wurde eine durchschnittliche Differenz von 150 K zur kritischen Temperatur von 270 °C festgestellt. Zusätzlich wurde festgestellt, dass sich die Wahl des Plattenmaterials ebenfalls auf die Wärmeleitung des Verbindungsmittels auswirkt, weil zum einen jedes Plattenmaterial unterschiedlich stark Wärme über das Verbindungsmittel aufnimmt und zum anderen unterschiedliche Mengen

Kristallwasser während der Erwärmung entstehen. Diese unterschiedliche Intensität der Kristallwasseraustreibung der verschiedenen Plattenmaterialien führt zur Kühlung der Verbindungsmittel. Diese Kühlung wird zudem durch die Dicke des Verbindungsmittels beeinflusst.

Generell zeigen die Ergebnisse, dass sowohl die Wahl des Verbindungsmittels, als auch dessen Einbauart von entscheidender Bedeutung für Wärmeeintrag und Verfärbung des Holzes im Bereich um das Verbindungsmittel sind.

Aufgrund des größeren Querschnitts und des größeren Verbindungsmittelkopfes sind Schrauben vor dem Hintergrund dieser zwei Punkte weniger gut geeignet als beispielsweise Klammern. Gesondert wurden Federschienen betrachtet. Dabei wurde festgestellt, dass diese sich positiv auf den Temperatureintrag auswirken. Die Ursache ist die entstehende Luftschicht, die als zusätzliche Dämmschicht wirkt.

Grundsätzlich zeigen diese Ergebnisse, dass eine Verklebung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung einen signifikanten Vorteil in Bezug auf den Temperatureintrag und die Verkohlung des Holzes gegenüber konventionellen Verbindungsmitteln hat.

3 Zulässige Verfärbung im Bereich des Verbindungsmittels

Im Brandfall besteht der höchste Wärmeeintrag bei einer Wandkonstruktion aus Holz über die Verbindungsmittel, mit denen die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung auf der Holzkonstruktion befestigt wird. Diese kritischen Punkte sind für die gesamte Brandschutzbekleidung bemessungsentscheidend, wenn auch hier über die gesamte Feuerwiderstandsdauer eine Verkohlung ausgeschlossen werden soll. Diese Anforderung führt dazu, dass bei einer klassifizierten K₂60-Bekleidung, bestehend aus 2 x 18 mm GKF-Platten, zur 60 Minute auf der Holzoberfläche im Mittel nur eine Temperatur von etwa 140 °C vorliegt. Die Anforderung „keine Verkohlung“ wird allerdings europaweit von den Prüfanstalten unterschiedlich interpretiert, es werden also keine einheitlichen Prüfkriterien angewendet.

Ein Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Anforderungen hinsichtlich der Verkohlung bzw. Verfärbung im Bereich metallischer Verbindungsmittel unter Beachtung der Schutzziele der Brandschutzbekleidung zu konkretisieren. Als Ergebnis ist ein Vorschlag erarbeitet worden, der die Prüfung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung vereinheitlicht. Dieser Vorschlag soll anschließend bei der Arbeitsgemeinschaft der Brandschutzlaboratorien Deutscher Materialprüfanstalten (ABM) eingereicht werden.

Es musste daher die Frage geklärt werden, was eine Verkohlung im Sinne der Muster-Holzbaurichtlinie [2] und der Prüfnorm DIN EN 14135 [3] darstellt und was lediglich als eine Verfärbung betrachtet werden kann.

3.1 Entzündung von Holz durch erhöhten Temperatureintrag einer Schraube

Zunächst musste untersucht werden, ob es überhaupt möglich ist, durch den erhöhten Temperatureintrag über eine Schraube eine frühzeitige Entzündung bzw. einen frühzeitigen Glimmbrand des Holzes herbeizuführen. Zur Untersuchung dieser generellen Fragestellung wurden zwei Versuchsreihen im Cone-Kalorimeter sowie mit einer stromdurchflossenen Schraube durchgeführt.

3.1.1 Erwärmung im Cone-Kalorimeter

Der Aufbau des Cone-Kalorimeters ist in ISO 5660 [5] genormt. Als Wärmequelle dient ein elektrisch betriebener, kegelförmig ausgebildeter Heizer. Dieser erzeugt einen konstanten Wärmestrom, der zwischen 0 und 100 kW/m² eingestellt werden kann, und erwärmt den Prüfkörper mit einer in der Regel quadratischen Grundfläche von 10/10 cm². An der Oberfläche des Prüfkörpers wird ein elektrischer Funke erzeugt, der entstehende Pyrolysegase zum möglichst frühen Zeitpunkt entzünden soll. Der Probenhalter wird auf eine Waage montiert, so dass der Massenumsatz über die Branddauer aufgezeichnet werden kann. Die bei der Verbrennung entstehenden Rauchgase werden in einer Messstrecke analysiert. Mit dem Verfahren der Sauerstoffkalorimetrie ist es möglich, den zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsrate zu bestimmen. Weitere Messgrößen sind die effektive Verbrennungswärme sowie der Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidgehalt.

3.1.1.1 Versuchsdurchführung

Für die Durchführung der Versuche wurden Prüfkörper hergestellt, bestehend aus einem Holzquader mit den Abmessungen 10 x 10 x 5 cm³, der durch unterschiedliche Gipsplatten (Gipskartonplatte 12,5 mm oder Gipsfaserplatte 10 mm und 15 mm) geschützt wurde. Die Gipsplatte wurde durch eine Schnellbauschraube 3,9 x 55 befestigt. Zusätzlich zu den oben beschriebenen Messgrößen wurde die Temperatur in der Grenzschicht zwischen Gipsplatte und Holzquader gemessen. Abbildung 2 zeigt die Einzelteile eines Prüfkörpers und den Prüfkörper während des Versuchs.



Abbildung 2: Einzelteile eines Prüfkörpers und Prüfkörper im Cone-Kalorimeter während des Versuchs

Der Versuch wurde abgebrochen, wenn das Thermoelement in der Grenzschicht zwischen Gipsplatte und Holzquader eine Temperatur von 270 °C erreicht hat. Der Probekörper wurde aus dem Cone-Kalorimeter entnommen, sodass die Gipsplatte sofort abgebaut werden konnte. So wurde der Holzquader schnellst möglich gekühlt und die thermische Schädigung des Holzes konnte bestimmt werden.

3.1.1.2 Versuchsergebnisse

Erwartungsgemäß konnte eine verstärkte Verfärbung der Holzoberfläche im Bereich der Schraube beobachtet werden (Abbildung 3 und Abbildung 4). Im Rahmen der Messgenauigkeit wurde keine zusätzliche Wärmefreisetzung gemessen. Eine Entzündung des Holzes bzw. ein Weiterglimmen konnte bei keinem Versuch beobachtet werden. Abbildung 4 zeigt zudem, dass die Schraube, die zusätzlich durch die äußere Lage der Brandschutzbekleidung geschützt war (Probenmittelpunkt), keine erhöhte Verfärbung der Holzoberfläche hervorgerufen hat.

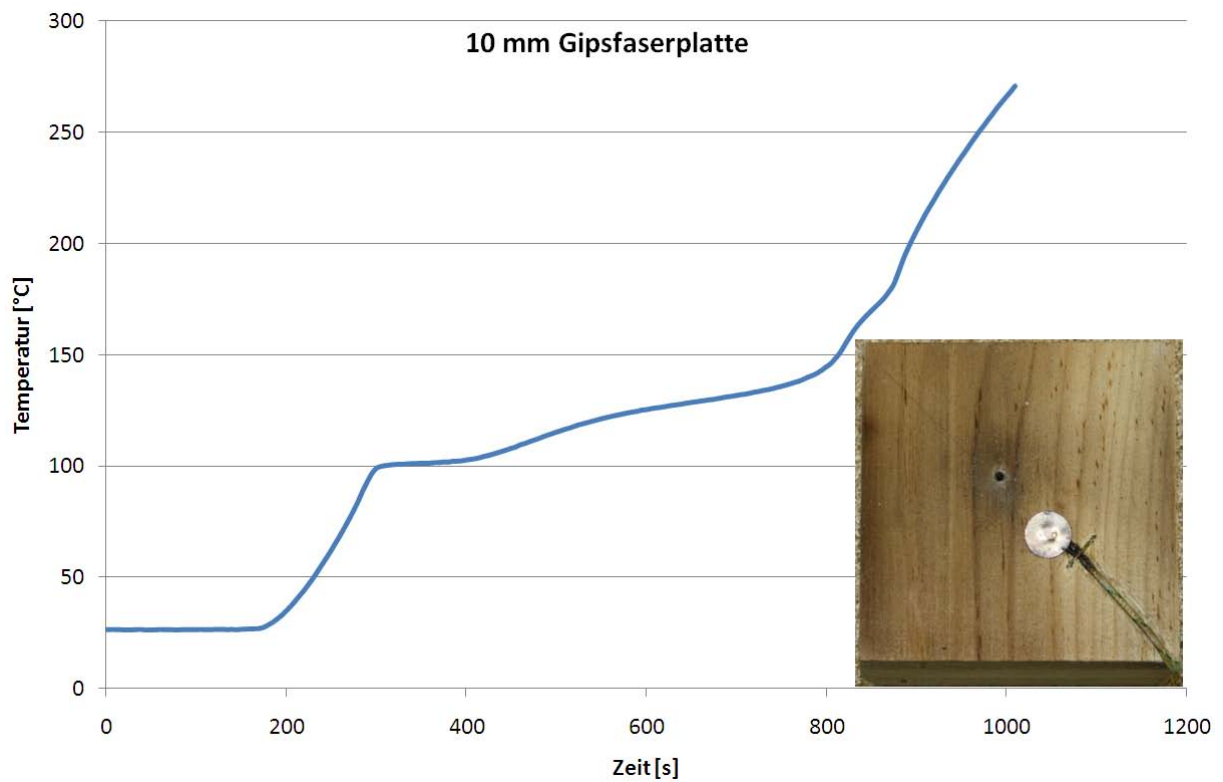


Abbildung 3: Temperaturverlauf unterhalb einer 10 mm Gipsfaserplatte

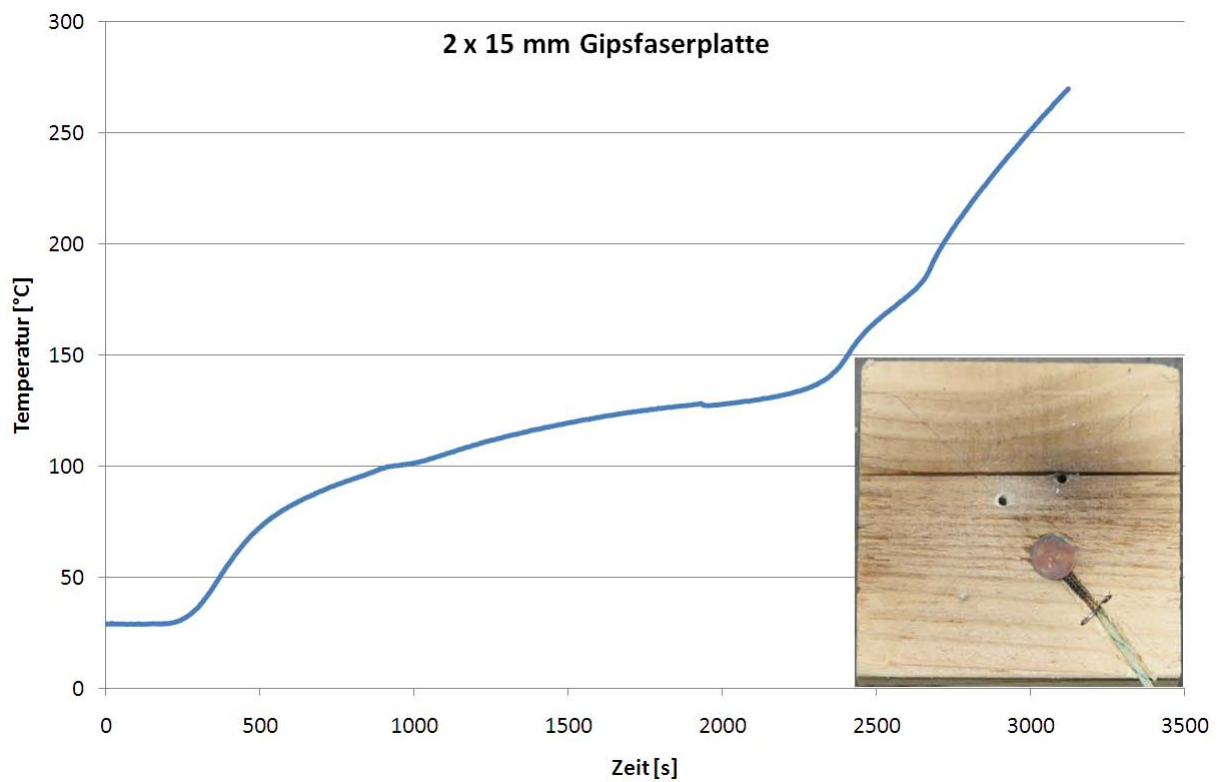


Abbildung 4: Temperaturverlauf unterhalb 2 Lagen 15 mm Gipsfaserplatten

3.1.2 Erwärmung durch Strom

Um generell die Gefahr der Entzündung eines Holzständers nachzuweisen oder zu widerlegen, wurde ein Versuchsaufbau mit einer stromdurchflossenen Schraube entwickelt. Dabei wurde eine 4 mm dicke Gewindestange durch ein 2,5 cm dickes Holzbrett geführt. Die Gewindestange wurde mit einem definierten Stromfluss (Gleichstrom) erwärmt (Abbildung 5). Die Zuführung der Energie wurde mit der Entzündung des Holzes beendet.

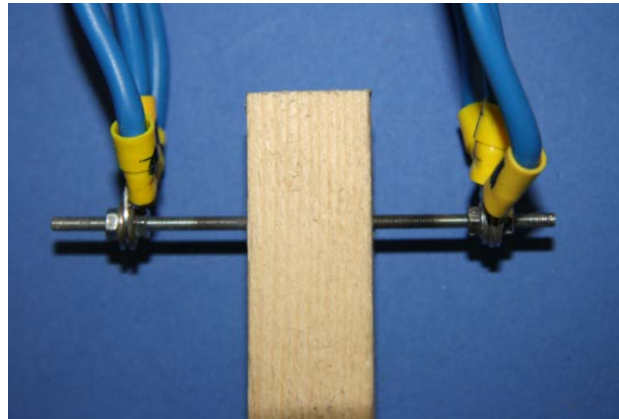


Abbildung 5: Gewindestange wird durch Holzbrett geführt und mit elektr. Strom erwärmt

3.1.2.1 Versuchsdurchführung

In ein 2,5 cm dickes Nadelholz wurde ein 4 mm Loch vorgebohrt und anschließend eine 4 mm dicke Gewindestange hineingedreht. An den Enden der Gewindestange wurde eine Gleichspannung von 12 Volt angelegt und die Gewindestange wurde mit Stromstärken zwischen 3,0 und 4,5 Ampere durchflossen. Dadurch begann die Gewindestange, rot zu glühen. Bei Entzündung des Holzes wurde der Stromfluss abgestellt und die Probe weiter beobachtet. Anhand einer Videoaufzeichnung konnte anschließend die Ausdehnung der oberflächlichen Verkohlungen unmittelbar vor der Entzündung abgeschätzt werden (vgl. Abbildung 6).

3.1.2.2 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Zu jedem Versuch wurde ein Wiederholungsversuch durchgeführt. Die Versuchsergebnisse waren reproduzierbar, so dass in der Tabelle nur die Durchschnittswerte angegeben sind. Die angegebenen Verkohlungsflächen beziehen sich immer auf eine tiefschwarze Verfärbung des Holzes, wie sie in Abbildung 6 zu erkennen ist. Bei einer Stromstärke von 3 Ampere wurden die Versuche nach 15 Minuten abgebrochen. Die Holzprobe war auf einer Fläche von etwa 10 cm² verkohlt, eine Entzündung hat jedoch nicht stattgefunden. Stromstärken von 3,5, 4,0 und 4,5 Ampere hatten eine Entzündung zur Folge. Mit steigender Stromstärke, d. h. höherer Temperatur der Schraube,

erfolgte die Entzündung der Holzprobe schneller. Gleichzeitig nahm die verkohlte Fläche unmittelbar vor der Entzündung ab. Bei den durchgeführten Versuchen war ein Selbstverlöschen nach der Entzündung zu beobachten. Dies betraf sowohl die offene Flamme, als auch die Glut.

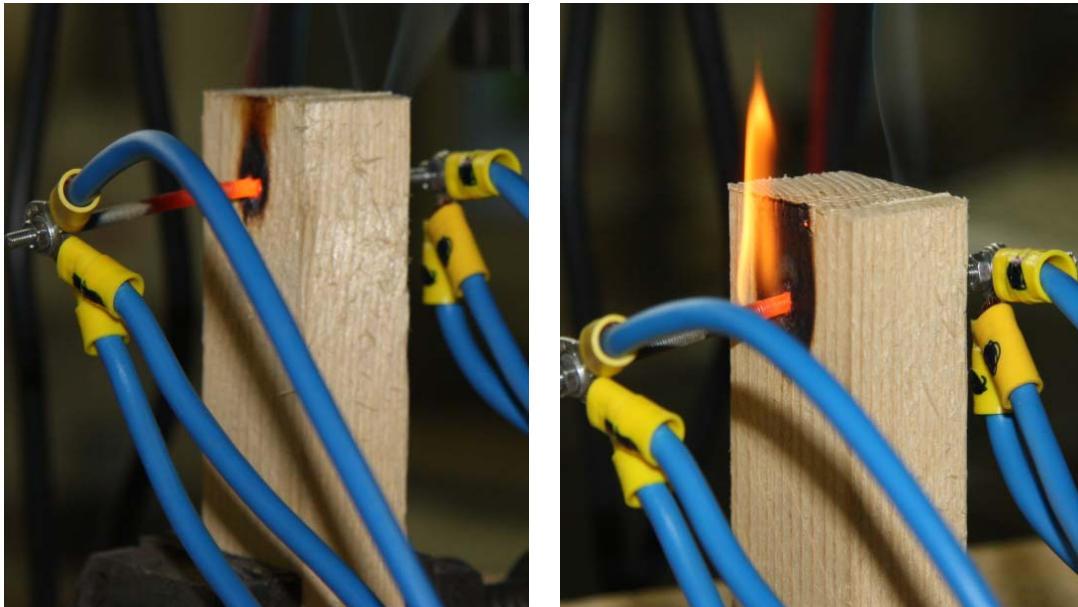


Abbildung 6: Bestimmung der Verkohlung während des Versuches

Tabelle 1: Entzündungsverhalten bei unterschiedlichen Stromstärken

Stromstärke [A]	Entzündung [min]	Verkohlungsfläche [cm ²]	Erlöschen der Flamme [min]	Erlöschen der Glut [min]
3,0	--/--	--/--	--/--	--/--
3,5	≈ 5:00	≈ 3,0	≈ 8:15	≈ 10:30
4,0	≈ 1:45	≈ 1,5	≈ 2:30	≈ 3:15
4,5	≈ 1:00	≈ 1,0	≈ 1:45	≈ 2:00

Mit diesem Versuchsaufbau konnte die Entzündung des Holzes mittels einer Schraube nachgestellt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass die Randbedingungen bei diesem Versuchsaufbau eine Entzündung des Holzes im Vergleich zu den üblichen Einbaurandbedingungen deutlich begünstigt haben. Die Temperatur der Gewindestange lag bei den Versuchen zwischen 500 °C und 900 °C. Dieses kann anhand der Glühfarbe des Stahls in Abbildung 6 überprüft werden. Die in Brandversuchen gemessenen Temperaturen von Schrauben in Brandschutzbekleidungen liegen deutlich unterhalb 500 °C. Des Weiteren stand bei dem gewählten Versuchsaufbau ausreichend Sauerstoff für eine Entzündung bzw. Verbrennung zur Verfügung. Dies ist bei realen Bauteilaufbauten durch die vorhandene

Brandschutzbekleidung ebenfalls nicht der Fall. Trotz des ausreichenden Angebotes an Sauerstoff verlöschten die Proben selbstständig. Eine Entzündung des Holzes bei gleichzeitiger Braunverfärbung des Holzes konnte nicht beobachtet werden. Die Entzündung trat erst bei einer Schwarzfärbung von mindestens 1 cm² Größe ein.

3.2 Ermittlung der Temperaturverteilung um eine Schraube

Um die Entstehungsgefahr eines Hohlraumbrandes durch eine Schraube exakt beurteilen zu können, musste die Temperaturentwicklung im Bereich der Schraube genauer untersucht werden. Hierzu wurden Thermoelemente (Perlen) in einem Abstand von 5, 10, 15 und 20 mm Entfernung zu einer Schnellbauschraube 3,9 x 55 angeordnet.

Am Beispiel einer 18 mm GKF-Platte wird die Temperaturverteilung um eine Schraube gezeigt (vgl. Abbildung 7). In einer Entfernung von 5 mm ist eine erhöhte Temperatur im Vergleich zu den drei anderen Messstellen feststellbar. Es ist weiterhin aus dem Diagramm ersichtlich, dass die übrigen Messwerte sehr nah beieinander liegen. Die Messstelle in 15 mm Entfernung zeigt eine geringfügig höhere Temperatur als die Messstelle in 10 mm Entfernung an. Dies kann allerdings auf Messfehler zurückzuführen sein, weil zum Beispiel kein direkter Kontakt des Thermoelementes zum Holz vorlag.

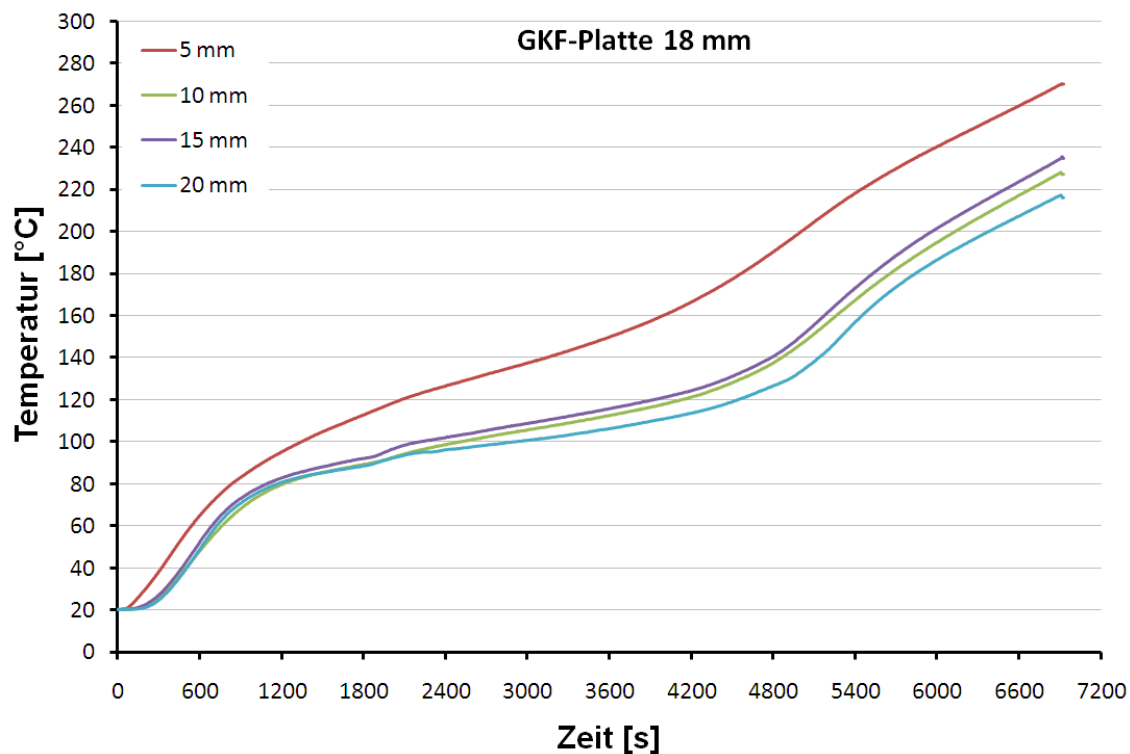


Abbildung 7: Temperaturverteilung an einer 3,9 x 55 Schnellbauschraube (Bekleidung 18 mm GKF)

3.2.1 Beurteilung der Verkohlung durch den Schraubenauszugswiderstand

Zur objektiven Beurteilung des Schädigungsgrades von Holz oder Holzwerkstoffen in unmittelbarer Umgebung einer Schraube wurde der Schraubenauszugswiderstand (nach [9]) untersucht. Dazu war es zunächst erforderlich, der Temperatur in 5 mm Entfernung von der Schraube eine Oberflächentemperatur des Holzes in einer Entfernung von 3 cm zuzuordnen. Um Fehlmessungen zu vermeiden, dürfen nämlich die Prüfkörper, an denen der Schraubenauszugswiderstand bestimmt werden soll, keine Schwächungen in Form von Bohrlöchern für die Thermoelemente aufweisen. Es kam wieder eine 3,9 x 55 Schnellbauschraube zum Einsatz.

3.2.2 Ermittlung der Vergleichstemperatur in der Oberfläche

Als Indikatorplatte wurde eine 19 mm dicke Spanplatte gewählt. Diese wurde entweder mit einer Lage 12,5 mm GKF-Platte (Versuchsreihe a, b), mit zwei Lagen 12,5 mm GKF-Platten (Versuchsreihe c, d) oder zwei Lagen bestehend aus 12,5 mm und 18 mm GKF-Platten (Versuche e, f) verschraubt. Um die Temperaturentwicklung im Bereich der Schraube genauer untersuchen zu können, wurden Thermoelemente (Perlen) in einem Abstand von 5, 10, 15 und 20 mm Entfernung angeordnet. Zugleich wurde die Temperatur in der Grenzschicht zwischen Holz und Gipsplatte in einem Abstand von 3 cm mit Hilfe eines Plättchen-Thermoelementes gemessen. Je Bekleidungsvariante wurden 6 Versuche durchgeführt. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass ein Plättchen-Thermoelement aufgrund der größeren Fläche tendenziell höhere Temperaturen misst als Perlen-Thermoelemente.

Die Prüfkörper wurden im Cone-Kalorimeter mit einer Wärmestrahlung von 20 kW/m² bestrahlt. Abbildung 8 bis Abbildung 10 zeigen die Temperaturentwicklung an den 5 Messpunkten bei unterschiedlichen Bekleidungsstärken.

Bei einer Bekleidungsstärke von 12,5 mm weist das Plättchen-Thermoelement auf der Holzoberfläche zu Versuchsende eine höhere Temperatur auf als das Perlen-Thermoelement in 5 mm Entfernung. Dies ist einerseits auf die größere Fläche und damit bessere Temperaturentnahme des Plättchen-Thermoelementes zurückzuführen, das bei annähernd gleichen Oberflächentemperaturen den höheren Wert anzeigt. Andererseits ist bekannt, dass die dem Brand zugewandte Plattenlage häufig Risse in der Oberfläche im Verlauf des Brandversuchs bekommt. Dadurch kann eine erhöhte Temperaturbeaufschlagung der Fläche stattfinden. Dies hat zur Folge, dass der Probekörper zu Versuchsende bereits auf der gesamten

Oberfläche Verkohlungen aufweist. Die Probekörper mit einer Bekleidung aus einer Lage 12,5 mm GKF-Platten konnten daher für die Auswertung nicht herangezogen werden.

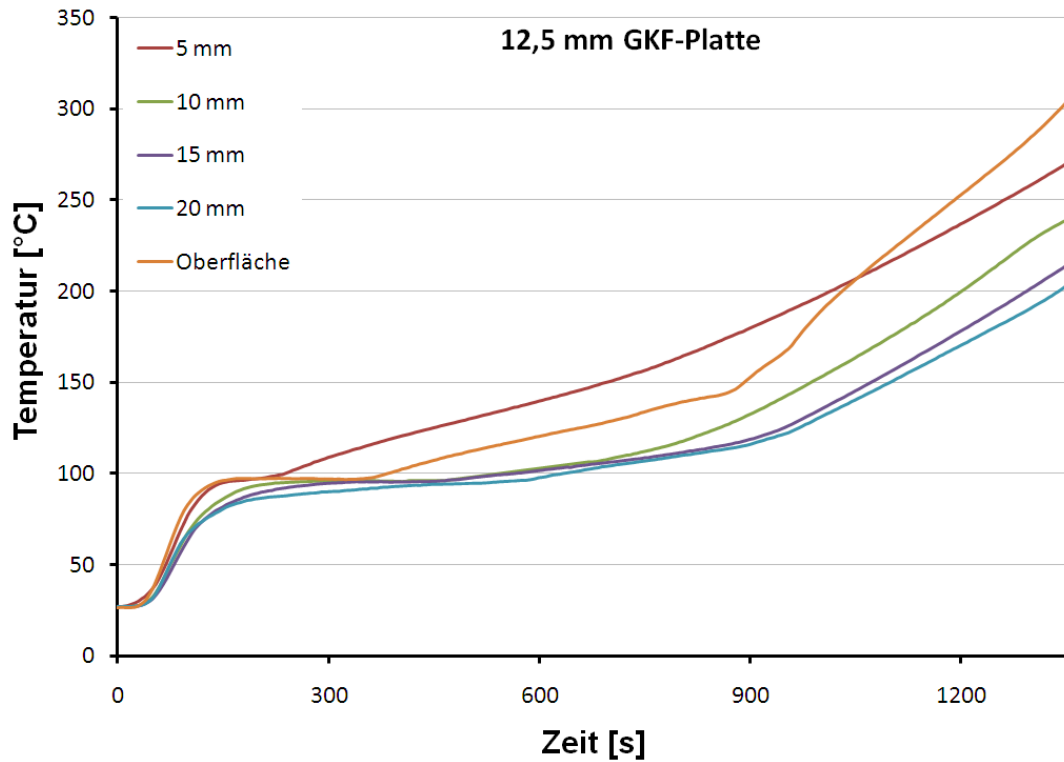


Abbildung 8: Temperaturverteilung an einer 3,9 x 55 Schnellbauschraube (Bekleidung 12,5 mm GKF)

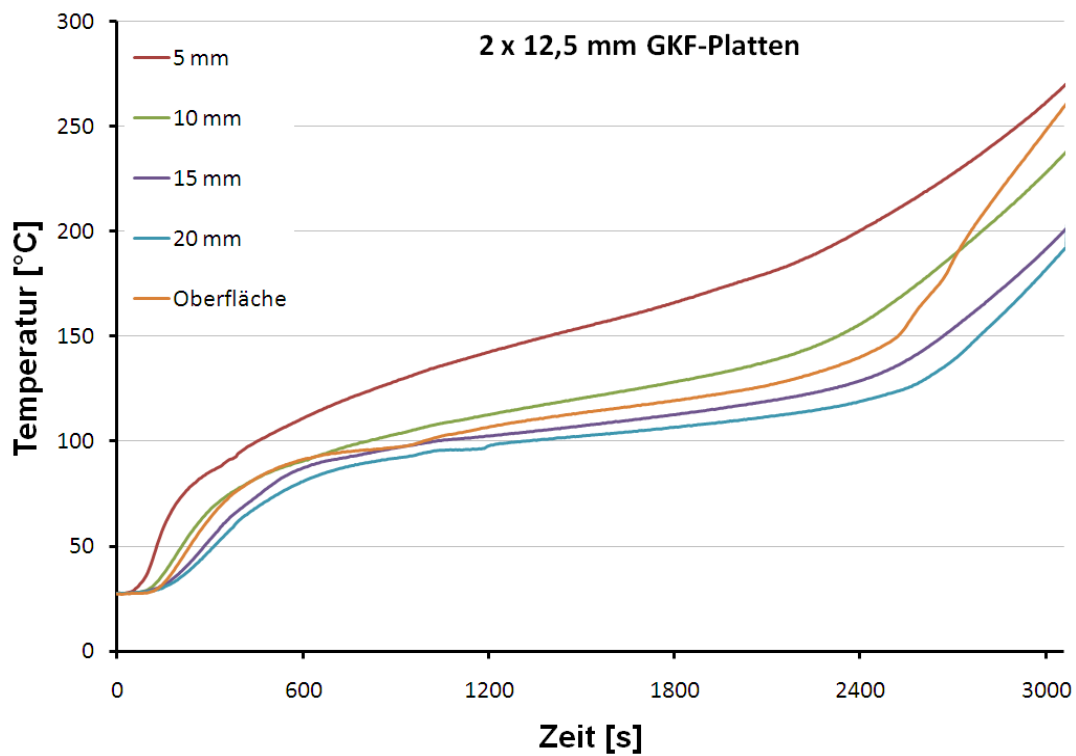


Abbildung 9: Temperaturverteilung an einer 3,9 x 55 Schnellbauschraube (Bekleidung 2 x 12,5 mm GKF)

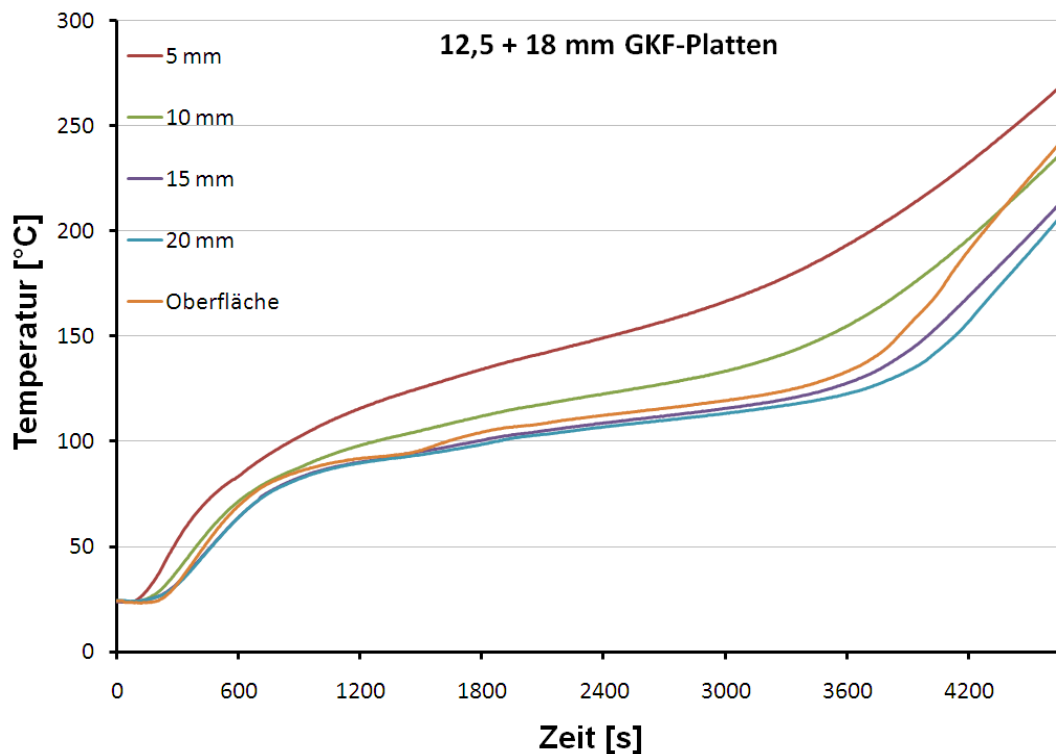


Abbildung 10: Temperaturverteilung an einer 3,9 x 55 Schnellbauschraube (Bekleidung 12,5 mm + 18 mm GKF)

Bei zwei Lagen 12,5 mm GKF-Platten und der Bekleidung aus 12,5 mm + 18 mm GKF-Platten weist das Thermoelement in 5 mm Entfernung von der Schraube die höchste Temperatur auf.

Ziel der Versuche war es, den Oberflächentemperaturen in ungestörten Bereichen eine Oberflächentemperatur in 5 mm Entfernung zu einer Schraube zuordnen zu können. Das Ergebnis dieser Auswertung ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Temperaturzuordnung von ungestörtem Bereich zu Schraubenabstand 5 mm

Temperatur in 5 mm Entfernung	Oberflächentemperatur bei 2 x 12,5 mm GKF	Oberflächentemperatur bei 12,5 + 18 mm GKF
100	87	87
125	101	99
150	116	115
175	130	127
200	154	150
225	204	193

250	246	230
270	268	252

Anschließend wurden erneut die gleichen Probekörper hergestellt. Es wurde jedoch nur die Temperatur in der Grenzschicht zwischen Holz und Gipskartonplatte gemessen. Der Versuch wurde abgebrochen, wenn die in Tabelle 2 aufgeführten Oberflächentemperaturen erreicht wurden. Dies bedeutete, dass die Temperatur in 5 mm Entfernung einer der in Spalte 1 angegebenen Temperaturstufen entsprach. Je Temperaturstufe wurden zwei Versuche durchgeführt.

Anschließend wurde der Probekörper aus dem Cone-Kalorimeter entnommen, die Schraube herausgedreht und die Gipsplatte abgenommen. Nachdem der Probekörper ausgekühlt war, wurde eine neue Schraube in das Loch eingedreht und der Schraubenauszugswiderstand bestimmt. Zwei weitere Versuche in den Eckbereichen der Spanplatten lieferten Vergleichswerte für den Schraubenauszugswiderstand ohne thermische Vorschädigung der Leibungsflächen. Um annähernd identische Randbedingungen zu schaffen, wurde auch bei den Vergleichsversuchen zunächst mit 2 mm vorgebohrt, anschließend eine Schraube eingedreht und wieder herausgedreht, um für den Auszugversuch wieder eine neue Schraube einzudrehen.

Abbildung 11 zeigt, dass bis zu einer Temperatur von 200 °C die Auszugswiderstände der temperaturbeanspruchten Schraube größer sind als die Vergleichswerte ohne Temperaturbeanspruchung. Die Ursache hierfür ist die Abnahme der Holzfeuchtigkeit der Spanplatte aufgrund der Erwärmung. Trockene Hölzer und Holzwerkstoffe weisen, wie Abbildung 12 am Beispiel der Druckfestigkeit zeigt, eine größere Festigkeit als Hölzer mit einer höheren Feuchtigkeit auf.

Abbildung 11 zeigt weiter, dass erst ab 225 °C ein signifikanter Abfall der Auszugswiderstände unter die Ausgangsfestigkeit (gemäß Abbildung 12 aus [6]) feststellbar ist. Unterhalb dieser Temperatur ist eine dauerhafte Schädigung der Holzsubstanz im Bereich der Schraube nicht feststellbar.

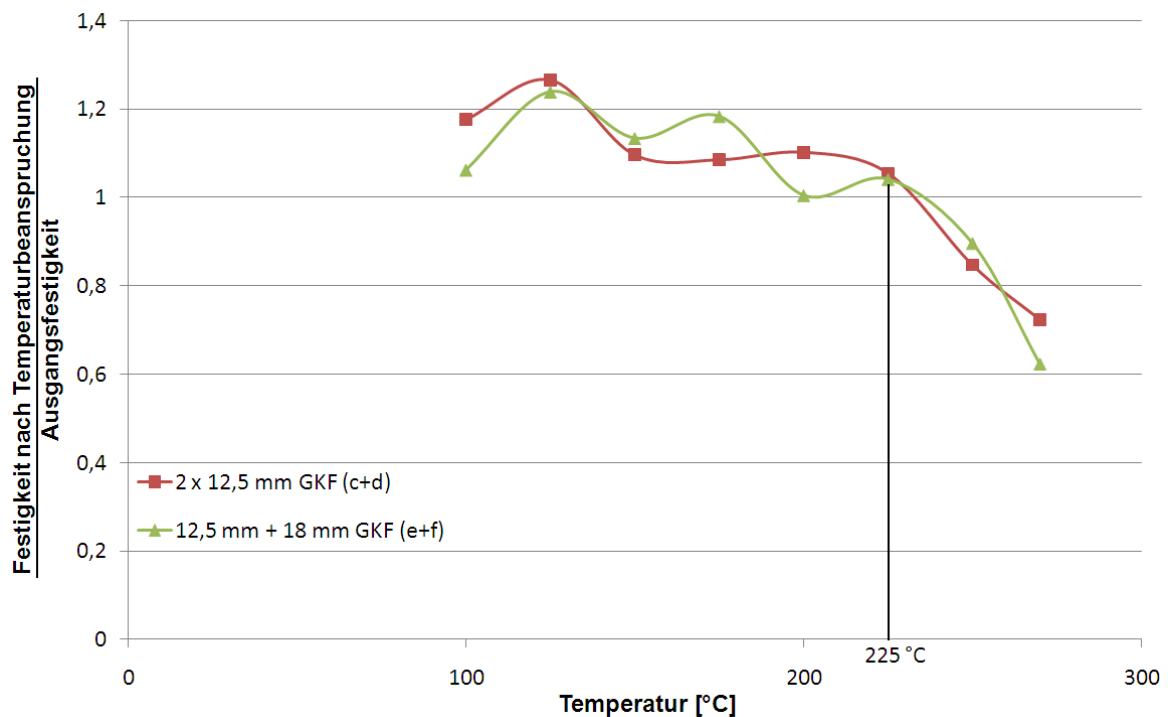


Abbildung 11: Temperaturabhängiger Schraubenauszugswiderstand

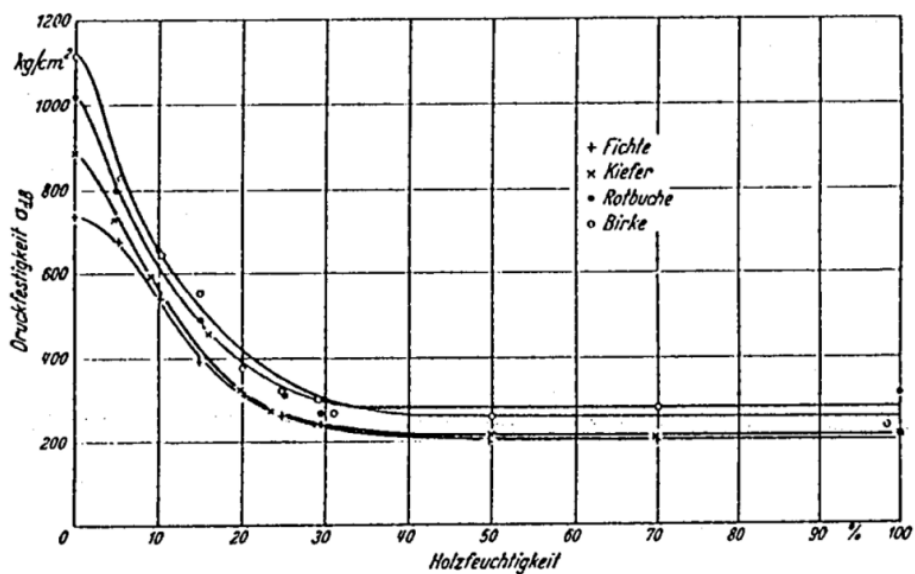


Abbildung 12: Ausgangsfestigkeit verschiedener Holzarten in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit (Quelle: Kollmann, Franz: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe [6])

In Abbildung 13 sind den Auszugswiderständen die Verfärbungen im Bereich der Schrauben zugeordnet. Auf der linken Seite befinden sich die Probekörper, die mit 2 Lagen 12,5 mm GKF-Platten geschützt waren. Auf der rechten Seite bestand die Bekleidung aus 12,5 mm und 18 mm GKF-Platten. Die Verfärbungen, die zu einer Temperatur von 225 °C (gemessen in 5 mm Abstand von der Schraube) gehören, sind rot umrandet.

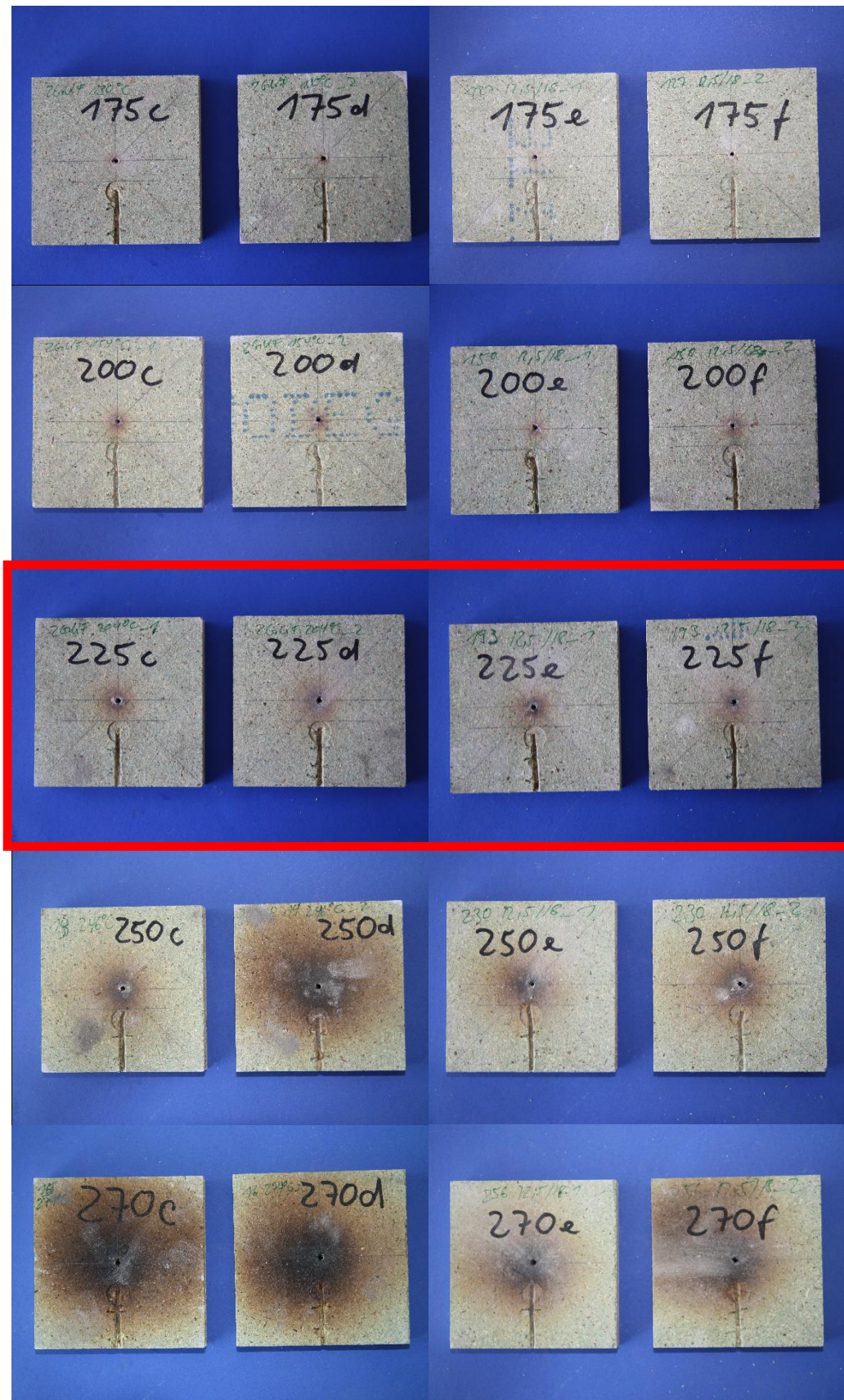


Abbildung 13: Verfärbungen im Bereich der Schrauben bei unterschiedlichen Temperaturen

3.3 Ergebnis zur zulässigen Verfärbung

Die nachfolgenden Angaben zu metallischen Verbindungsmitteln gelten nur in Verbindung mit einer Brandschutzbekleidung, die in der ungestörten Fläche das Temperaturkriterium einhält und keine Verkohlung aufweist. Weiterhin muss sichergestellt sein, dass die Verbindungsmittel in einem Abstand stehen, bei dem sich die Verfärbungsflächen nicht gegenseitig beeinflussen.

Die Untersuchungen sind mit dem aus brandschutztechnischer Sicht ungünstigsten Verbindungsmittel, der Schraube, durchgeführt worden. Die in der Praxis häufiger verwendeten Klammern weisen einen geringeren Schaftdurchmesser auf, besitzen somit eine geringere Wärmeleitung und sind daher letztendlich als günstiger einzustufen [7]. Dies bedeutet, dass die Untersuchungsergebnisse, auf der sicheren Seite liegend, ebenfalls für Klammern gelten. Eine Klammer, bestehend aus zwei Schenkeln, ist dabei als ein Verbindungsmittel anzusehen. Die Angaben beziehen sich nur auf metallische Verbindungsmittel mit einem Schaftdurchmesser $< 4\text{mm}$, da größere Durchmesser nicht untersucht wurden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es nur unter äußerst ungünstigen Umständen durch ein metallisches Verbindungsmittel zu einer frühzeitigen Entzündung bzw. zu einem Weiterglimmen von Holz kommen kann. Diese Randbedingungen liegen bei üblichen Konstruktionen hochfeuerhemmender Bauteile in Holzbauweise im Allgemeinen nicht vor.

Versuche mit einer glühenden Schraube zeigten, dass mindestens eine tiefschwarze Verkohlungsfläche von ca. 1 cm^2 vorliegen muss, damit die Menge an Pyrolysegasen ausreicht, eine Entzündung hervorzurufen. Eine detaillierte Untersuchung der Temperaturverteilung in der Umgebung des Verbindungsmittels zeigte, dass die Temperaturen mit zunehmender Entfernung sehr schnell abfallen.

Zur Untersuchung, ob eine Verkohlung mit einer dauerhaften Schädigung der Holzsubstanz verbunden ist oder nur eine Verfärbung vorliegt, wurden Schraubenauszugsversuche durchgeführt. Als kritische Temperatur haben sich 225 °C gemessen in 5 mm Entfernung zum Verbindungsmittel herausgestellt. Es wird daher vorgeschlagen, das 225 °C zuzuordnende Verfärbungsbild gemäß Abbildung 13 als maximal zulässige Verfärbung im Bereich eines Verbindungsmittels zu akzeptieren. Damit bietet sich ein erhebliches Optimierungspotenzial für brandschutztechnisch wirksame Bekleidungen, die zukünftig mit geringeren Dicken ausgeführt werden können. Dieser Nachweis ist allerdings nicht Gegenstand dieses Forschungsprojekts, sondern muss von den Baustoffherstellern in separaten Zulassungsversuchen gemäß DIN EN 13501 erbracht werden.

4 Verklebungen

Eine Möglichkeit die Dicke der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung zu reduzieren, bieten Verklebungen. Werden die Gipsplatten auf das Holzständerwerk geklebt, können die stiftförmigen, metallischen Verbindungsmittel wegfallen. Der erhöhte Temperatureintrag und die damit verbundene frühzeitige Verkohlung im Bereich der Verbindungsmittel finden nicht statt. Folglich kann die Brandschutzbekleidung unter Beibehaltung ihrer Leistungsfähigkeit in Bezug auf das Schutzziel Vermeidung von Hohlraumbränden in ihrer Stärke reduziert werden.

Die Klebetechnik kann zur Verklebung der ersten Lage der Brandschutzbekleidung auf dem Holzständerwerk angewendet werden. Bei aussteifenden Bekleidungen muss die Klebefuge in der Lage sein, die auftretenden Schubkräfte auch im Brandfall zu übertragen. Die Eignung bei Raumtemperatur konnte in einem bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben des WKI nachgewiesen werden.

Die zweite Möglichkeit ist, die Verklebung der brandzugewandten Lage der Brandschutzbekleidung auf der ersten Lage. Insbesondere stiftförmige Verbindungsmittel, die beide Lagen der Brandschutzbekleidung durchstoßen, sind als kritisch zu bewerten. Durch die Verklebung der brandzugewandten Lage wären die Verbindungsmittel, die zur schubsteifen Befestigung der ersten Lage auf dem Holzständerwerk benutzt werden, geschützt.

4.1 Schubtragfähigkeit unter Temperaturbeanspruchung

Zur Untersuchung von Verklebungen zwischen mineralischen Plattenwerkstoffen und dem Holzständerwerk unter Temperaturbeanspruchung wurde ein neuer Versuchsstand entwickelt. Dieser erlaubt es, Verklebungen zwischen einem Holzstab und einer Gipsplatte unter dem Cone-Kalorimeter zu erwärmen und die Klebefuge gleichzeitig auf Schub zu beanspruchen. Der Versuchsstand ist auf einem Rollwagen angeordnet (vgl. Abbildung 14). Der Versuchsaufbau besteht aus einem Kragarm, auf dem der zu untersuchende Probekörper fixiert werden kann. Dies erfolgt durch eine Metalleiste, an die die Gipsplatte angelegt wird. Über ein Stahlseil, welches an der Holzleiste befestigt wird, kann die Verklebung über eine Umlenkrolle durch Stahlgewichte auf Schub beansprucht werden. Nach Einbau und Belastung des Probekörpers kann durch den Rollwagen der Kragarm mit dem Probekörper exakt unter dem Heizstrahler des Cone-Kalorimeters positioniert werden. Die Probekörper wurden mit einer konstanten Wärmestromdichte von 20 kW/m^2 erwärmt, bis die Verbindung durch Schubbruch versagte. Über einen induktiven Wegaufnehmer wurde die Verformung gemessen.

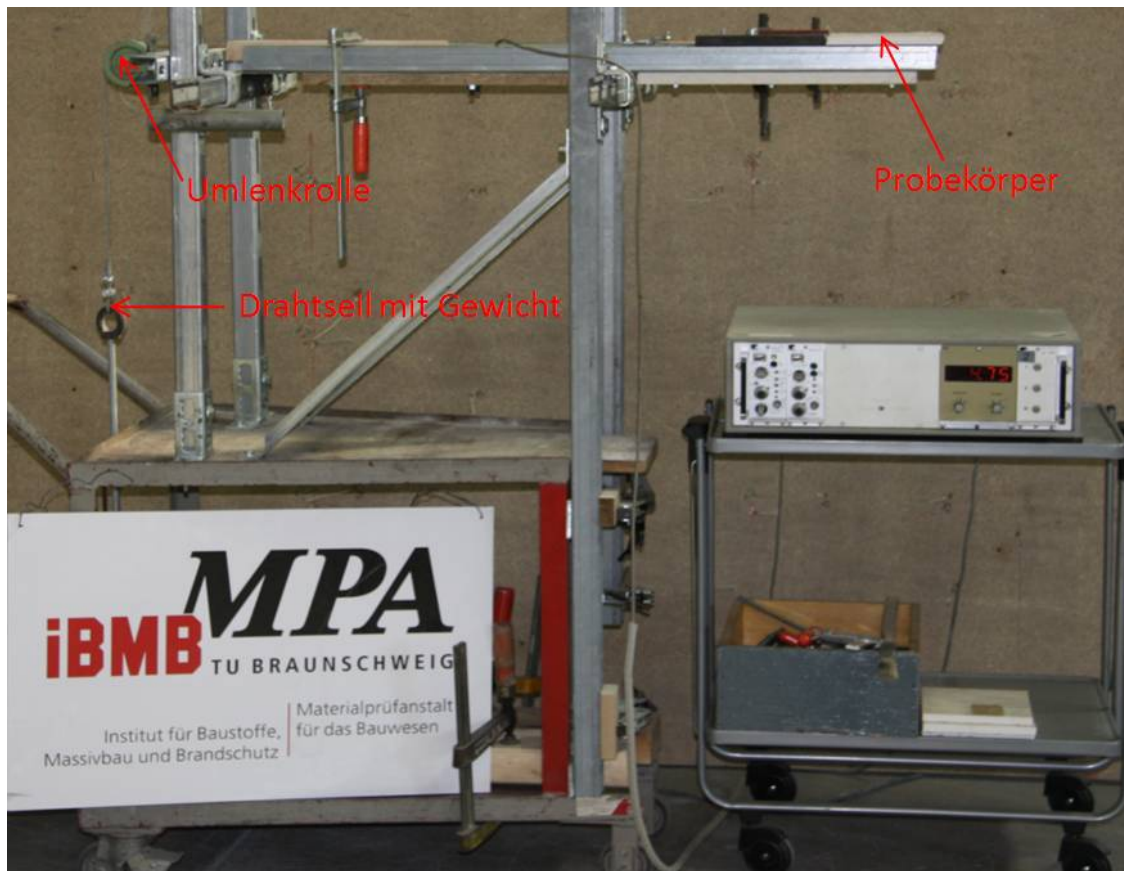


Abbildung 14: Versuchsstand zur Schubbeanspruchung von Klebefugen

4.1.1 Herstellung der Probekörper

Die Probekörper bestanden aus einer 30 cm langen Holzleiste mit einem Querschnitt von $4 \times 2 \text{ cm}^2$, die auf eine $15 \times 15 \text{ cm}^2$ große Gipskarton- oder Gipsfaserplatte geklebt wurden. Die Dicke der Gipskartonplatten betrug 12,5 mm, die der Gipsfaserplatten 10 mm. Die Holzleiste wurde 3 mm tief an dem zu klebenden Ende ausgefräst, so dass eine kreisrunde Fläche mit dem gewünschten Durchmesser d stehen blieb. Diese Fläche wurde mit einer definierten Menge Klebstoff bestrichen und auf die Gipsplatte aufgeklebt. Es kamen insgesamt 4 unterschiedliche Klebstoffe zum Einsatz, deren Eignung für mineralische Platten bei Normaltemperatur bereits in anderen Vorhaben nachgewiesen wurde. Neben der Klebefläche wurde ein Thermoelement angeordnet, um die Temperatur zum Zeitpunkt des Versagens abschätzen zu können.

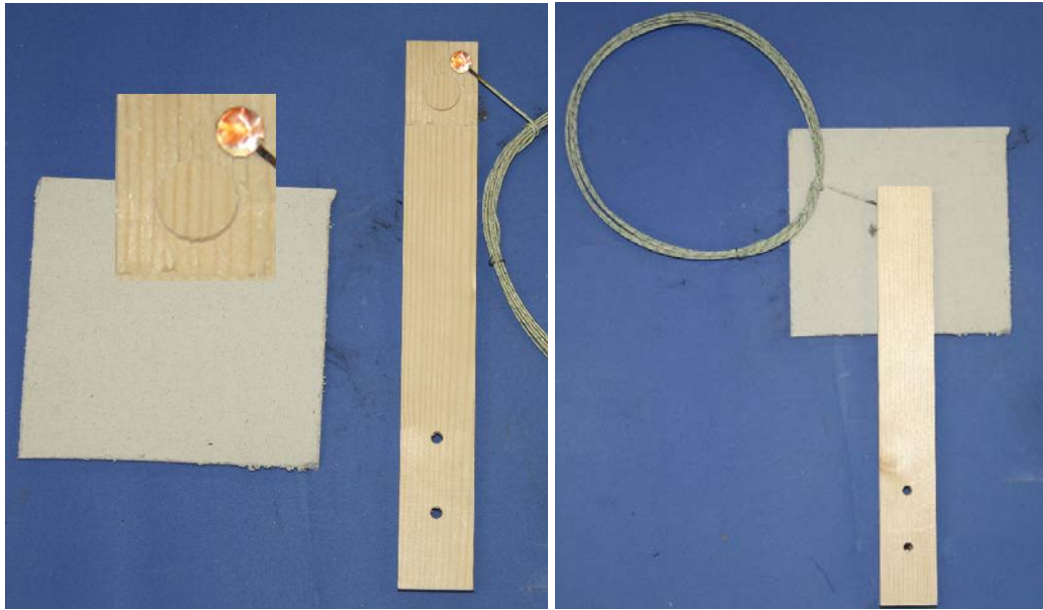


Abbildung 15: Herstellung der Probekörper für die Versuche zur Bestimmung der Schubtragfähigkeit

4.1.2 Vorversuche zur Festlegung der Klebefläche

4.1.2.1 Versuchsdurchführung

In einem ersten Schritt wurden Versuche bei Raumtemperatur durchgeführt mit dem Ziel, die Fläche der Verklebung für die weitere Versuchsdurchführung zu optimieren. Hierbei wurden verschiedene Materialkombinationen mit Klebstoff B verbunden und mit steigender Schubbeanspruchung bis zum Versagen belastet. Die untersuchten Kombinationen aus Holzleiste, Bekleidungsmaterial und Klebstoff sind in Tabelle 3 dargestellt. Der Durchmesser der kreisförmigen Klebefläche wurde mit $d = 1 \text{ cm}$, $d = 2 \text{ cm}$ und $d = 3 \text{ cm}$ variiert.

4.1.2.2 Versuchsergebnis

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Art des Versagens ist in Versagen der Holz- bzw. MDF-Leiste, Versagen der Gipsplatte und Versagen der Klebefuge zu unterscheiden. Da alle Versagensarten eintraten, konnte die Festigkeit der Klebefuge nicht eindeutig festgestellt werden. Vielmehr wurde die Festigkeit der Gesamtverbindung ermittelt.

Der Versuch mit der maximalen Klebefläche ($d = 3 \text{ cm}$) konnte nicht bis zum Versagen geprüft werden, da die Versuchseinrichtung nur für geringere Lasten ausgelegt ist. Um die Auswirkungen von Fehlstellen in der Klebefuge zu minimieren, wurde für die weiteren Versuche die mittlere Klebefläche mit einem Durchmesser $d = 2 \text{ cm}$ gewählt.

Die Versuche lieferten bei einer Klebefläche mit einem Durchmesser von 2 cm eine Schubfestigkeit zwischen $1,8 \text{ N/mm}^2$ und $3,5 \text{ N/mm}^2$.

Tabelle 3: Bestimmung der optimalen Klebefläche

Durchmesser d. Klebefläche [cm]	Materialkombination	Versagenslast [kg]	Spannung [N/mm ²]	Versagensart
1,0	Gipsfaserplatte mit Holz	25,5	3,2	Holz
1,0	Gipsfaserplatte mit MDF	25,5	3,2	Holz & Klebefläche
1,0	Gipskartonplatte mit Holz	22,0	2,7	Holz
1,0	Gipskartonplatte mit MDF	20,5	2,6	Holz
2,0	Gipsfaserplatte mit Holz	112,5	3,5	Gipsfaserplatte
2,0	Gipsfaserplatte mit MDF	86,5	2,7	MDF
2,0	Gipskartonplatte mit Holz	70,0	2,2	Gipskartonplatte
2,0	Gipskartonplatte mit MDF	56,0	1,8	Gipskartonplatte
3,0	Gipskartonplatte mit Holz	--/--	--/--	Keine

4.1.3 Bestimmung der Schubtragfähigkeit bei Raumtemperatur

Die nachfolgenden Versuche wurden mit der zuvor festgelegten runden Klebefläche mit einem Durchmesser von 2,0 cm durchgeführt. Dies entspricht einer Fläche von 3,14 cm². Zur späteren Bewertung der Untersuchungsergebnisse bei Temperaturbeanspruchung war es erforderlich, die Schubtragfähigkeit der Klebefugen bei Raumtemperatur zu kennen.

4.1.3.1 Versuchsdurchführung

Neben dem Einfluss der Bekleidungsmaterialien auf die Schubtragfähigkeit einer Klebefläche sollte in den folgenden Versuchen ebenfalls der Einfluss des Klebstoffes untersucht werden. Es kamen vier verschiedene Klebstoffe zum Einsatz, deren Eignung bei Raumtemperatur bereits in einem vorangegangenen Forschungsvorhaben des WKI nachgewiesen wurde. Die verschiedenen Klebstoffe werden in diesem Bericht produktneutral als Klebstoff A, Klebstoff B, Klebstoff C und Klebstoff D bezeichnet. Die Durchführung der Versuche erfolgte in dem zuvor beschriebenen Versuchsstand, allerdings ohne die Erwärmung im Cone-Kalorimeter. Das Gewicht wurde bis zum Versagen der Klebeverbindung stufenweise erhöht.

4.1.3.2 Versuchsergebnisse

Die ermittelten Schubtragfähigkeiten wurden für die in Tabelle 4 aufgeführten Materialkombinationen ohne Erwärmung durch das Cone-Kalorimeter bestimmt.

Tabelle 4: Schubtragfähigkeit bei Raumtemperatur

Bezeichnung	Materialkombination	Versagenslast [kg]	Spannung [N/mm ²]	Versagensart
<i>Klebstoff A</i>				
A-01	Gipskarton mit Holz	33	1,05	Gipskartonplatte
A-02	Gipskarton mit Holz	31	0,99	Gipskartonplatte
A-03	Gipsfaser mit Holz	35	1,10	Gipsfaserplatte
A-04	Gipsfaser mit Holz	25	0,80	Gipsfaserplatte.
<i>Klebstoff B</i>				
B-01	Gipskarton mit Holz	65	2,07	Gipskartonplatte
B-02	Gipskarton mit Holz	82,5	2,63	Gipskartonplatte
B-03	Gipsfaser mit Holz	27,5	0,88	Gipsfaserplatte
B-04	Gipsfaser mit Holz	51,5	1,64	Gipsfaserplatte
<i>Klebstoff C</i>				
C-01	Gipskarton mit Holz	38	1,21	Gipskartonplatte
C-02	Gipskarton mit Holz	36,5	1,16	Gipskartonplatte
C-03	Gipsfaser mit Holz	36,5	1,16	Gipsfaserplatte
C-04	Gipsfaser mit Holz	38,5	1,23	Gipsfaserplatte
<i>Klebstoff D</i>				
D-01	Gipskarton mit Holz	72	2,29	Gipskartonplatte
D-02	Gipskarton mit Holz	52	1,66	Gipskartonplatte
D-03	Gipsfaser mit Holz	42,5	1,35	Gipsfaserplatte
D-04	Gipsfaser mit Holz	36,5	1,16	Gipsfaserplatte

4.1.4 Bestimmung der temperaturabhängigen Schubtragfähigkeit

4.1.4.1 Versuchsdurchführung

Für die Hauptversuchsreihe wurden ausschließlich Nadelholzleisten mit jeweils einer ca. 15 x 15 cm² großen Gipskarton- oder Gipsfaserplatte durch eine Klebefläche mit einem Durchmesser von 2 cm verbunden. Es wurden wiederum die vier Sorten Klebstoff (A bis D) verwendet. Bei einigen Probekörpern wurde direkt neben der Klebefläche ein Thermoelement befestigt, um Rückschlüsse auf die Temperatur in der Klebefuge ziehen zu können.

Da im Brandfall als außergewöhnlichem Lastfall mit reduzierten Sicherheiten gerechnet wird, sind die Belastungen für die folgende Versuchsreihe unter Temperatureinfluss zu mindern. Vereinfacht müssen im Brandfall nur $\approx 60\%$ der Bemessungswerte der Einwirkungen bei Raumtemperatur angesetzt werden. Ebenso ist der Teilsicherheitsbeiwert auf Baustoffseite anstatt mit $\approx 1,3$ mit 1,0 anzusetzen, auch der k_{mod} -Wert liegt im Brandfall bei 1,0 anstatt bei $\approx 0,9$. Für die charakteristischen Festigkeiten ist anstelle des 5 %-Quantils das 20 %-Quantil zu berücksichtigen. Zur Untersuchung der Schubfestigkeit unter Temperaturbeanspruchung wurde daher die Belastung reduziert. Es wurde eine Belastung von 16,5 kg gewählt. Dies entspricht einer Schubspannung von 0,52 N/mm².

4.1.4.2 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt. Bei fast allen Verbindungen trat das Versagen bereits bei Temperaturen $< 100\text{ °C}$ auf. Das Versagen der Verbindung zeigte sich immer in einem Versagen der Gipsplatte. Die Untersuchung der Probekörper direkt nach Versuchsende zeigte zudem, dass die Gipsplatten auf Grund sehr hoher Feuchte aufgeweicht waren. Die steigenden Temperaturen über 100 °C lösen das chemisch gebundene Kristallwasser aus der Platte, das dann als Wasserdampf das Gefüge der Platte aufweicht. Als Folge hiervon trat das frühzeitige Versagen der Gipsplatten auf.

Die gemessenen Temperaturen bis zum Versagen der Gipsplatten waren zu gering, um durch Klebeverbindungen zwischen Ständerwerk und Gipsplattenbekleidung die Brandschutzbekleidung reduzieren zu können.

Tabelle 5: Versagenstemperaturen für Klebstoff A

Klebstoff A	Material- kombination	Versagens- temperatur [°C]	Versagensart	Spannung [N/mm ²]	Versagens- zeitpunkt [s]
A-05	Gipskarton m. Holz	~ 56	Gipsk.	0,52	215
A-06	Gipskarton mit Holz	~ 77	Gipsk.	0,52	240
A-07	Gipskarton mit Holz	~ 60	Gipsk.	0,52	222
A-08	Gipskarton mit Holz	~ 64	Gipsk.	0,52	231
A-09	Gipsfaser mit Holz	~ 75	Gipsf.	0,52	260
A-10	Gipsfaser mit Holz	~ 77	Gipsf.	0,52	445
A-11	Gipsfaser mit Holz	~ 86	Gipsf.	0,52	300
A-12	Gipsfaser mit Holz	~ 78	Gipsf.	0,52	275

Tabelle 6: Versagenstemperaturen für Klebstoff B

Klebstoff B	Material-kombination	Versagens-temperatur [°C]	Versagensart	Spannung [N/mm ²]	Versagens-zeitpunkt [s]
B-05	Gipskarton m. Holz	~77,1	Gipsk.	0,52	315
B-06	Gipskarton mit Holz	~91	Gipsk.	0,52	275
B-07	Gipskarton mit Holz	~86	Gipsk.	0,52	270
B-09	Gipskarton mit Holz	~85	Gipsk.	0,52	285
B-08	Gipsfaser mit Holz	~97,5	Gipsf.	0,52	370
B-10	Gipsfaser mit Holz	~218,26	Gipsf.	0,52	1340
B-11	Gipsfaser mit Holz	~235	Gipsf.	0,52	1110
B-12	Gipsfaser mit Holz	nicht gepr.	Gipsf.	0,52	

Tabelle 7: Versagenstemperaturen für Klebstoff C

Klebstoff C	Material-kombination	Versagens-temperatur [°C]	Versagensart	Spannung [N/mm ²]	Versagens-zeitpunkt [s]
C-05	Gipskarton m. Holz	nicht gepr.	Gipsk.	0,52	
C-06	Gipskarton mit Holz	~66,5	Gipsk.	0,52	220
C-07	Gipskarton mit Holz	~66,5	Gipsk.	0,52	245
C-08	Gipskarton mit Holz	~60,2	Gipsk.	0,52	230
C-09	Gipsfaser mit Holz	~91,4	Gipsf.	0,52	295
C-10	Gipsfaser mit Holz	~85	Gipsf.	0,52	545
C-11	Gipsfaser mit Holz	~56	Gipsf.	0,52	225
C-12	Gipsfaser mit Holz	~88,5	Gipsf.	0,52	505

Tabelle 8: Versagenstemperaturen für Klebstoff D

Klebstoff D	Material-kombination	Versagens-temperatur [°C]	Versagensart	Spannung [N/mm ²]	Versagens-zeitpunkt [s]
D-05	Gipskarton m. Holz	~66	Gipsk.	0,52	315
D-06	Gipskarton mit Holz	~67,9	Gipsk.	0,52	340
D-07	Gipskarton mit Holz	~73,7	Gipsk.	0,52	240
D-08	Gipskarton mit Holz	~71,07	Gipsk.	0,52	225
D-09	Gipsfaser mit Holz	~89,6	Gipsf.	0,52	300
D-10	Gipsfaser mit Holz	~81,4	Gipsf.	0,52	315
D-11	Gipsfaser mit Holz	~91,3	Gipsf.	0,52	335
D-12	Gipsfaser mit Holz	~91,5	Gipsf.	0,52	315

4.1.5 Bestimmung der Temperaturbeständigkeit des Klebers

Um die Ursache der im Kapitel 4.1.4 festgestellten fehlenden Temperaturbeständigkeit der Schubtragfähigkeit herauszufinden, wurde das Verhalten der vier Kleber mit Hilfe von Thermogravimetrischen Analysen (TGA) ausschließlich unter Temperaturbeanspruchung untersucht. Während bei den Zugscherversuchen im Cone-Kalorimeter ganze Systeme hinsichtlich ihrer Temperaturbeständigkeit untersucht wurden, beschränkten sich die TGA Versuche auf eine Systemkomponente, den Kleber. Mit Hilfe der TGA lassen sich Reaktionen innerhalb eines Materials bei bestimmten Temperaturen ermitteln. Abbildung 16 zeigt beispielhaft eine TGA von Gips. Die schwarze Kurve gibt die Masse wieder, die rote Kurve die Energie, die benötigt wird, um eine konstante Temperaturerhöhung zu gewährleisten. Wird eine positive Energiemenge angezeigt, laufen exotherme Reaktionen ab. Bei einem negativen Wert handelt es sich um endotherme Reaktionen. Anhand der schwarzen Kurve kann die Menge des im Gips gebundenen Kristallwassers ermittelt werden, das bei einem Temperaturbereich zwischen ca. 100 °C und 120 °C ausgeschieden wird.

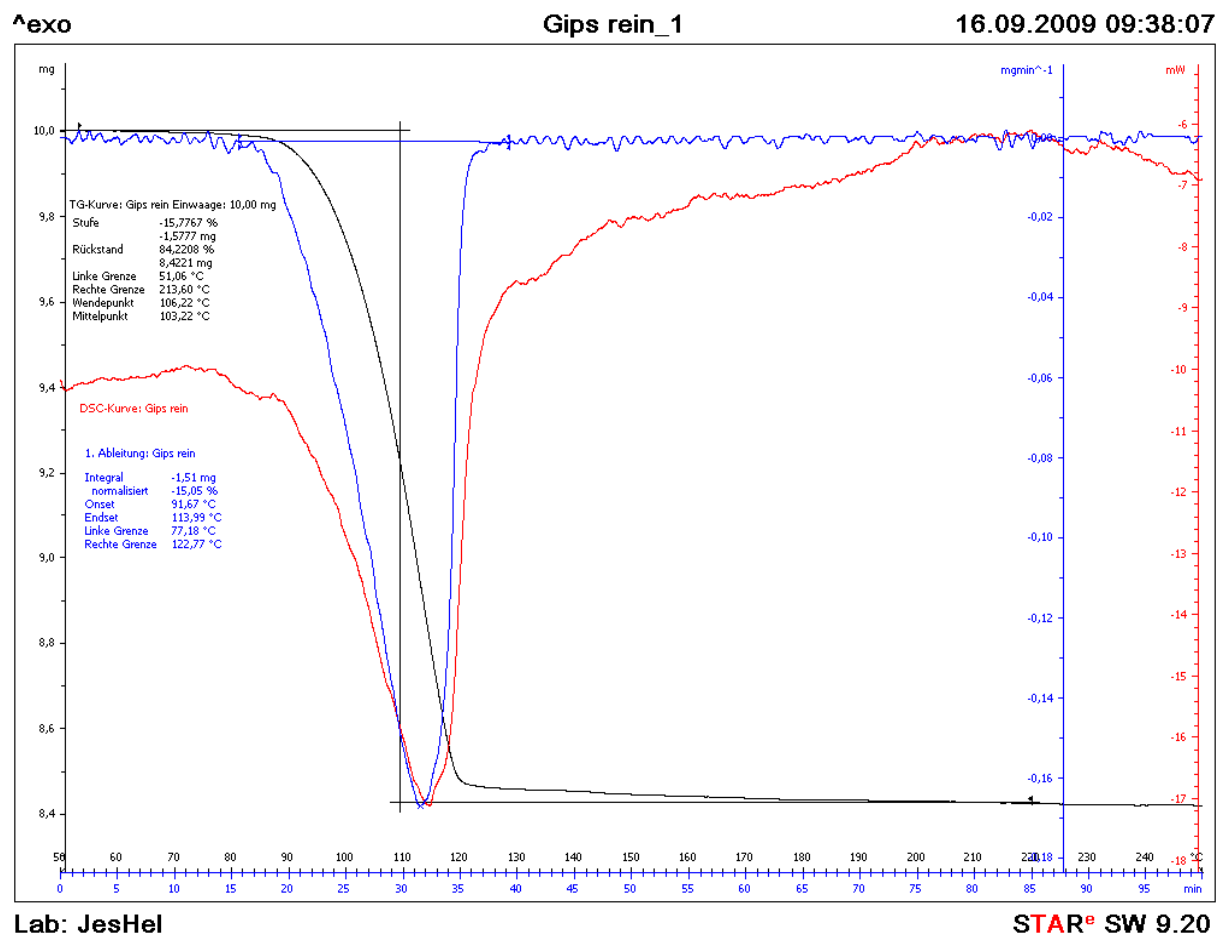


Abbildung 16: TGA einer Gipsprobe

Die Untersuchungen der Kleber mit Hilfe der TGA zeigten, dass bis zu einem Temperaturbereich von 240 °C keine nennenswerten Reaktionen stattfinden. In Abbildung 17 links ist z. B. ersichtlich, dass kein nennenswerter Masseverlust stattfindet. Abbildung 17 rechts lässt vermuten, dass es sich bei den sehr geringen Mengen an Masseverlust um das Verdampfen von Wasser handelt, da die maximale Energie, ähnlich wie beim Gips, bei einem Temperaturbereich von ca. 100 °C benötigt wird. Betrachtet man jedoch die TGA-Ergebnisse im Detail (Abbildung 18), so ist zu erkennen, dass bei einzelnen Klebern (D) ab einem Temperaturbereich von ca. 180 °C ein erhöhter Masseverlust eintritt, dessen Ursache und Auswirkung nicht eindeutig festgestellt werden konnte. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass in dem Temperaturbereich bis ca. 150 °C keine Reaktionen stattfinden, die den Festigkeitsverlust, der bei den Untersuchungen mittels des Cone-Kalorimeters festgestellt worden ist, erklären.

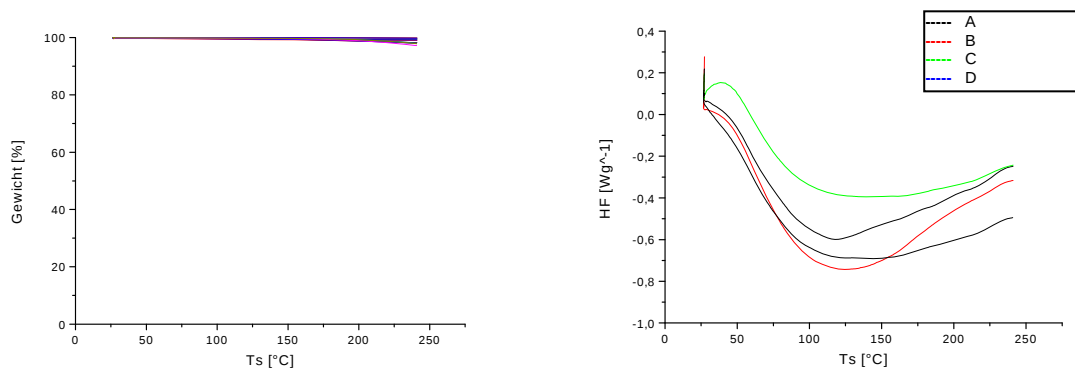


Abbildung 17: TGA der eingesetzten Kleber

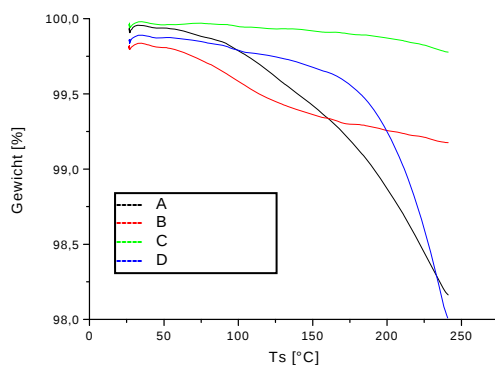


Abbildung 18: TGA der eingesetzten Kleber

4.1.6 Vergleichswerte bei Verwendung von Stahlplatten

Ausgehend von den Ergebnissen der TGA (Kapitel 4.1.5) wurden zur Untersuchung der Festigkeit der Verklebung anstelle der Gipsplatten Stahlplatten auf die Holzstiele aufgeklebt. Die in Tabelle 9 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Versagenstemperaturen mit Werten größer 200 °C deutlich höher waren als bei den Verklebungen mit Gipsplatten. Die Versuche zeigten, dass das Versagen der Klebeverbindung bei Werkstoffkombinationen mit Gipsplatten nicht von der Temperatur, sondern in erster Linie von der Feuchtigkeit des Materials abhängig war.

Aus den Ergebnissen kann für die Baupraxis abgeleitet werden, dass es erforderlich ist, die im Brandfall austretende Feuchtigkeit der Gipsplatten von der Verklebung fernzuhalten. Dies kann durch die Anordnung einer Dampfsperre erfolgen.

Tabelle 9: Temperaturabhängige Schubtragfähigkeit der Klebefugen in Verbindung mit Stahl

Klebstoff A	Material- kombination	Versagens- temperatur [°C]	Versagensart	Spannung [N/mm ²]	Versagens- zeitpunkt [s]
A-13	Stahl mit Holz	~259	Klebefuge	0,52	715
A-14	Stahl mit Holz	~223	Klebefuge	0,52	800
B-13	Stahl mit Holz	~246	Klebefuge	0,52	2945
B-14	Stahl mit Holz	~255	Klebefuge	0,52	760
C-13	Stahl mit Holz	~136	Klebefuge	0,52	365
C-14	Stahl mit Holz	~150	Klebefuge	0,52	365
D-13	Stahl mit Holz	~201	Klebefuge	0,52	690
D-14	Stahl mit Holz	~208	Klebefuge	0,52	515

4.1.7 Untersuchung der Feuchtigkeitsentwicklung in der Klebefuge

Um die Feuchtigkeitsentwicklung in der Klebefuge während der Temperaturbeaufschlagung zu ermitteln, wurde in einen Holzquader ein Hohlraum gefräst, in dem ein Feuchtigkeitssensor angeordnet wurde. Der Holzquader wurde durch eine Gipsplatte bekleidet und anschließend mit dem Cone-Kalorimeter erwärmt. Ziel dieser Versuchsreihe war es, den Temperaturen in der Ebene der Klebefuge Feuchtigkeiten zuzuordnen zu können. Anschließend sollten den in Tabelle 5 bis Tabelle 8 angegebenen Versagenstemperaturen Materialfeuchtigkeiten zugeordnet werden.

4.1.7.1 Herstellung der Probekörper

Der Holzquader bestand aus Fichtenholz und hatte eine Größe von $9 \times 9 \times 18 \text{ cm}^3$. In diesen Holzquader wurde auf einer Seite ein $4 \times 1,8 \times 1,8 \text{ cm}^3$ großes Loch gefräst an das eine seitliche Bohrung mit einem Durchmesser von 15 mm anschloss. Durch den Seitenkanal wurde der Feuchtigkeitsfühler in den gefrästen Hohlraum geschoben und das Bohrloch luftdicht verschlossen. Anschließend wurde der Holzquader auf der Seite des Hohlraumes durch eine $20 \times 30 \text{ cm}^2$ große Gipsplatte bekleidet. Dazu wurden 12,5 mm dicke GKF-Platten, 12,5 mm dicke GF-Platten und 12,5 mm dicke GKB-Platten mit integrierter Dampfsperre in Form einer Aluminiumfolie verwendet.

4.1.7.2 Versuchsdurchführung

Von jedem Plattenmaterial wurden jeweils vier Probekörper hergestellt. Zwei davon wurden bei einer Wärmestromdichte von 10 kW/m^2 im Cone-Kalorimeter erhitzt, die beiden anderen bei jeweils 20 kW/m^2 .

4.1.7.3 Versuchsergebnis

Die Versuchsergebnisse sind in Abbildung 19 bis Abbildung 21 dargestellt. Bei allen Probekörpern ohne Dampfsperre steigt die Feuchtigkeit innerhalb der ersten Minuten auf ihren Sättigungswert von 100 %. Die zeitlichen Unterschiede bis zum Erreichen dieses Maximalwertes liegen zwischen 4 und 11 Minuten. Es ist allerdings keine eindeutige Abhängigkeit zum Plattenmaterial bzw. zur Wärmestrahlung erkennbar. Bei der Gipskartonplatte mit Dampfbremse stieg die Feuchte nach etwa 4 Minuten auf einen Maximalwert von 90 % und fiel anschließend wieder ab. Der Abfall der Feuchtigkeit ist durch die Erwärmung der Messkammer bedingt, da die relative Feuchtigkeit temperaturabhängig gemessen wird.

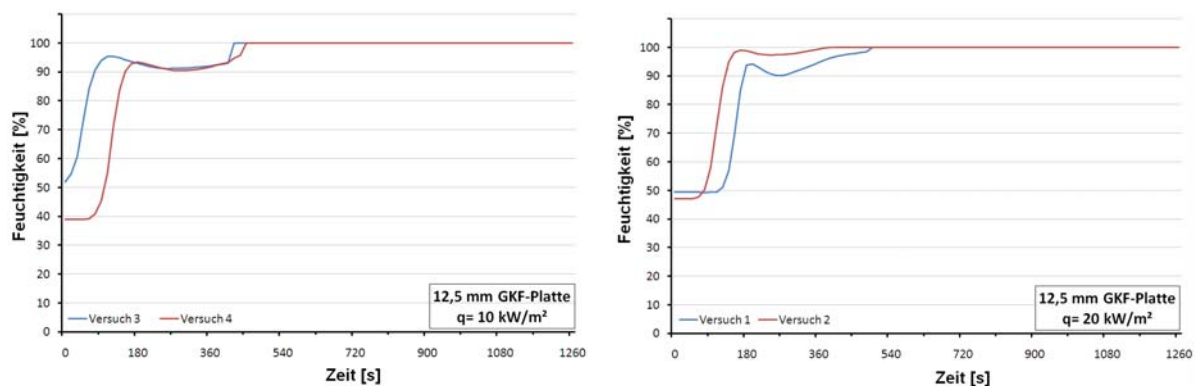


Abbildung 19: Feuchtigkeitsentwicklung unterhalb einer 12, 5 mm GKF-Platte

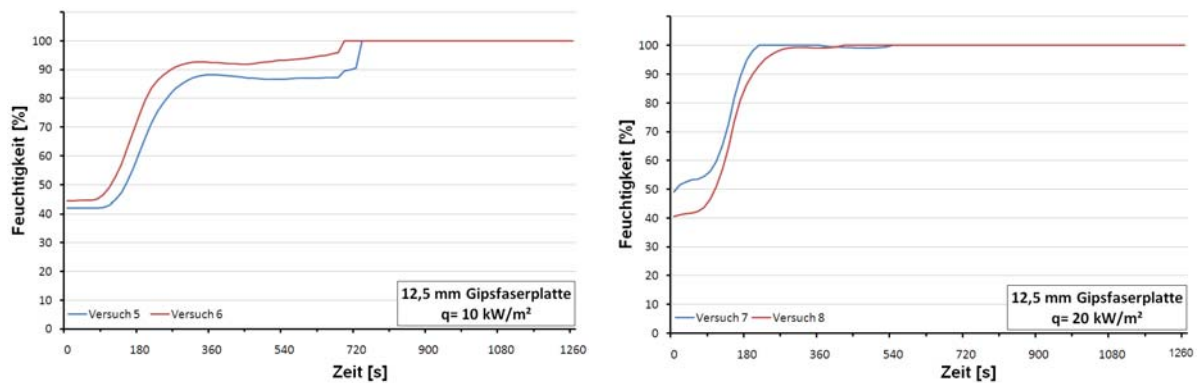


Abbildung 20: Feuchtigkeitsentwicklung unterhalb einer 12, 5 mm Gipsfaserplatte

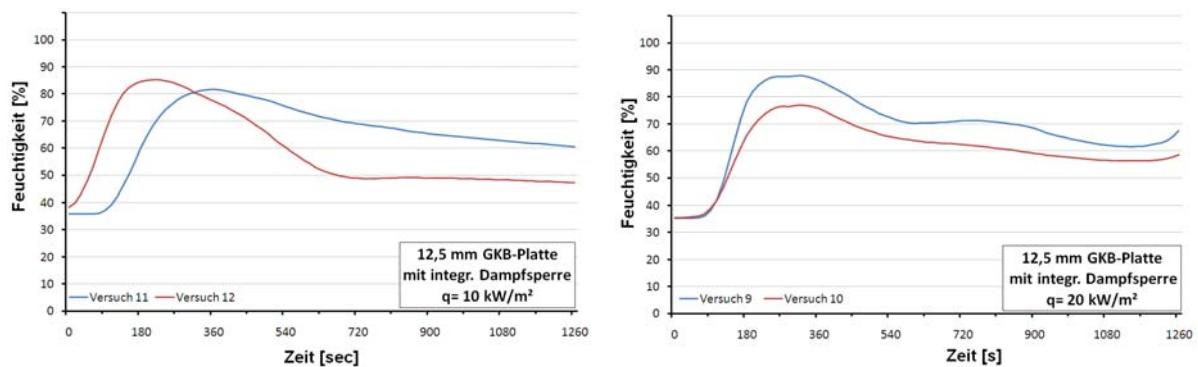


Abbildung 21: Feuchtigkeitsentwicklung unterhalb einer 12, 5 mm GKB-Platte mit Dampfsperre

Eine Zuordnung der gemessenen Feuchtigkeiten zu den Versagenstemperaturen zeigt, dass die Feuchtigkeit bereits auf ihren Maximalwert von 100 % angestiegen war und erst anschließend das Versagen der Klebefuge eintrat. Eine Zuordnung des Versagens ausschließlich zur relativen Luftfeuchtigkeit liefert somit keine Erkenntnisse. Hier wären weitere Untersuchungen erforderlich, bei denen die Materialfeuchte des Gipses und die damit verbundenen Festigkeitsänderungen untersucht werden. Hier könnten z. B. Sorptionsisothermen erstellt werden, die den Temperaturbereich bis etwa 100 °C abdecken. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen würden zwar nennenswerte Aussagen zum Temperaturverhalten des Gipses bei hohen Temperaturen liefern, diese sind jedoch für die Zielstellung dieses Vorhabens von eher untergeordneter Bedeutung. Zudem würden solche Untersuchungen den Rahmen dieses Vorhabens sprengen.

4.1.8 Systematische Tragfähigkeitsanalyse bei Temperaturbeanspruchung

In einer letzten Versuchsreihe wurden Verklebungen von GKF-Platten, Gipsfaserplatten und GKB-Platten mit integrierter Dampfsperre systematisch mit unterschiedlichen Laststufen bis zum Versagen geprüft. Als Belastung wurden 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg und 50 kg gewählt. Zum Einsatz kam dabei der, auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Versuche, am

besten geeignete Klebstoff B. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 10 bis Tabelle 12 dargestellt. In Abbildung 22 sind die Mittelwerte grafisch aufbereitet gegenübergestellt.

Tabelle 10: Temperaturabhängige Schubtragfähigkeit von Klebeverbindungen mit Gipsfaserplatten

Probe	Materialkombination	Belastung [kg]	Versagens-temperatur [°C]	Versagens-zeitpunkt [s]	Versagens-art	Spannung [N/mm ²]
I-01	Gipsfaser mit Holz	10	36,5	190	Material	0,31
I-02	Gipsfaser mit Holz	10	288,4	1230	Material	0,31
I-03	Gipsfaser mit Holz	10	288	1265	Material	0,31
I-19	Gipsfaser mit Holz	10	275	1340	Material	0,31
I-04	Gipsfaser mit Holz	20	92,8	320	Material	0,62
I-05	Gipsfaser mit Holz	20	79	295	Material	0,62
I-06	Gipsfaser mit Holz	20	92,3	345	Material	0,62
I-07	Gipsfaser mit Holz	30	n.a.		Material	0,94
I-08	Gipsfaser mit Holz	30	79	285	Material	0,94
I-09	Gipsfaser mit Holz	30	84,6	320	Material	0,94
I-18	Gipsfaser mit Holz	30	81,8	510	Material	0,94
I-10	Gipsfaser mit Holz	40	61,7	255	Material	1,25
I-11	Gipsfaser mit Holz	40	59,4	250	Material	1,25
I-12	Gipsfaser mit Holz	40	69,2	270	Material	1,25
I-14	Gipsfaser mit Holz	50	66,8	270	Material	1,56
I-15	Gipsfaser mit Holz	50	57,8	275	Material	1,56

Tabelle 11: Temperaturabhängige Schubtragfähigkeit von Klebeverbindungen mit GKF-Platten

Probe	Materialkombination	Belastung [kg]	Versagens-temperatur [°C]	Versagens-zeitpunkt [s]	Versagens-art	Spannung [N/mm ²]
J-01	Gipskarton mit Holz	10	75	315	Material	0,31
J-02	Gipskarton mit Holz	10	83,6	285	Material	0,31
J-03	Gipskarton mit Holz	10	86,9	290	Material	0,31
J-04	Gipskarton mit Holz	20	78,6	325	Material	0,62
J-05	Gipskarton mit Holz	20	77,3	295	Material	0,62
J-06	Gipskarton mit Holz	20	78,8	265	Material	0,62
J-07	Gipskarton mit Holz	30	67,4	250	Material	0,94
J-08	Gipskarton mit Holz	30	72,9	275	Material	0,94
J-09	Gipskarton mit Holz	30	68,2	300	Material	0,94
J-10	Gipskarton mit Holz	40	n.a.		Material	1,25
J-11	Gipskarton mit Holz	40	n.a.		Material	1,25
J-12	Gipskarton mit Holz	40	n.a.		Material	1,25
J-13	Gipskarton mit Holz	50	n.a.		Material	1,56
J-14	Gipskarton mit Holz	50	n.a.		Material	1,56
J-15	Gipskarton mit Holz	50	n.a.		Material	1,56

Tabelle 12: Temperaturabhängige Schubtragfähigkeit von Klebeverbindungen mit GKB-Platten mit integrierter Dampfsperre

Probe	Materialkombination	Belastung [kg]	Versagens-temperatur [°C]	Versagens-zeitpunkt [s]	Versagens-art	Spannung [N/mm ²]
K-01	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	10	66,6	370	Material	0,31
K-02	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	10	65,5	340	Material	0,31
K-03	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	10	68,7	340	Material	0,31
K-04	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	20	62,1	315	Material	0,62
K-05	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	20	62,2	305	Material	0,62
K-06	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	20	58	330	Material	0,62
K-07	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	30	34,4	210	Material	0,94
K-08	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	30	58,7	290	Material	0,94
K-09	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	30	40,2	215	Material	0,94
K-10	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	40	44,8	255	Material	1,25
K-11	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	40	41,2	235	Material	1,25
K-12	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	40	25,3	170	Material	1,25
K-13	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	50	23,3	295	Material	1,56
K-14	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	50	n.a.		Material	1,56
K-15	GKB _(Dampfsp.) mit Holz	50	n.a.		Material	1,56

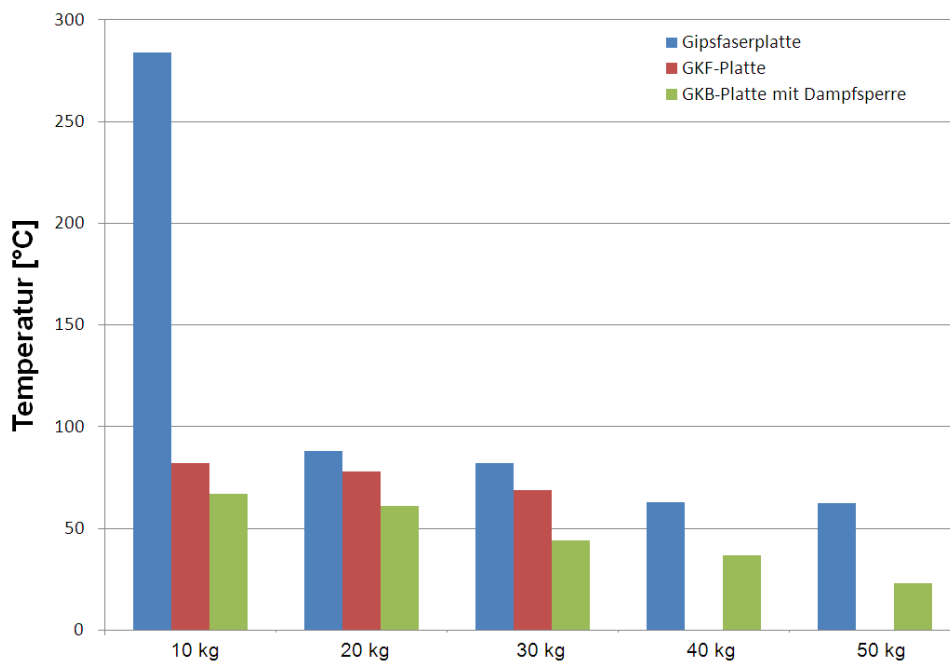


Abbildung 22: Temperaturabhängige Schubtragfähigkeit von Klebeverbindungen mit Gipsplatten

4.1.9 Temperaturentwicklung einer Brandschutzbekleidung mit Dampfbremse

4.1.9.1 Methoden

4.1.9.1.1 Brandprüfung im Kleinprüfstand nach DIN 4102-8

Zur Untersuchung der Feuchtebelastung der Klebefugen wurden Versuche im Kleinbrandprüfstand nach DIN 4102-8 [8] durchgeführt. Dabei wurden praxisnahe Holzkonstruktionen nach der Einheits-Temperaturkurve beansprucht. Während der Versuchsdauer wurden an relevanten Stellen sowohl die Temperatur als auch die relative Luftfeuchte gemessen. Zur Ermittlung der relativen Luftfeuchte mussten spezielle Fühler eingesetzt werden, die auch bei den auftretenden hohen Temperaturen noch verwendbar sind.

4.1.9.1.2 Numerische Simulation

Mit Hilfe numerischer Verfahren lassen sich einfachere Variationen an den zu untersuchenden Konstruktionen vornehmen als im Versuch. Mit dem Computerprogramm COMSOL Multiphysics können kombinierte physikalische Phänomene numerisch erfasst werden. Zu Beginn der Projektbearbeitung existierte noch kein geeignetes Modell, mit dem die physikalischen Vorgänge innerhalb einer Holzkonstruktion mit Gipsbauplatten bei Brandbeanspruchung mit ausreichender Genauigkeit beschrieben werden können. Daher wurden mathematische Modelle erarbeitet, die die relevanten Vorgänge wie Freisetzung des Kristallwassers, Veränderung der Wärmeleitfähigkeit durch Freisetzung des Kristallwassers oder

durch Verkohlung und Entstehung von Wasserdampf bei der Verbrennung von Erdgas (der Brenner wird mit Erdgas betrieben) beschreiben. Jedoch ist die Modellierung der Volumenvergrößerung bei der Umsetzung von flüssigem in gasförmiges Wasser und der damit einhergehenden weiteren Konsequenzen (Entstehung von Druck, Wärmetransport durch Strömung...) bei Weitem nicht ausgereift und bietet Raum für weitere Vorhaben.

4.1.9.2 Ergebnisse

4.1.9.2.1 Kleinbrandprüfstand

Die Ergebnisse der Untersuchungen am Kleinbrandprüfstand zeigen, dass die Feuchtigkeit im Bereich der Klebefuge wesentlich schneller ansteigt als die Temperatur und somit maßgeblich für das Versagen von Klebeverbindungen in Kombination mit Gipswerkstoffen ist. Abbildung 23 zeigt, dass die Feuchte auf der Rückseite der Platten bereits nach ca. 5 Minuten auf 100 % ansteigt, während die Temperatur nach ca. 15 Minuten noch unproblematische 70 °C beträgt (jeweils für 2 x 15 mm dicke Gipskartonplatten). Eine Verminderung der Feuchtebelastung ist mit Hilfe von dampfbremsenden Schichten möglich. Jedoch wird dadurch auch der Temperaturverlauf auf der Rückseite der Platten maßgeblich beeinflusst.

Abbildung 24 zeigt beispielhaft Messungen aus zwei Versuchen, die sich ausschließlich darin unterscheiden, dass bei dem einen Versuch eine dampfbremsende Schicht zwischen die beiden Gipsplatten eingebracht wurde. Die Rückseite der beiden Platten, bei denen die dampfbremsende Schicht eingefügt wurde, ist gegenüber der anderen Variante bis zu ca. 30 °C kälter.

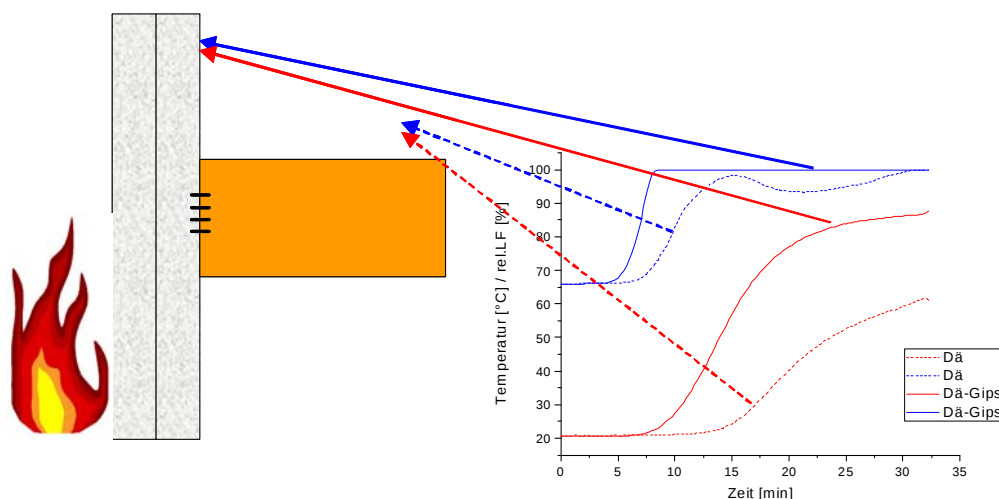


Abbildung 23: Verlauf der Temperatur (rot) und relativen Luftfeuchte (blau) auf der Rückseite der beiden je 15 mm dicken Gipsplatten (durchgezogene Linien) und innerhalb des Bauteils (gestrichelte Linien) bei Beanspruchung durch Brand (ETK)

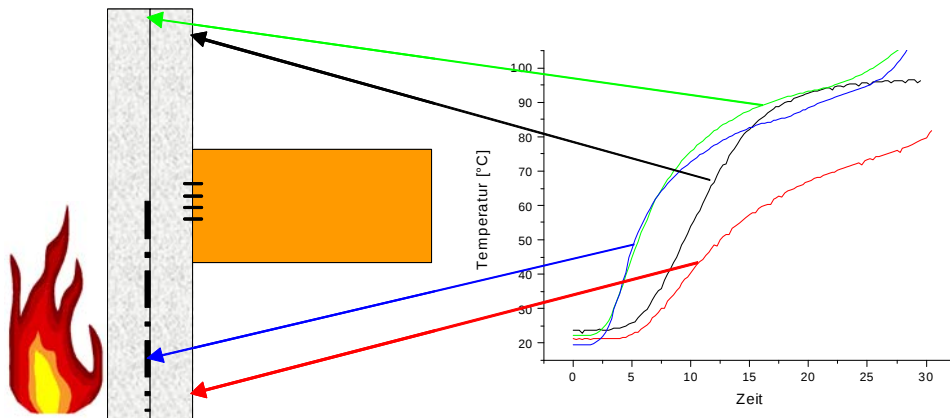


Abbildung 24: Verlauf der Temperatur zwischen (grün und blau) und auf der Rückseite (rot und schwarz) der beiden je 15 mm dicken Gipsplatten bei Verwendung (blau und rot) und Verzicht (grün und schwarz) einer Dampf bremsenden Schicht zwischen den Platten und bei Beanspruchung durch Brand (ETK)

4.1.9.2.2 Numerische Simulation

Während die Berechnung der Temperatur mit hinreichender Genauigkeit möglich ist, existieren bei der Berechnung der Feuchte noch nicht hinnehmbare Differenzen. Diese sind vor allem den überaus komplexen Verhältnissen geschuldet, die bei der Freisetzung und Verdampfung des Kristallwassers entstehen. Tendenzielle Veränderungen können jedoch mit ausreichender Genauigkeit in den quantitativen Ergebnissen ermittelt werden. So können vergleichende Aussagen zur Wirksamkeit einer Maßnahme getroffen werden; z. B. führt eine Maßnahme zu einer Reduzierung der Feuchtebelastung um 1/3 im Vergleich zur Referenzvariante.

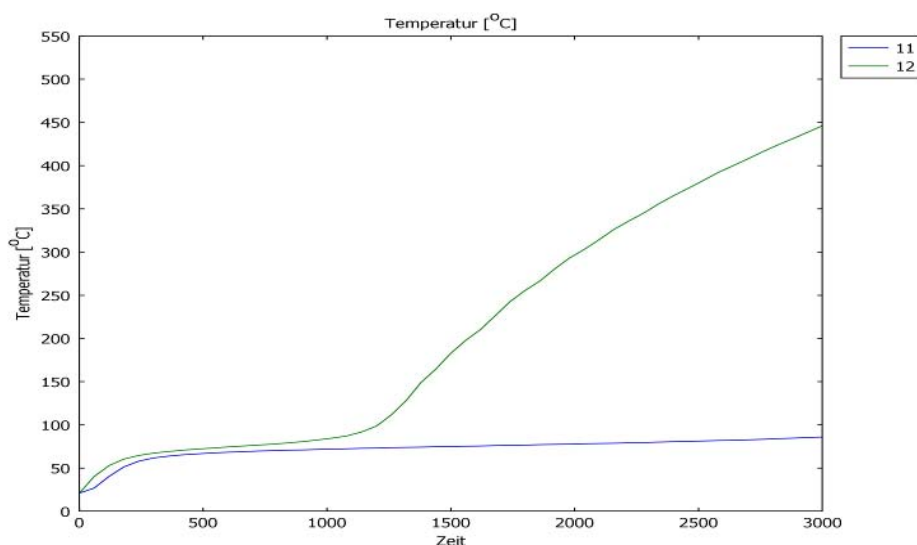


Abbildung 25: Errechnete Temperatur auf der Rückseite der ungestörten Platten (blau) und am ca. 3 mm dicken Verbindungsmittel (grün)

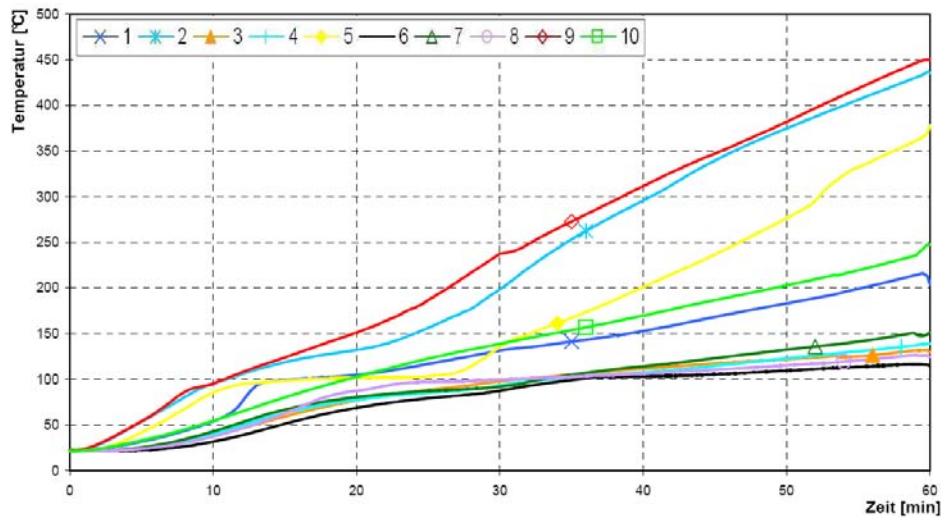


Abbildung 26: Am IBMB gemessene Temperaturverläufe an einer Beplankung aus 2 mal 15 mm dicken Gipsplatten. Kurve 6 (schwarz) auf der Rückseite der ungestörten Platten und Kurve 9 (rot) am ca. 3 mm dicken Verbindungsmittel

4.2 Untersuchung einer Klebefuge zwischen zwei Gipsplattenlagen

Der aus brandschutztechnischer Sicht größte Schwachpunkt der aktuell ausgeführten Brandschutzbekleidungen besteht aus metallischen Verbindungsmitteln, die durch beide Lagen einer Brandschutzbekleidung hindurchgehen. Die Wärme wird durch den Metallstift rasch in den Holzquerschnitt geleitet und führt zu einer frühzeitigen Verkohlung. Untersuchungen haben gezeigt, dass metallische Verbindungsmittel, die nur die untere Lage der Brandschutzbekleidung durchstoßen und durch die äußere Lage der Brandschutzbekleidung abgedeckt sind, sich deutlich günstiger verhalten. Es wäre daher im Sinne einer Optimierung der Brandschutzbekleidung ebenfalls ein großer Fortschritt, wenn die untere Lage weiterhin durch metallische Verbindungsmittel mit der Holzkonstruktion verbunden würde und die äußere Lage der Brandschutzbekleidung durch eine Klebefuge befestigt wird.

Dazu war es erforderlich, die Tragfähigkeit von Klebefugen zwischen zwei Gipsplatten unter Zugbeanspruchung bei gleichzeitiger Temperaturbeaufschlagung zu untersuchen. Mit dem in Abschnitt 4.1 beschriebenen und für diese Versuchsreihe leicht umgebauten Versuchsstand konnten die Versuche durchgeführt werden. Der Einbau der Probekörper erfolgte vertikal. Durch den ebenfalls vertikal eingebauten Cone-Strahler wurde die äußere Gipsplatte mit einer Wärmestromdichte von 20 KW/m² bestrahlt. Auf der Rückseite wurde über das Stahlseil der Holzklotz gezogen, sodass die Klebeverbindung auf Zug beansprucht wurde.



Abbildung 27: Für Zugkraftbeanspruchung umgebauter Versuchsstand

4.2.1 Herstellung der Probekörper

Bei der Herstellung der Probekörper wurde ein $6 \times 6 \times 12 \text{ cm}^3$ großer Holzquader mit einer $12 \times 12 \text{ cm}^2$ großen Gipsfaser- bzw. Gipskartonplatte verschraubt. Auf der Plattenunterseite wurde ein Thermoelement angeordnet, sodass es bündig mit der Oberfläche der Platte abschloss. Danach wurde eine weitere $19 \times 19 \text{ cm}^2$ große Platte aus demselben Material auf die kleinere Platte geklebt. Der Durchmesser der Klebefläche betrug 15 mm. Zur Verklebung wurden Klebstoff B sowie handelsüblicher Ansetzgips verwendet. Unter Verwendung von Ansetzgips wurden Verklebungen mit zwei unterschiedlichen Klebeflächen untersucht. Neben der Klebefläche mit einem Durchmesser von 15 mm wurde zudem eine Klebefläche in der Größe der kleineren Platte ($A = 12 \times 12 \text{ cm}^2$) untersucht. Bei der Verklebung mit Ansetzgips wurde zusätzlich der vollflächige Auftrag mit einem Zahnpachtel untersucht, da Ansetzgips eine geringere Klebkraft aufweist, einfacher zu verarbeiten ist und deutlich kostengünstiger ist. Zudem besteht bei einem vollflächigen Auftrag von Ansetzgips nicht die Gefahr, dass eine Art Dampfbremse in der Brandschutzbekleidung entsteht, die zu Feuchtigkeitsschäden führen kann.

Anschließend wurde ein Haken in den Holzblock geschraubt, damit die Klebefläche über ein Stahlseil auf Zug belastet werden konnte.

4.2.2 Versuchsdurchführung

Pro Materialkombination wurden je 5 Versuche bei verschiedenen Belastungen (5 kg; 3 kg; 1 kg) durchgeführt. Bei der Versuchsreihe mit Ansetzgips und einer Klebefläche von $A = 12 \times 12 \text{ cm}^2$ wurden Belastungen von 5 und 10 kg gewählt. Entscheidend bei diesen Versuchs-

reihen waren die Temperatur und der Zeitpunkt, zu dem die Klebefuge zwischen den beiden Platten versagte.

4.2.3 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 13 bis Tabelle 15 detailliert aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer geringen Belastung ein Versagen zum Teil erst bei vergleichsweise hohen Temperaturen auftrat. Tabelle 15 zeigt, dass bei einer vollflächigen Verklebung mit handelsüblichem Ansetzgips Versagenstemperaturen von über 300 °C und Versagenszeiten von 60 Minuten erreicht wurden. Aufgrund der geringen Kosten und der guten Verarbeitungseigenschaften von Ansetzgips wurde dieser Ansatz weiter verfolgt und anhand eines Bauteilausschnittes unter ETK-Beanspruchung genauer untersucht.

Tabelle 13: Versagenstemperaturen für Klebstoff B bei Zugbeanspruchung

Klebstoff B	Klebe- fläche [cm²]	Material- kombination	Belastung [kg]	Versagens- temperatur [°C]	Spannung [N/mm²]	Versagens- zeitpunkt [s]
GF 1	1,77	Gipsfaser m. Holz	5,0	28,5	0,21	575
GF 2	1,77	Gipsfaser m. Holz	5,0	21,6	0,21	180
GF 3	1,77	Gipsfaser mit Holz	5,0	74,0	0,21	495
GF 4	1,77	Gipsfaser mit Holz	5,0	71,7	0,21	525
GF 5	1,77	Gipsfaser mit Holz	5,0	22,0	0,21	180
GF 6	1,77	Gipsfaser mit Holz	3,0	231,9	0,12	2670
GF 7	1,77	Gipsfaser mit Holz	3,0	78,2	0,12	515
GF 8	1,77	Gipsfaser mit Holz	3,0	29,3	0,12	310
GF 9	1,77	Gipsfaser m. Holz	3,0	47,3	0,12	365
GF 10	1,77	Gipsfaser mit Holz	3,0	33,1	0,12	320
GF 11	1,77	Gipsfaser mit Holz	1,0	239,7	0,04	2675
GF 12	1,77	Gipsfaser mit Holz	1,0	177,7	0,04	2365
GF 13	1,77	Gipsfaser mit Holz	1,0	81,1	0,04	555
GF 14	1,77	Gipsfaser mit Holz	1,0	46,2	0,04	495
GF 15	1,77	Gipsfaser mit Holz	1,0	239,8	0,04	2655
GK 1	1,77	Gipskarton m. Holz	5,0	62,1	0,21	350
GK 2	1,77	Gipskarton m. Holz	5,0	58,6	0,21	280
GK 3	1,77	Gipskarton mit Holz	5,0	61,7	0,21	275
GK 4	1,77	Gipskarton mit Holz	5,0	52,7	0,21	350
GK 5	1,77	Gipskarton mit Holz	5,0	52,3	0,21	300
GK 6	1,77	Gipskarton mit Holz	3,0	73,7	0,12	340
GK 7	1,77	Gipskarton mit Holz	3,0	75,0	0,12	385
GK 8	1,77	Gipskarton mit Holz	3,0	69,2	0,12	295
GK 9	1,77	Gipskarton m. Holz	3,0	73,7	0,12	315
GK 10	1,77	Gipskarton mit Holz	3,0	71,4	0,12	330
GK 11	1,77	Gipskarton mit Holz	1,0	82,9	0,04	470
GK 12	1,77	Gipskarton mit Holz	1,0	83,7	0,04	420
GK 13	1,77	Gipskarton mit Holz	1,0	83,0	0,04	415
GK 14	1,77	Gipskarton mit Holz	1,0	85,8	0,04	420
GK 15	1,77	Gipskarton mit Holz	1,0	84,1	0,04	465

Tabelle 14: Versagenstemperaturen für Ansetzgips bei Zugbeanspruchung (kleine Klebefläche)

Ansetz-gips	Klebe-fläche [cm²]	Material-kombination	Belastung [kg]	Versagens-temperatur [°C]	Spannung [N/mm²]	Versagens-zeitpunkt [s]
GF 1	1,77	Gipsfaser m. Holz	8,0	96,0	0,33	470
GF 2	1,77	Gipsfaser m. Holz	8,0	214,9	0,33	1960
GF 3	1,77	Gipsfaser mit Holz	8,0	96,9	0,33	450
GF 4	1,77	Gipsfaser mit Holz	8,0	93,1	0,33	435
GF 5	1,77	Gipsfaser mit Holz	8,0	98,7	0,33	605
GK 1	1,77	Gipskarton mit Holz	8,0	317,2	0,33	3930
GK 2	1,77	Gipskarton mit Holz	8,0	58,8	0,33	315
GK 3	1,77	Gipskarton mit Holz	8,0	61,8	0,33	660
GK 4	1,77	Gipskarton mit Holz	8,0	50	0,33	300

Tabelle 15: Versagenstemperaturen für Ansetzgips bei Zugbeanspruchung (große Klebefläche)

Ansetz-gips	Klebe-fläche [cm²]	Material-kombination	Belastung [kg]	Versagens-temperatur [°C]	Spannung [N/mm²]	Versagens-zeitpunkt [s]
GF 5	144	Gipsfaser m. Holz	5,0	266,7	0,003	2600
GF 6	144	Gipsfaser m. Holz	10,0	314,8	0,007	3385
GF 7	144	Gipsfaser mit Holz	10,0	215,5	0,007	1935
GK 5	144	Gipskarton mit Holz	5,0	280,0	0,003	3440
GK 6	144	Gipskarton mit Holz	5,0	354,3	0,003	4310
GK 7	144	Gipskarton mit Holz	5,0	322,5	0,003	3835
GK 8	144	Gipskarton mit Holz	10,0	72,9	0,007	390
GK 9	144	Gipskarton mit Holz	10,0	72,6	0,007	345
GK 10	144	Gipskarton mit Holz	10,0	80,6	0,007	445
GK 11	144	Gipskarton m. Holz	10,0	67,4	0,007	300

4.3 Normbrandversuch mit verklebter Brandschutzbekleidung im Kleinformat

Die Ergebnisse der vollflächigen Verklebung mit Ansetzgips zeigen das Potenzial, dass die Verklebung auch im Normbrandversuch über 60 Minuten ein Abfallen der äußeren Lage der Brandschutzbekleidung verhindern könnte. Dies wurde in einem Brandofen nach DIN 4102 Teil 8 untersucht.

4.3.1 Herstellung der Probekörper

Die Probekörper bestanden aus einem Rahmen (5/10 Fichtenkantholz) mit den Außenabmessungen 50 cm x 50 cm. Auf diesen Rahmen wurde die erste Lage der Brandschutzbekleidung aufgeschraubt. Aus dieser ersten Lage wurde zuvor ein 25 x 25 cm² großes Stück ausgeschnitten. Anschließend wurde die zweite (brandzugewandte) Lage der Brandschutzbekleidung angeschraubt. Das 25 x 25 cm² große Reststück wurde auf eine 5 cm dicke Holzwerkstoffplatte aufgeschraubt, auf deren Rückseite ein Stahlseil angebracht wurde. Anschließend wurde die Vorderseite mit Ansetzgips bestrichen, in die Öffnung der brandabgewandten Lage eingebracht und mit der Rückseite der brandzugewandten Lage verklebt. Ein Probekörper wurde aus zwei Lagen 15 mm dicken Gipsfaserplatten hergestellt. Der andere Probekörper bestand auf der brandabgewandten Seite aus einer 12,5 mm dicken und auf der brandzugewandten Seite aus einer 18 mm dicken GKF-Platte. Die Rückseite der Probekörper war mit Mineralwolle gedämmt. Während der Herstellung wurden Plättchen-Thermoelemente gemäß Abbildung 28 in den Probekörper eingebracht.

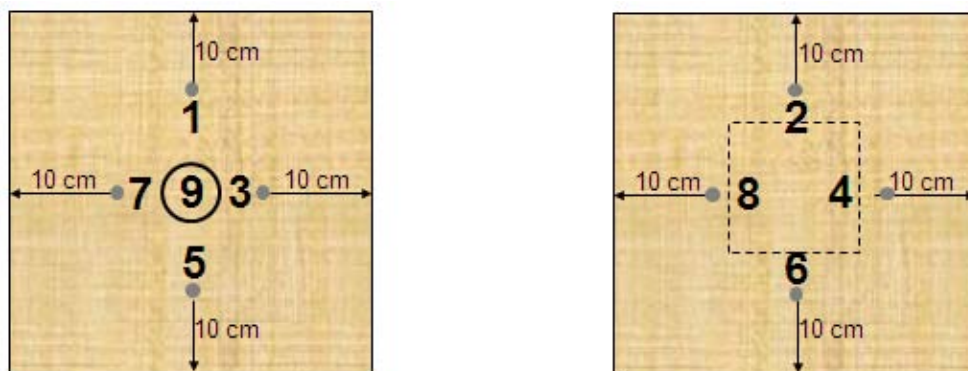


Abbildung 28: Anordnung der Thermoelemente (links: Rückseite brandzugewandte Lage; rechts: Rückseite brandabgewandte Lage)

4.3.2 Versuchsdurchführung

Die Probekörper wurden in den Brandofen eingebaut und die 25 x 25 cm² große Klebefläche durch das Anhängen eines 5 kg schweren Gewichts auf Zug beansprucht. Das Gewicht soll die Eigenlast der brandzugewandten Lage der Brandschutzbekleidung bei der Einbausituation Deckenunterseite auf der sicheren Seite darstellen. Das Flächengewicht einer 18 mm dicken Gipsplatte beträgt etwa 15 kg/m². Dies bedeutet für die vorhandene Klebefläche von 25 x 25 cm² eine Gewichtskraft von 1 kg/m². Unter der Voraussetzung, dass keine weiteren Lasten (z. B. Lampen) ausschließlich an der brandzugewandten Lage befestigt werden, wurde für die Versuche also eine fünffach größere Beanspruchung gewählt. Nicht berücksich-

sichtigt ist der Gewichtsverlust der brandzugewandten Seite aufgrund des Verlusts von Kristallwasser durch die Brandbeanspruchung.

4.3.3 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Brandversuche sind in Abbildung 29 und Abbildung 30 in Form von Temperaturkurven dargestellt. Abbildung 29 zeigt den Probekörper mit zwei Lagen 15 mm Gipsfaserplatten. Die obere Schar der Kurven stellt die Temperaturen in der Schicht zwischen erster und zweiter Lage der Brandschutzbekleidung dar. Die untere Kurvenschar zeigt die Temperaturen auf der Rückseite der brandabgewandten Lage der Brandschutzbekleidung. Der Abfall des Thermoelementes 9 in der 55 Minute zeigt das Versagen der Klebefuge. Die brandabgewandte Lage der Brandschutzbekleidung wird durch das Gewicht weggerissen und das Thermoelement liegt frei.

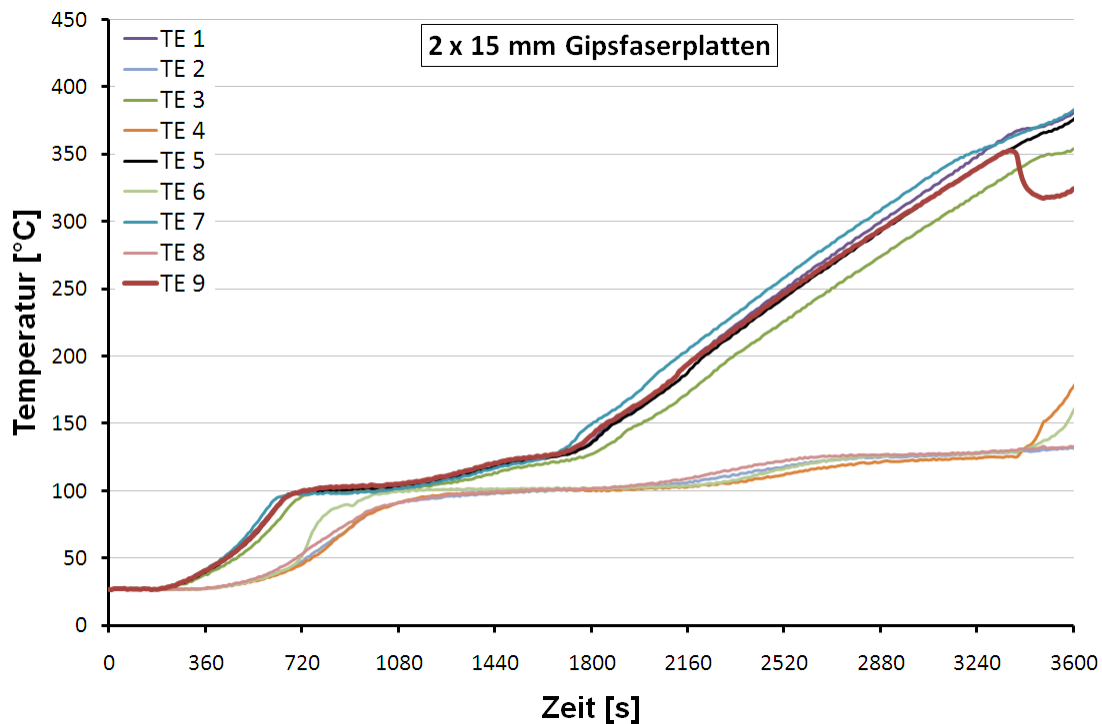


Abbildung 29: Temperaturentwicklung bei 2 x 15 mm Gipsfaserplatten

Bei der Bekleidung aus 18 mm GKF-Platte und 12,5 mm GKF-Platte hat die Klebefuge die gesamte Branddauer von 60 Minuten standgehalten. Dieses etwas bessere Verhalten kann auf die größere Dicke der brandzugewandten Lage der Brandschutzbekleidung zurückzuführen sein. Dieser Vorteil lässt sich allerdings nicht an den gemessenen Temperaturen ablesen, die nach 60 Minuten ETK-Beflammung bei beiden Versuchen bei ca. 375 °C liegen.

Aufgrund der deutlich höheren Belastung der Klebefuge durch 5 kg im Vergleich zum Eigengewicht sind dennoch beide Versuche als erfolgreich einzustufen. Eine abschließende Untersuchung im Realmaßstab sollte durchgeführt werden. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Rissproblematik durch die Kleinbrandversuche nicht beurteilt werden konnte. Ein Großbrandversuch könnte daher zu schlechteren Ergebnissen führen. Es ist aber auch durchaus denkbar, dass die durch das Verkleben hervorgerufene Verbundwirkung der beiden Platten die Rissbildung im Vergleich zu einer geschraubten Platte reduziert.

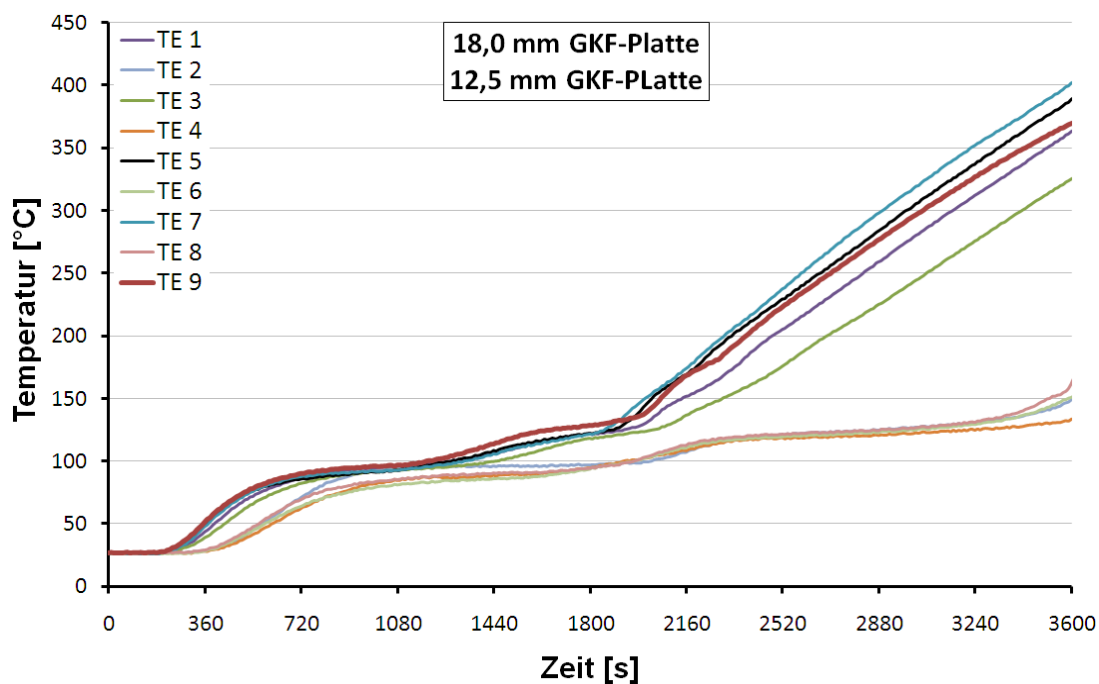


Abbildung 30: Temperaturentwicklung bei 18 mm + 12,5 mm GKF-Platten

4.4 Ergebnisse zur Untersuchung von Klebeverbindungen

Klebefugen sind zur schubfesten Verbindung von Gipsplatten auf dem Holzständerwerk aussteifender Bauteile nicht geeignet. Im Brandfall erfolgt eine feuchtebedingte Durchweichung des Materials, sodass die Tragfähigkeit der Klebefuge bereits frühzeitig absinkt und die Verbindung versagt. Die Anordnung einer Dampfbremse verlagert das feuchtigkeitsbedingte Versagen lediglich in eine andere Ebene, kann aber das frühzeitige Schubversagen nicht verhindern. Eine weitere Untersuchung der Klebetechnik für diesen Anwendungsfall erscheint nach aktuellem Stand nicht sinnvoll.

Die Verklebung der äußeren Lage einer Brandschutzbekleidung auf der inneren Lage hat Potenzial. Diese Klebefuge wird lediglich durch das Eigengewicht der Gipsplatte beansprucht. Vielversprechend war die vollflächige Verklebung mittels Ansetzgips. Durch die Verklebung erscheint die Herstellung einer 2 x 15 mm dicken K₂60-Bekleidung prinzipiell

möglich. Zur abschließenden Beurteilung, einschließlich der Auswirkungen temperaturbedingter Zwängungen und des Rissverhaltens, sind jedoch Brandversuche im Realmaßstab erforderlich.

5 Untersuchung des Brandverhaltens bei Konsollasten

Gebäude bestehen per Definition nur aus einem Tragwerk, Trennwänden und umhüllenden Bauteilen. Diese Elemente werden dementsprechend in der Baugesetzgebung geregelt. Die Muster-Holzbaurichtlinie macht hier keine Ausnahme. Nach Errichtung eines Gebäudes muss dieses, der Nutzung entsprechend, mit einer Inneneinrichtung ausgestattet werden. Hier liegt ein zentrales Problem im mehrgeschossigen Holzbau. Die hochfeuerhemmenden Wände sind mit einer zweilagigen Bekleidung aus Gipsplatten gekapselt. Durchdringungen sind nur unter bestimmten konstruktiven Auflagen möglich. So sind z. B. Hohlwanddosen für Elektroinstallationen geregelt. Nicht geregelt ist die Anbringung von Konsollasten an diesen Wänden. Klassische Konsollasten sind z. B. Küchenschränke im Wohnungsbau oder Regale bzw. Aktenschränke im Büro- und Verwaltungsbau.

Üblicherweise würden diese Lasten über Verschraubungen in die Holzständer in die Wand eingeleitet werden. Eine weitere Möglichkeit wäre auch, die Lasten über Dübel im Feld zu verankern. Dies ist in der Gebäudeklasse 3 auch kein Problem. In der Gebäudeklasse 4 mit den hochfeuerhemmenden Bauteilen ist dies aber problematisch, da dicke Schraubenquerschnitte erforderlich werden. Bei einer Verschraubung im Ständer stellen diese eine Wärmebrücke in die eigentlich 60 Minuten zu schützenden Bauteile dar. Eine vorzeitige Entzündung kann daher nicht ausgeschlossen werden, zumal bei den Zulassungsversuchen für die Kapselkonstruktionen die Schrauben (und hier insbesondere der Querschnitt) maßgebend für das Prüfergebnis werden.

Das Problem der Wärmeleitung in den brennbaren Holzständer stellt sich bei einer Verschraubung mit Dübeln im Feld nicht, da dieses mit Steinwolle ausgedämmt werden muss. Allerdings besteht hier die Gefahr, dass die Kapselung bei entsprechender Verankerung der Schrauben durch Schwerlastdübel vorzeitig großflächig ausreißt und die Konstruktion insgesamt beschädigt wird.

Auf Basis kleinformatiger Brandversuche und numerischer Berechnungen wurden Konstruktionen entwickelt, die zum einen in der Lage sind, übliche Konsollasten zu tragen, aber gleichzeitig die Schutzziele der Brandschutzbekleidung nicht beeinträchtigen. Hierbei wurde insbesondere der Wärmeeintritt in die Konstruktion durch die Verbindungsmittel untersucht.

5.1 Hintergrund

Aus den Ergebnissen des Kapitels 6 wird deutlich, dass das Fehlen von Regelungen zur Befestigung von Konsollasten im Brandfall zu erheblichen Problemen führen kann. Diese lassen sich wie folgt systematisieren, wobei die Ausführungen gravierend unterschiedliche Gefahrenpotentiale mit sich bringen:

1. Befestigung von Möbeln aus brennbaren Materialien (übliche Schränke),
2. Befestigung von Möbeln aus nichtbrennbaren Materialien (Küchenarbeitsplatten aus mineralischen Werkstoffen, Stahlregale, Stahlschränke usw.),
3. Befestigungen an der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung,
4. Befestigungen durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung in dem tragenden Holzuntergrund.

zu 1:

Hinsichtlich der Befestigung von Möbeln aus brennbaren Materialien scheint es nach heutigem Kenntnisstand ein nur untergeordnetes Gefahrenpotenzial hinsichtlich der statischen Belastung der Konstruktion zu geben. In der Regel sind solche Möbel aus ca. 16 mm dicken Holzwerkstoffen gefertigt, die bei allseitiger Brandbeanspruchung vermutlich innerhalb von maximal 10 Minuten bis 20 Minuten ihren Zusammenhalt verlieren werden, von den Wänden abfallen und somit die Konstruktion nicht mehr statisch belasten.

zu 2:

Bei Gegenständen aus nicht brennbaren Materialien ist die Situation jedoch grundlegend anders. Hier muss, auf der sicheren Seite liegend, angenommen werden, dass sowohl Schränke als auch in den Schränken aufbewahrte Gegenstände nicht brennbar sein können und die Lasten somit dauerhaft bis zum Versagen der Aufhängung oder des Untergrundes statisch beanspruchen.

zu 3:

Befestigungen an der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung, z. B. mit Hohlraumdübeln, werden regelmäßig festgestellt. Bei dieser Art der Befestigung treten zwei Situationen auf:

- Für die Dübel wird ein relativ großes Loch gebohrt (für normale Küchenhängeschränke i. d. R. 8 mm im Durchmesser), in das z. B. ein Kunststoffdübel gesteckt wird. In diesem wiederum wird ein Haken oder eine Schraube aus Metall befestigt. Durch die hohe Wärmeleitfähigkeit des Metalls wird die Temperatur aus der Brandbeanspruchung schnell in das Bauteilinnere transportiert. Der Wärmetransport wird

dadurch unterstützt, dass das Metall von dem relativ gut Wärme dämmenden Kunststoffdübel umgeben ist. Somit kann die kühlende Wirkung des Gipses nicht voll wirken. Nach wenigen Minuten ist die Temperatur so hoch, dass der Dübel versagt und aus dem Bohrloch heraus gezogen wird. Damit verbleibt ein Loch von mindestens 8 mm in der Bekleidung. Die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung ist somit ab diesem Zeitpunkt nicht mehr statisch durch die Konsollasten beansprucht. Die Situation braucht deshalb und aufgrund der Tatsache, dass Hohlwanddosen mit üblichen Durchmessern von 68 mm in brandschutztechnisch wirksame Bekleidungen eingebracht werden dürfen, nicht berücksichtigt zu werden. Jedoch sind bei der Montage von Hohlwanddosen klare Vorgaben hinsichtlich der Randbedingungen zu beachten. Befestigungen von normalen Konsollasten z. B. durch Küchenschränke werden von ihrer geometrischen Anordnung üblicherweise nicht nach dem Untergrund geplant, sondern nach den zu befestigenden Schränken. Somit muss davon ausgegangen werden, dass ein solches Loch auch direkt neben einer Rippe angebracht wird. Zum heutigen Zeitpunkt ist zwar klar, dass hier ein Risikopotenzial vorhanden ist, jedoch ist dessen Höhe noch unklar.

- Bei Dübeln aus nicht brennbaren Materialien (z. B. Klappdübel) verbleiben diese über einen wesentlich längeren Zeitraum in der Konstruktion. Dadurch erfolgt nicht nur die Temperaturleitung über den Dübel über einen längeren Zeitraum sondern auch die statische Beanspruchung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Versagen bei solchen Dübeln üblicherweise durch großflächiges Herausbrechen aus der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung erfolgt. Hier besteht daher ein Risikopotenzial, das geregelt werden muss.

zu 4:

Die zuvor beschriebene Gefahr des großflächigen Herausbrechens aus der Brandschutzbekleidung ist bei dieser Variante faktisch nicht vorhanden. In hölzernen Untergründen werden Haken oder Schrauben faktisch ausschließlich ohne zusätzliche Hilfsmittel wie Dübel eingebracht. Aufgrund des in der Regel relativ dicken metallischen Verbindungsmittels, das zudem noch in den (Brand-) Raum hineinragt, ist allerdings eine sehr gute Wärmeleitung in den Untergrund möglich. Übliche Möbel werden nach heutigem Kenntnisstand von der Befestigung abfallen, bevor diese aus dem hölzernen Untergrund gezogen wird. Somit ist das metallische Verbindungsmittel für den Rest der Zeit statisch unbeansprucht, verbleibt aber auf Dauer im hölzernen Untergrund. Dies wird zu einer Verkohlung führen, die nennenswert ausgeprägter ist als eine Verkohlung durch die Befestigungsmittel für die brandschutztech-

nisch wirksame Bekleidung. Eine vorzeitige Entzündung, die durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung ausgeschlossen werden soll, ist daher möglich. Dieses Risiko muss ebenfalls geregelt werden.

5.2 Entwicklung von Konstruktionen

Die Entwicklung der Konstruktionen erfolgte vor dem in Kapitel 6 dieses Berichtes beschriebenen Hintergrund, mit Hilfe von numerischen Berechnungen und Brandversuchen in mittlerem Maßstab. Die numerischen Berechnungen dienten dabei vor allem der Reduzierung des Versuchsumfangs. Da im Brandfall höchst komplexe Reaktionen ablaufen, die mit numerischen Verfahren bis heute nur bedingt beschrieben werden können, ist ein vollständiger Verzicht auf Brandversuche nicht möglich. Es ergab sich somit ein iterativer Prozess, bei dem sich die Projektpartner intensiv austauschten. Die Folge dieser Vorgehensweise war ein sehr wirtschaftlicher Ablauf, bei dem die Vorteile der einzelnen Methoden in Gänze ausgenutzt werden konnten. Im Folgenden wird zur besseren Übersichtlichkeit jede Methode für sich beschrieben und nicht der chronologische Ablauf des iterativen Prozesses.

5.3 Numerische Berechnungen

5.3.1 Methode

Die numerischen Berechnungen wurden mit dem Computerprogramm COMSOL Multiphysics vorgenommen. Das Programm kann ein-, zwei- und dreidimensionale gekoppelte physikalische Phänomene berücksichtigen. Mit der COMSOL Multiphysics Simulationsumgebung können alle Schritte der numerischen Simulation von der Definition der Geometrie, über die physikalischen Randbedingungen, die Vernetzung, das Lösen der Gleichungen und die Visualisierung der Rechenergebnisse durchgeführt werden. Dadurch treten keine Übergabeprobleme auf, wie sie bei Verwendung unterschiedlicher Programme entstehen können. Mit dem Programm lassen sich sowohl stationäre als auch instationäre Phänomene berücksichtigen. Dabei sind alle Eigenschaften miteinander koppelbar, so dass auch die Änderungen der Materialeigenschaften unter Brandbeanspruchung Berücksichtigung finden können.

5.3.2 Ergebnisse der numerischen Berechnungen

Abbildung 31 zeigt beispielhaft den berechneten Temperaturverlauf an der Spitze eines metallischen Verbindungsmittels unter Brandbeanspruchung (ETK). Das Verbindungsmittel ist durch 2 x 15 mm Gipsplatten geführt und ragt am Kopf etwa 10 mm aus der Ebene der Gipsbeplankung heraus. Damit soll die Situation z. B. eines Schraubhakens simuliert werden, an dem dann eine Konsollast (z. B. ein Küchenhängeschrank) aufgehängt wird. Die Grafik zeigt, dass aufgrund der dämmenden Funktion des Kunststoffdübels die kühlende

Wirkung des Gipses nicht auf das Verbindungsmittel wirken kann. Somit erwärmt sich das Verbindungsmittel innerhalb der ersten 5 Minuten auf eine Temperatur, die höher als der Schmelzpunkt von Polyamid (>220 °C) ist. Da Polyamid bereits ab ca. 180 °C erheblich an Festigkeit verliert, kann davon ausgegangen werden, dass Lasten, die mit Kunststoffdübeln an der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung befestigt werden, innerhalb der ersten 5 Minuten nach Beginn der Brandbeanspruchung abfallen. Die Konstruktion wird ab diesem Zeitpunkt nicht mehr zusätzlich belastet.

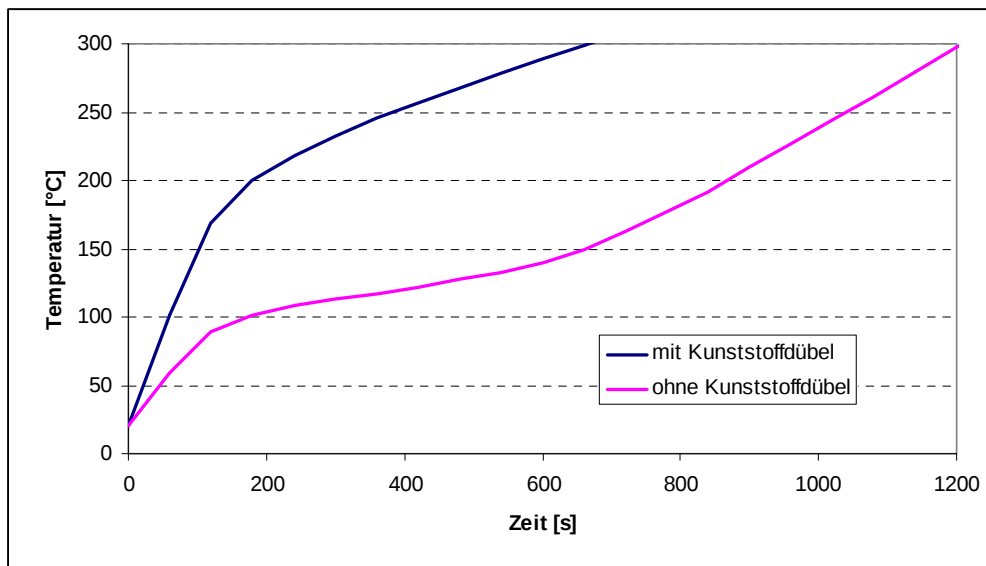


Abbildung 31: Temperaturverlauf an der Spitze des Verbindungsmittels

Da das metallische Verbindungsmittel auch nicht mehr zur Temperaturleitung beitragen kann, verbleibt in der Beplankung ein Loch von etwa der Größe des Dübels. Kleinere Löcher sind relativ gut vor Wärmeeintrag geschützt, da hier eine mehr oder weniger stehende Luftschicht angenommen werden kann. Dies ändert sich jedoch bei größeren Löchern drastisch. Die Grenzen konnten in diesem Vorhaben jedoch noch nicht geklärt werden und bieten Raum für weitere Vorhaben.

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen den errechneten, qualitativen Temperaturverlauf über den Beplankungsquerschnitt nach jeweils 30 Minuten Brandbeanspruchung (ETK). Bei der Verwendung einer Stahlplatte zwischen den beiden Gipsplatten (Abbildung 33) ist zu erkennen, dass die Temperatur des Verbindungsmittels weiter über den gesamten Querschnitt verteilt wird und somit die Spitze im Holzwerkstoff eine etwas niedrigere Temperatur aufweist. Zudem verhindert die Metalleinlage den Wasserdampftransport in die Holzkonstruktion – diese höchst komplexen Vorgänge sind hier jedoch nicht weiter rechnerisch untersucht worden. Beide Varianten wurden in den nachstehenden Versuchen näher untersucht.

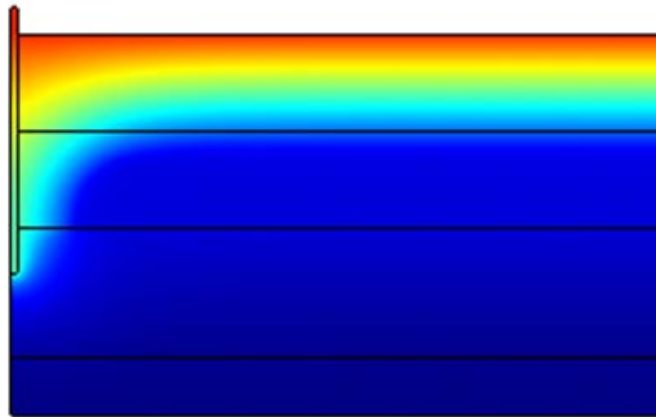


Abbildung 32: Berechneter qualitativer Temperaturverlauf über den Beplankungsquerschnitt (2 x 15 mm Gips auf einer 19 mm Holzwerkstoffplatte) mit Verbindungsmittel, das in die Holzwerkstoffplatte geschraubt wurde, nach 30 Minuten Brandbeanspruchung (ETK)

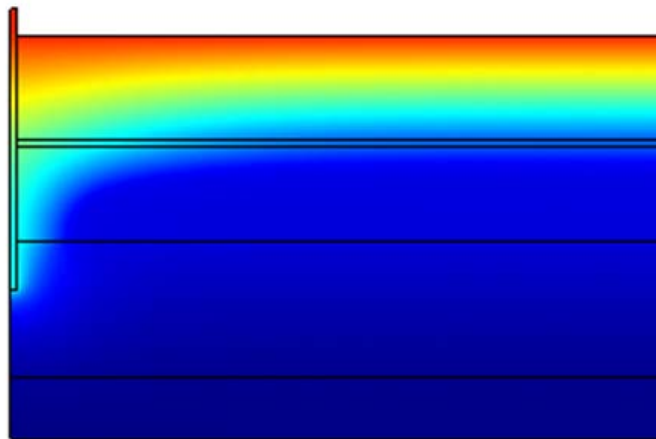


Abbildung 33: Berechneter qualitativer Temperaturverlauf über den Beplankungsquerschnitt (15 mm Gips – 1 mm Stahlblech – 15 mm Gips) mit Verbindungsmittel, das durch das Stahlblech geschraubt wurde, nach 30 Minuten Brandbeanspruchung (ETK)

5.4 Normbrandversuche im Brandofen nach DIN 4102-8

5.4.1 Material und Methode

Zur Untersuchung des Brandverhaltens bei Konsollasten sind Normbrandversuche an Bauteilausschnitten mit den Abmessungen von 50 x 50 cm² durchgeführt worden. Eine Übersicht über den Aufbau der Probekörper zeigt Tabelle 16. In die Probekörper waren Thermoelemente eingebaut, um während des Versuchs die Temperaturentwicklung im Inneren des Probekörpers messen zu können. Bei einigen Probekörpern sind zusätzlich die Verbindungsmittel zur Aufnahme der Konsollasten während des Brandversuchs durch eine Zugkraft belastet worden.

Tabelle 16: Aufbau der Probekörper

Nr:	Aufbau vom Brandraum zur Holzkonstruktion				Besonderheit
1	18 mm GKF	18 mm GKF			Klappdübel mit Zugkraft
2	18 mm GKF	1,5 mm Stahlblech	18 mm GKF	Spanplatte	8 mm Schraube mit Zugkraft
3	15 mm GF	15 mm GF	Federschiene	Spanplatte	8 mm Schraube mit Zugkraft
4	12,5 mm GF	15 mm GKF	Federschiene	Spanplatte	8 mm Schraube mit Zugkraft
5	15 mm GF	15 mm GF		B1-Spanplatte	Beurteilung der Verkohlung
6	15 mm GF	12,5 mm GKF		B1-Spanplatte	Beurteilung der Verkohlung

5.4.2 Ergebnisse der Brandversuche

5.4.2.1 Versuch 1

Die Bekleidung des Rahmens bestand aus zwei Lagen 18 mm GKF-Platten. Hierbei handelt es sich um eine klassifizierte K₂60 Bekleidung. Der Rahmen wurde mit Steinwolle ausgedämmt. In der Mitte des Probekörpers war ein Klappdübel eingebaut. Dieser wurde während des Versuchs konstant mit einer Zugkraft von 100 N belastet. Die Anordnung der Thermoelemente zeigt Abbildung 34.

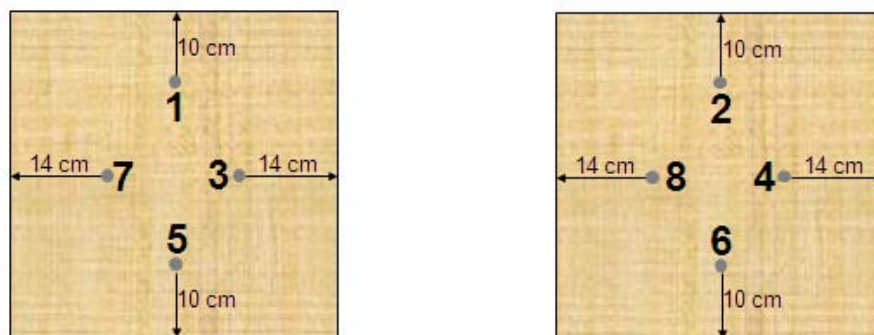


Abbildung 34: Anordnung der Thermoelemente bei Versuch 1 (links: Rückseite brandzugewandte Lage; rechts: Rückseite brandabgewandte Lage)

Abbildung 35 zeigt, dass die Temperaturen zwischen den beiden Lagen der Brandschutzbekleidung nach 60 Minuten ETK-Beflammung etwa 425 °C betrugen. Die Temperatur auf der Rückseite der Bekleidung betrug maximal 150 °C.

Durch den Klappdübel fand ein erhöhter Temperatureintrag in die Konstruktion statt. In der 55. Minute wurde die rückseitige Dämmwolle für ein Foto (vgl. Abbildung 36) kurzzeitig entfernt. Es ist zu erkennen, dass der Karton auf der GKF-Platte bereits glimmte.

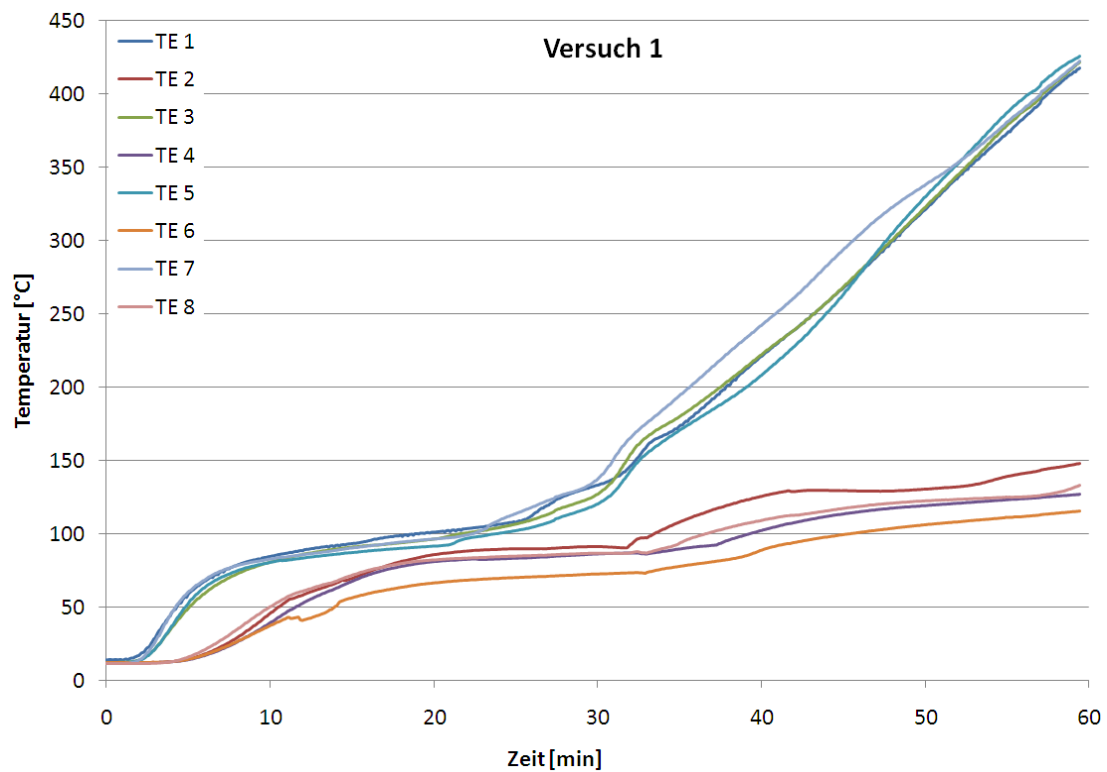


Abbildung 35: Temperaturverläufe Versuch 1



Abbildung 36: Verkohlung auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung im Bereich des Klappdübels

Die Klappdübelverbindung hielt über die gesamte Feuerwiderstandsdauer einer Zugkraft von 100 N stand. Nach Beendigung des Versuchs wurde die Zugkraft erhöht bis der Klappdübel schließlich bei einer Belastung von 300 N die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung zerstörte. Hierdurch wäre ein direkter Eintritt des Feuers in den Hohlraum der Konstruktion möglich gewesen.

5.4.2.2 Versuch 2

Bei Versuch 2 wurden wiederum zwei Lagen 18 mm GKF-Platten eingesetzt. Der Unterschied zu Versuch 1 bestand allerdings darin, dass zwischen den beiden Lagen ein 1,5 mm starkes Stahlblech angeordnet wurde. In dieses Stahlblech wurde von der brandzugewandten Seite eine Schraube zur Verankerung einer Konsollast so eingedreht, dass die brandabgewandte Lage der Brandschutzbekleidung nicht durchbrochen wurde. Die Schraube hatte einen Durchmesser von 8 mm. Diese Schraube wurde über ein Stahlseil mit einer Zugkraft in Höhe von 100 N belastet (vgl. Abbildung 39 links). Die Anordnung der Thermoelemente ist Abbildung 37 zu entnehmen.

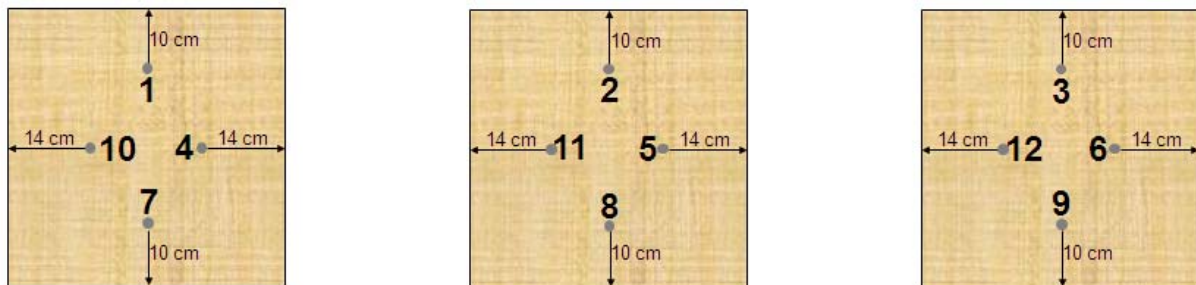


Abbildung 37: Anordnung der Thermoelemente bei Versuch 2 (links: Rückseite brandzugewandte Lage; Mitte: Rückseite brandabgewandte Lage; rechts: Rückseite Indikatorplatte)

Abbildung 38 zeigt, dass die Temperaturen auf der Rückseite des Stahlblechs nach 60 Minuten Beflammung eine Temperatur von ca. 250 °C aufweisen. Dies ist deutlich weniger, als die vergleichbaren Werte aus Versuch 1 ohne Stahlblech, wo die Temperaturen bei ca. 425 °C lagen. Auch die Temperaturen auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung sind mit ca. 110 °C etwa 30 - 40 K niedriger als bei Versuch 1. Die positive Auswirkung des Stahlblechs auf die Temperaturentwicklung muss genauer untersucht werden.

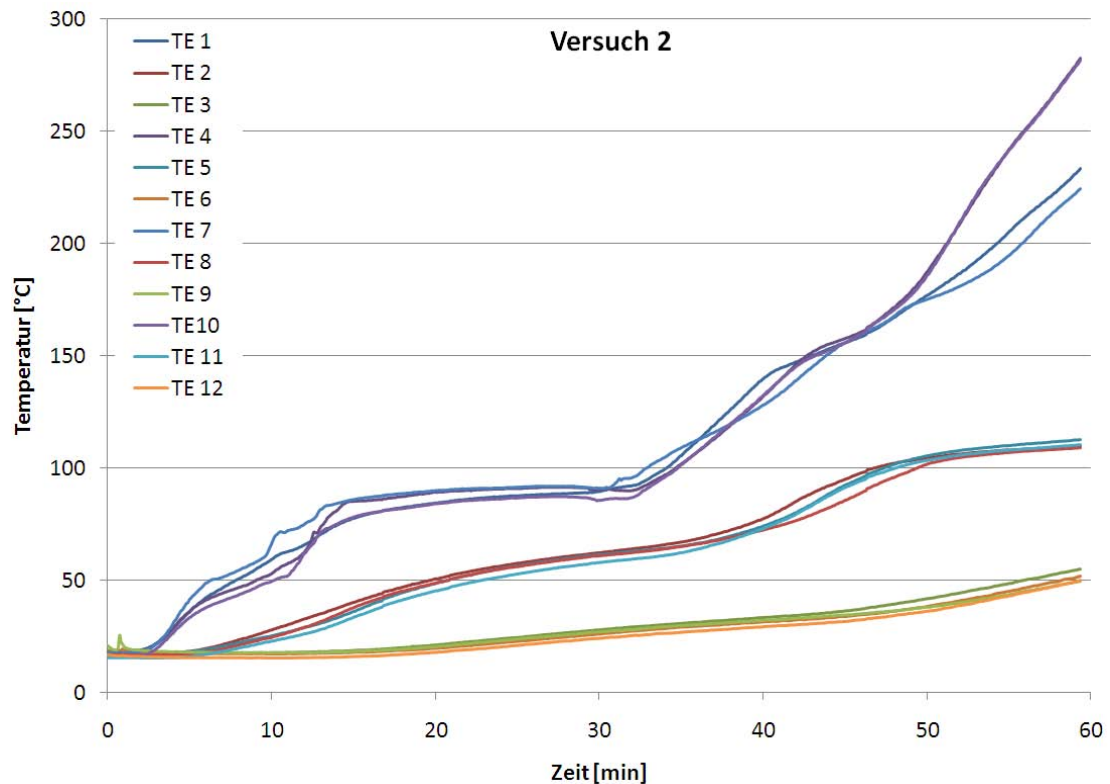


Abbildung 38: Temperaturverläufe Versuch 2

Die Schraube hielt einer Zugkraft von 100 N über eine Dauer von 60 Minuten stand. Nach Beendigung des Versuchs wurde die Zugkraft bis maximal 400 N erhöht. Ein Versagen der Verbindung trat nicht auf. Nach Ausbau des Probekörpers war auf der Indikatorplatte auch im Bereich der Schraube keine Verkohlung oder Verfärbung erkennbar. (vgl. Abbildung 39 rechts).



Abbildung 39: Schraube mit Stahlseil und Indikatorplatte nach dem Brandversuch

5.4.2.3 Versuch 3

In diesem Versuch bestand die Brandschutzbekleidung aus zwei Lagen 15 mm Gipsfaserplatten, die auf einer Federschiene montiert waren. Zwar muss bei dieser Variante ebenfalls das Temperaturkriterium von 270 °C im Mittel und 290 °C im Maximum direkt auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung eingehalten sein. Der Vorteil besteht jedoch darin, dass die Schrauben keinen Kontakt zur Indikatorplatte haben. Zusätzlich war in der Federschiene eine Schraube zur Aufnahme einer Zugkraft angeordnet, die keinen Kontakt zur Indikatorplatte hatte. Die Schraube wurde während des Versuchs durch eine Zugkraft von 100 N belastet. Die Anordnung der Thermoelemente ist Abbildung 40 zu entnehmen.

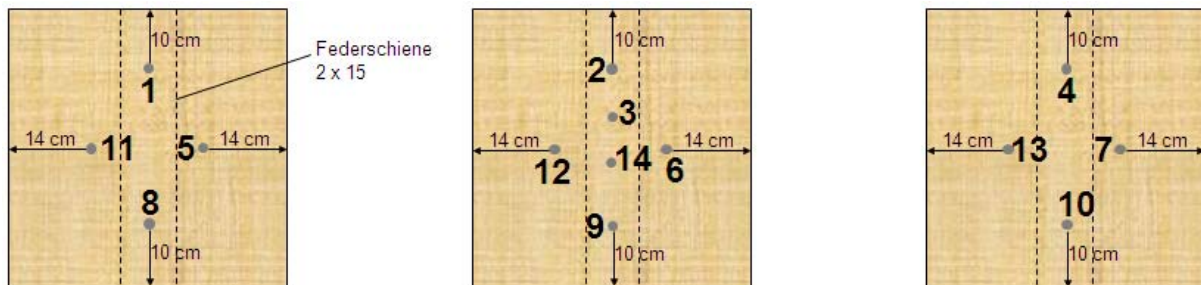


Abbildung 40: Anordnung der Thermoelemente bei Versuch 3 + 4 (links: Rückseite brandzugewandte Lage; Mitte: Rückseite brandabgewandte Lage; rechts: Rückseite Indikatorplatte)

Die gemessenen Temperaturen sind in Abbildung 41 dargestellt. In der 60. Minute betragen die Temperaturen zwischen den beiden Gipsfaserplatten zwischen 400 °C und 450 °C. Die Temperaturen auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung betragen maximal 150 °C. Die Temperaturen auf der Oberfläche der Indikatorplatte liegen bei 50 °C, im Bereich der Federschiene bei 100 °C. Vorteil dieser Konstruktion ist, dass es keine durchgehenden Verbindungsmittel gibt. Daher treten auch keine punktuellen Verkohlungen auf der Indikatorplatte auf. Dies trifft ebenfalls auf die Verankerungsstelle der Konsollast zu. Die Schraube hielt während der Branddauer der aufgetragenen Zugkraft von 100 N stand. Auch eine Erhöhung der Zugkraft nach Beendigung des Versuches auf 400 N führte nicht zum Versagen der Verbindung.

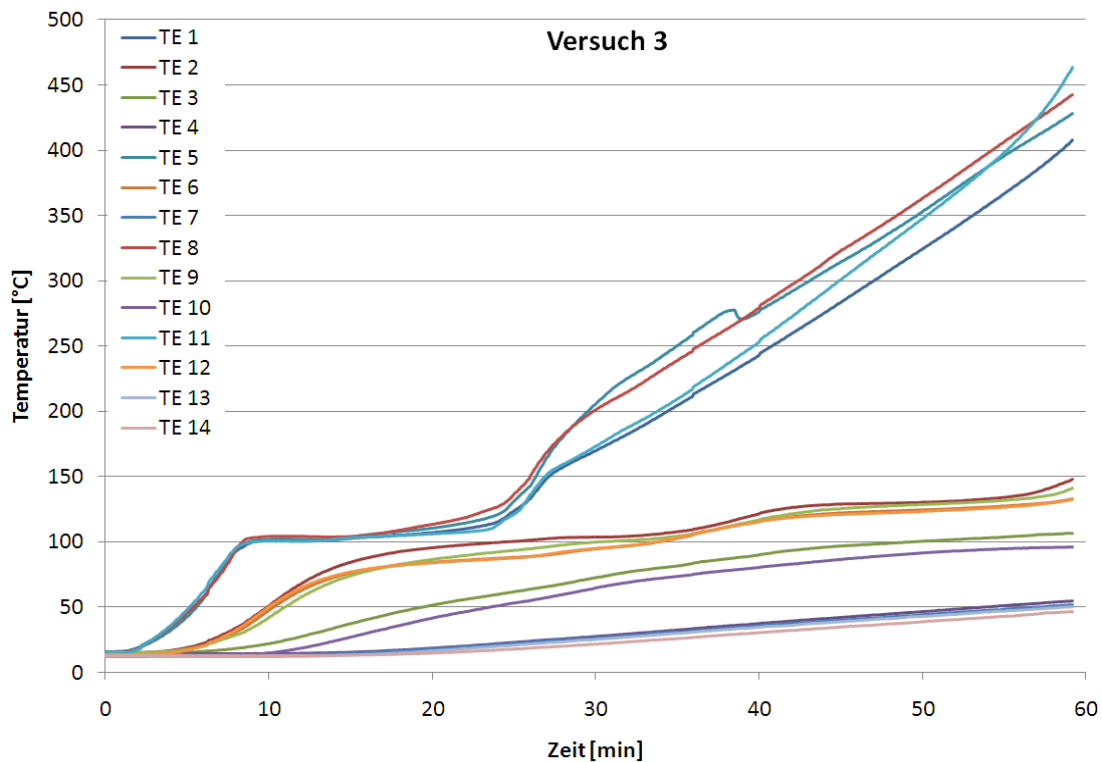


Abbildung 41: Temperaturverläufe Versuch 3

5.4.2.4 Versuch 4

Bei diesem Aufbau wurde die Dicke der Brandschutzbekleidung gegenüber der Konstruktion in Versuch 3 weiter reduziert. Die Brandschutzbekleidung bestand aus einer 15 mm Gipsfaser-Platte und einer 12,5 mm GKF-Platte, die wiederum auf einer Federschiene montiert waren. Ansonsten waren die Konstruktionen einschließlich der Anordnung der Thermoelemente, der Verankerung einer Zugkraft und der Belastung identisch. Die Temperaturentwicklung innerhalb des Probekörpers ist Abbildung 43 zu entnehmen. Die Temperatur zwischen den beiden Lagen der Brandschutzbekleidung ist mit 500 °C bis 650 °C deutlich höher als bei Versuch 3. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die brandseitige Lage der Brandschutzbekleidung 2,5 mm dünner war als bei dem vorangegangenen Versuch. Auch die Temperaturen auf Rückseite der Brandschutzbekleidung sind im Mittel etwa 100 °C höher. Dies bedeutet, dass auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung die kritische Temperatur von 270 °C erreicht wird. Daher ist auf der Indikatorplatte auch im Bereich der Federschiene eine Verfärbung der Oberfläche zu erkennen (vgl. Abbildung 42). Auf Grund einer Überschreitung des Temperaturkriteriums auf der Rückseite der Bekleidung, ist diese Variante nicht weiter zu verfolgen.

Die Zugkraftverankerung hielt der Belastung von 100 N über die gesamte Beflammungsdauer stand und versagte auch nicht bei einer Lasterhöhung auf 400 N nach Beendigung des Versuchs.



Abbildung 42: Indikatorplatte nach dem Brandversuch

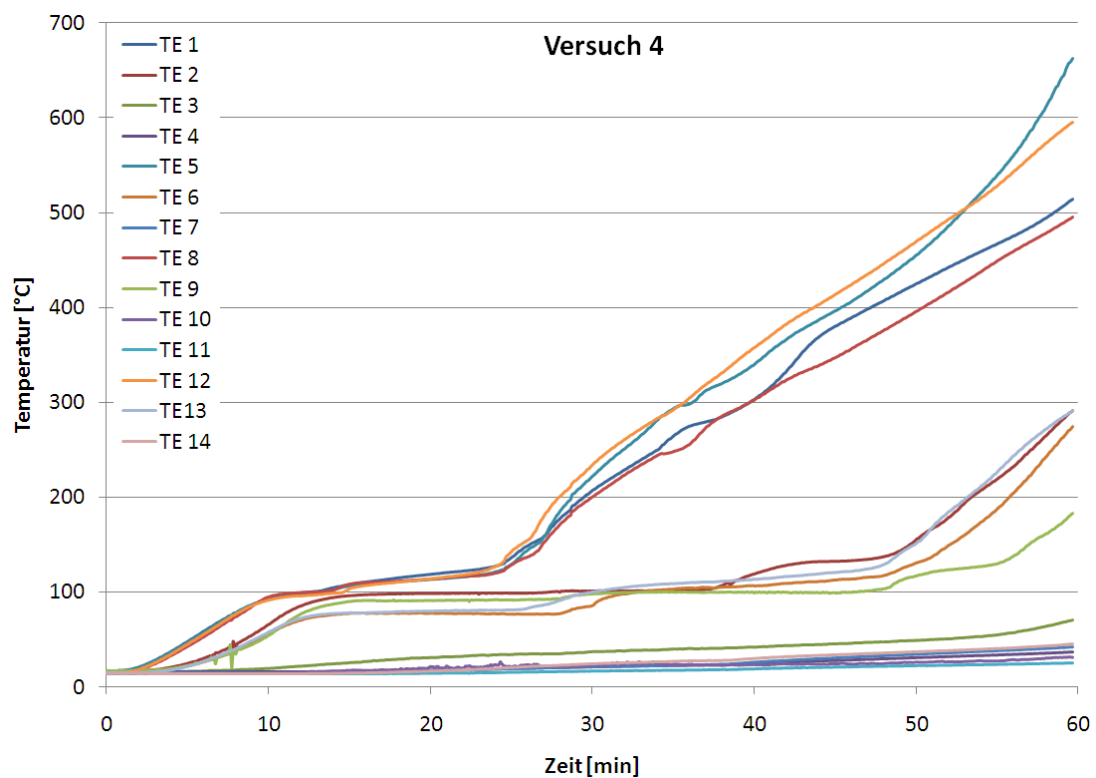


Abbildung 43: Temperaturverläufe Versuch 4

5.4.2.5 Versuch 5

Bei Versuch 5 wurde die übliche Dicke einer K₂60 Brandschutzbekleidung von 2 x 18 mm auf 2 x 15 mm reduziert. Dies führte zu einer Verkohlung der Indikatorplatte im Bereich der Verbindungsmittel. Als Verbindungsmittel kamen Schnellbauschrauben (3,9 x 55) zum Einsatz, die nach Abbildung 44 an den gleichen Stellen wie die Thermoelemente angeordnet wurden. Als Indikatorplatte wurde eine schwerentflammbare Spanplatte eingesetzt. Schwerentflammbare Baustoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie selbst verlöschen. Es handelt sich hierbei um einen Tastversuch, mit dem erste Erkenntnisse zum Brandverhalten von Holztafelelementen mit einer schwerentflammbaren Holzwerkstoffplatte unterhalb der Brandschutzbekleidung gewonnen werden sollten. Es soll langfristig untersucht und geklärt werden, ob durch den Einsatz schwerentflammbarer Baustoffe als tragende Konstruktion eine Reduzierung der Brandschutzbekleidung möglich ist.

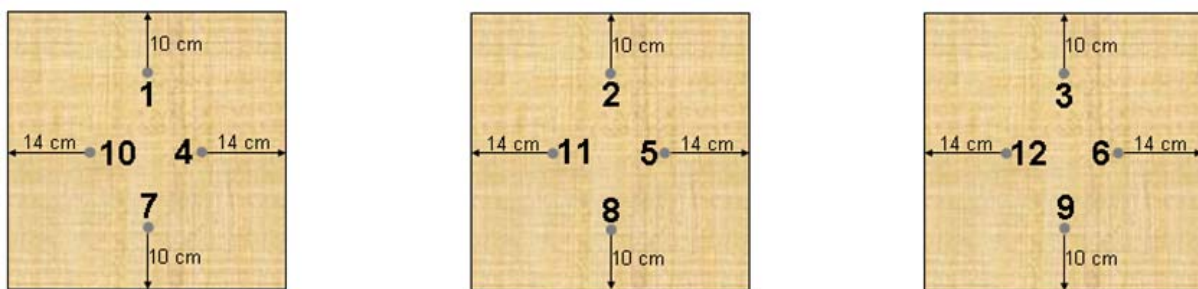


Abbildung 44: Anordnung der Thermoelemente bei Versuch 5 + 6 (links: Rückseite brandzugewandte Lage; Mitte: Rückseite brandabgewandte Lage; rechts: Rückseite Indikatorplatte)

Die Temperaturentwicklung kann aus Abbildung 45 abgelesen werden. Die Temperaturen auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung liegen zwischen 140 °C und 190 °C und sind somit etwas höher als bei der Bekleidung 2 x 18 mm. Auf der in Abbildung 46 abgebildeten, Indikatorplatte ist im Bereich der Schrauben eine deutliche Verkohlung zu erkennen.

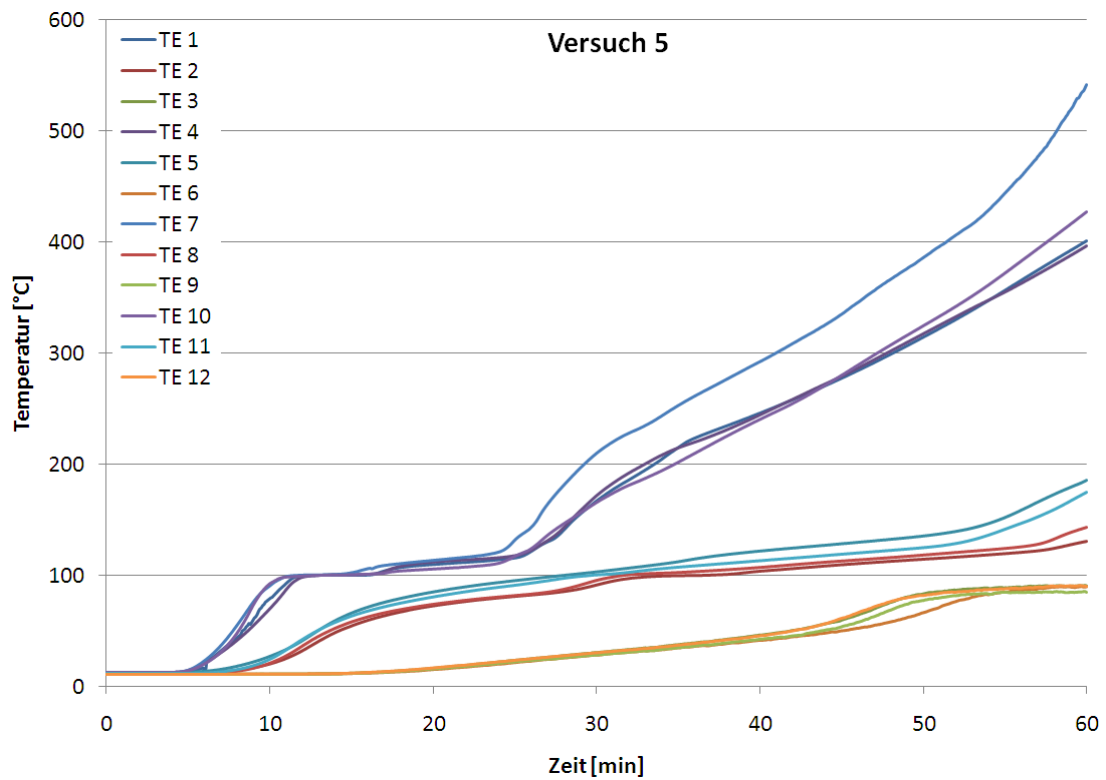


Abbildung 45: Temperaturverläufe Versuch 5



Abbildung 46: Verkohlung im Bereich der Schraube auf einer B1-Indikatorplatte

5.4.2.6 Versuch 6

Der Aufbau des Probekörpers entspricht im Wesentlichen dem Aufbau aus Versuch 5, jedoch mit dem Unterschied, dass die Brandschutzbekleidung weiter reduziert wurde und aus einer 15 mm Gipsfaser- und einer 12,5 mm GKF-Platte bestand.

Die Temperaturen auf der Oberfläche der Indikatorplatte liegen nach 60 Minuten ETK-Beflammung zwischen 300 °C und 400 °C. Diese deutliche Erhöhung der Temperaturen gegenüber Versuch 5 ist jedoch nicht allein auf die Reduzierung der Bekleidungsdicke von 2,5 mm zurückzuführen. Ein weiterer Grund für die hohen Temperaturen könnte die Verkohlung der B1-Spanplatte sein, bei der zusätzliche Energie frei geworden ist. Abbildung 48 zeigt, dass nach Beendigung des Versuchs und Entfernen der Brandschutzbekleidung die Oberfläche der Spanplatte auf ihrer gesamten Fläche verkohlt war. Bei der Beurteilung der Verkohlung ist der Wirkungsmechanismus von schwerentflammaren Holzwerkstoffen zu beachten. Üblicherweise wird Ammoniumpolyphosphat als Flammenschutzmittel eingesetzt. Dieses reagiert zwischen 200 °C und 220 °C. Bei der Reaktion wird unter anderem Phosphorsäure freigesetzt, welche das Holz über eine Oxidationsreaktion verkohlt, noch bevor eine kritische Entzündungstemperatur auf der Oberfläche erreicht wird. Diese sich rasch bildende Verkohlungsschicht schützt dann das Material zunächst vor weiterer Erwärmung.

Schwerentflammare Holzwerkstoffe sind ein neuer Ansatz zur Optimierung von Kapselkonstruktionen. Eine eingehende Untersuchung war im Rahmen des Projekts nicht möglich. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig.

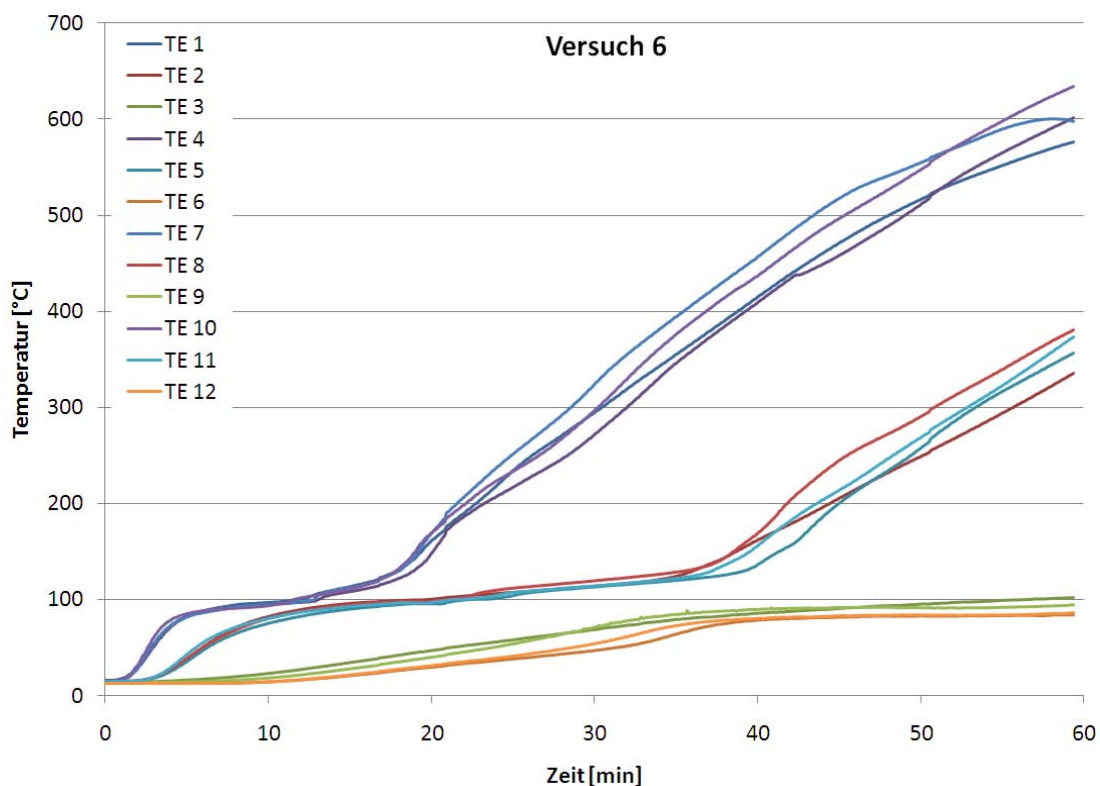


Abbildung 47: Temperaturverläufe Versuch 6



Abbildung 48: Verkohlung nach dem Brandversuch auf der B1- Indikatorplatte

5.5 Ergebnis zum Brandverhalten bei Konsollasten

Die Versuche zeigen gute Ansätze, durch die Anordnung eines Stahlblechs oder einer Federschiene Konsollasten an hochfeuerhemmenden Bauteilen zu verankern, ohne dass die Schutzwirkung der Brandschutzbekleidung negativ beeinflusst wird. Dabei ist es erforderlich, dass die Durchführung metallischer Verbindungsmittel mit einem großen Durchmesser durch beide Lagen der Brandschutzbekleidung direkt ins Holz verhindert wird. Dies ist möglich, wenn die Schrauben in einem Stahlblech bzw. einer Federschiene angeordnet werden. Die Anordnung eines Stahlblechs innerhalb der Brandschutzbekleidung bewirkt zudem, dass die Temperaturen auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung reduziert werden. Dies ist auf die Behinderung des Wasserdampfdurchtritts zurückzuführen.

Die Anordnung einer B1-Spanplatte als bauliche Kompensation für eine reduzierte Leistungsfähigkeit der Brandschutzbekleidung muss noch genauer untersucht werden. Eine Bewertung der Ergebnisse ist zum jetzigen Kenntnisstand noch nicht möglich.

6 Analyse des Vorfertigungs- und Montageprozesses

Die folgende Analyse basiert auf ausgewählter Fachliteratur und der Auswertung eines Fragebogens (6.9). Dieser Fragebogen wurde 52 ausgewählten Holzbau-Firmen zugeschickt. Außerdem bildete er die Grundlage für Telefoninterviews von 15 zusätzlichen Unternehmen. Von den 52 Fragebögen gab es einen Rücklauf von 34 Stück, von denen 32 auswertbar waren. Die beiden anderen Fragebögen sind mit dem Hinweis versehen worden, dass keine Kenntnisse über den Umgang mit Kapselklassen vorhanden sind.

Weiterhin wurden insgesamt 7 Gebäude in unterschiedlichen Bauphasen vor Ort analysiert. Zwei von diesen Gebäuden waren im Bau, die anderen fünf waren seit einem bis 7 Jahren bereits bezogen.

Darüber hinaus wurde eine nicht repräsentative, persönliche Umfrage bei insgesamt 27 Planern (Statiker und Architekten) durchgeführt.

Die umfangreichen Erfahrungen sind im Folgenden in komprimierter Form zusammengefasst. Dabei wird sowohl auf übliche Definitionen eingegangen als auch auf die tatsächlich vorgefundenen Situationen. Die Analyse der Ist-Situation berücksichtigt vor allem die nachfolgend aufgeführten üblichen technischen Regelungen:

- Musterbauordnung MBO, November 2002
- Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise. Juli 2004
- DIN EN 14135: Bestimmung der Brandschutzwirkung. Juni 2001
- DIN EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten; Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen. Juni 1999
- DIN 4074-1: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadel-schnittholz. Mai 2001
- DIN EN 336: Bauholz für tragende Zwecke - Nadelholz und Pappelholz - Maße, zulässige Abweichungen. Januar 2001
- DIN 4102-17: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Schmelzpunkt von Mineralfaser-Dämmstoffen; Begriffe, Anforderungen, Prüfung. Dezember 1990

Die Abbildungen von Detailanschlüssen dieses Kapitels sind der M-HFHHolzR entnommen. Weitere technische Regelungen werden an der entsprechenden Stelle im Bericht gesondert erwähnt.

6.1 Einführung

Die Ausführung von mehrgeschossigen Holzbauwerken der Gebäudeklasse 4 (oberste Fußbodenhöhe maximal 13 m) erfordert größte Sorgfalt, da die erforderlichen konstruktiven Brandschutzmaßnahmen nur bei guter Ausführungsqualität ihre Funktion erfüllen können. Unterschiede zum herkömmlichen Holzbau geringer Höhe bestehen neben den wesentlich strengeren brandschutztechnischen Anforderungen an die Bekleidung der Bauteile und der Auflage, ausschließlich nichtbrennbare Faserdämmstoffe zu verwenden, vor allem in der Fertigung der Bauteilanschlüsse und der Öffnungslaibungen für Einbauten.

6.2 Bauteile

Von den zu schützenden Bauteilen sind in der Praxis ausschließlich Wände und Decken, sowie Einzeltragglieder wie Pfeiler, Stützen und Balken anzutreffen. In Deutschland wurden Dächer bis heute in der Regel nicht mit brandschutztechnisch wirksamen Kapselungen versehen, da an diese keine entsprechenden Anforderungen gestellt wurden. Eine Ausnahme bilden Flachdachkonstruktionen, die zur Aussteifung heran gezogen werden.

6.2.1 Anforderungen

Tragfähigkeit und Raumabschluss der mit einer Brandschutzbekleidung versehenen Holzbauteile müssen, einschließlich ihres Wärmedämmvermögens, nach der europäischen Brandprüfnorm DIN EN 1363-1 geprüft werden. Dies entspricht im Prinzip der Prüfung nach DIN 4102-2. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Brandprüfungen über einen Mindestzeitraum von 60 Minuten kann das Bauteil nach der europäischen Klassifizierungsnorm DIN EN 13501-2 als REI 60-Bauteil klassifiziert werden.

Für Treppenraumwände und für Wände, die anstelle von Brandwänden zulässig sind, muss zusätzlich der Widerstand gegen eine Stoßbeanspruchung infolge eines Tragfähigkeitsverlusts eines anderen Bauteils nach DIN EN 1363-2 geprüft werden. Diese Bauteile werden nach DIN EN 13501-2 als REI-M 60-Bauteile klassifiziert. Nichttragende Wandbauteile werden nach DIN EN 13501-2 als EI 60-Bauteile bzw. EI-M 60-Bauteile klassifiziert.

6.2.2 Baustoffe zur Verwendung in hochfeuerhemmenden Bauteilen

6.2.2.1 Holz

Das verwendete Bauschnittholz muss mindestens den Anforderungen der Sortierklasse S 10 nach DIN 4074-1 oder nach europäischen Regeln der Festigkeitsklasse C24 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).

6.2.2.2 Dämmstoffe

Es dürfen ausschließlich Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen mit einem Schmelzpunkt $\geq 1000\text{ °C}$ gemäß DIN 4102-17 verwendet werden. Brennbare Dämmstoffe dürfen hingegen nicht verwendet werden, um der Gefahr einer Entzündung sowie eines Glimmbrandes innerhalb der Konstruktion vorzubeugen.

6.2.2.3 Folien

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

6.2.2.4 Bekleidung

siehe 6.4

6.2.3 Decken

Decken stellen die horizontale Trennung zwischen Geschossen bzw. Wohnungseinheiten dar und müssen somit bei jedem mehrgeschossigen Holzbau mit entsprechenden Kapselungen von beiden Seiten versehen werden. Üblicherweise werden Decken jedoch nicht gleichzeitig von beiden Seiten mit Brand beansprucht, es sei denn, es handelt sich um z. B. Wohneinheiten, die sich über zwei oder mehrere Geschosse erstrecken. Aus statischer Sicht müssen Decken vertikale Lasten aus Eigenlasten, Verkehrslasten und leichten Trennwänden und in horizontaler Richtung Aussteifungslasten aus Wind aufnehmen und weiterleiten. Hier sind sowohl linienförmige Tragelemente (Balken), die mit einer Holzwerkstoffplatte zu Tafeln ausgebildet werden, als auch flächige Systeme wie Brettsperrholz in der Praxis anzutreffen.

Decken sind an ihrer Unterseite mit einer Brandschutzbekleidung herzustellen (s. Abbildung 49). Von der Oberseite muss der Fußbodenaufbau einschließlich seiner Anschlussfugen den Anforderungen an die Brandschutzbekleidung entsprechen. Dies gilt als erfüllt bei Verwendung eines auf mindestens 20 mm dicken nichtbrennbaren Dämmstoffen verlegten, mindestens 30 mm dicken schwimmenden Estrichs aus nichtbrennbaren Baustoffen. Ebenfalls zulässig sind mehrlagige Trockenestrichelemente aus insgesamt mindestens 25 mm dicken, nichtbrennbaren Gipskarton- oder Gipsfaserplatten. Umlaufend sind Randstreifen aus nichtbrennbaren Baustoffen einzubauen. Dadurch ist der eingekapselte Baustoff gesichert.

Der Schutz von der Oberseite ist in der Praxis ohne größere Probleme, sowohl der Handhabbarkeit, als auch der Ausführungsqualität, realisierbar.

Der Schutz von der Unterseite erweist sich jedoch als problematischer. Der größte Fehler liegt hier in der nicht weit genug geführten Planung und Vorfertigung. Die großen, dicken und somit sehr schweren Gipsplatten sind auf der Baustelle bei der Überkopfmontage denkbar ungünstig. Trotzdem wurden viele Decken auf der Baustelle bekleidet. Ein Ansatz ist, dass zumindest zusammenhängende Flächen mit großen Bauplatten bereits zweilagig im Fertigungswerk des Holzbauunternehmens versehen werden. Hier hat es sich als wirtschaftlicher erwiesen, die planerischen Leistungen bis hin zur Fertigung eines Plattenverlegeplans zu führen. Zwar werden erhebliche planerische Vorleistungen erforderlich, da hierbei z. B. die Leitungsführung für die Deckenbeleuchtung mit berücksichtigt werden muss, allerdings sind im mehrgeschossigen Hochbau übereinander liegende Einheiten in der Regel weitestgehend identisch. Eine einmal durchgeführte Planung ist daher für mehrere Einheiten verwendbar, so dass sich der höhere Planungsaufwand relativiert.

Der relativ geringe Vorfertigungsgrad der Decken ist vermutlich aus dem Einfamilienhausbau übernommen worden. Die Erfahrung zeigt, dass der Planungsaufwand für vorgefertigte Decken im individuell geplanten Einfamilienhausbau unverhältnismäßig hoch werden kann. Im mehrgeschossigen Holzbau ist jedoch eine komplett andere Situation gegeben. Einerseits ist die Planung in der Regel für mehrere Einheiten verwendbar und andererseits müssen im Einfamilienhausbau keine dicken Gipsplatten in doppelter Beplankung montiert werden. Hier werden üblicherweise einlagig etwa 12 mm dicke Gipsplatten verwendet, die wesentlich leichter handhabbar sind als die erforderlichen zwei Lagen 18 mm dicker Gipsplatten, die für eine K₂60 Kapselung erforderlich sind.

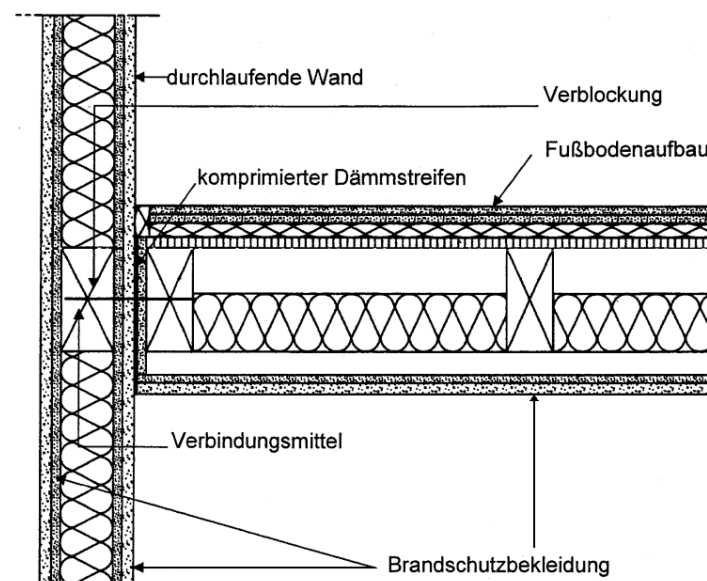


Abbildung 49: Anschluss Decke an durchlaufende raumabschließende Wand (Treppenwand, Außenwand, auch nichttragend – Spannrichtung der Deckenbalken parallel zur Wand)

6.2.4 Wände

Hochfeuerhemmende Wände sind mit allseitiger Brandschutzbekleidung zu konstruieren (Abbildung 50). Sie sind mit umlaufenden Rahmenhölzern und einer formschlüssig verlegten, hohlraumfüllenden Dämmung aus nichtbrennbaren Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt $> 1000^{\circ}\text{C}$ gemäß DIN 4102-17 zu verwenden. Die Brandschutzbekleidung muss eine Entzündung der tragenden einschließlich der aussteifenden Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen (HWS) während der Kapselungsdauer verhindern und als Kapselklasse nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein.

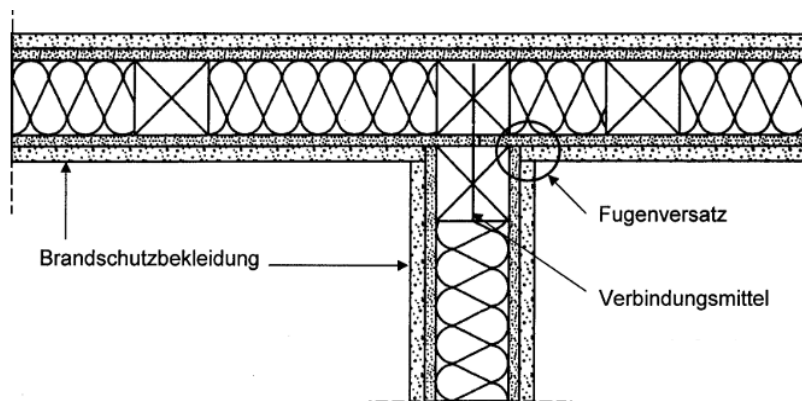


Abbildung 50: Allseitige Bekleidung mit Fugenversatz

Wände stellen innerhalb eines Geschosses Trennungen zwischen Wohneinheiten untereinander und zwischen Wohneinheiten und Rettungswegen (Fluren und Treppenträumen) dar. In diesen Bausituationen werden die Wände im Brandfall nur einseitig durch Feuer beansprucht, was zur Folge hat, dass die Beplankung der anderen Seite im Brandfall noch aussteifend wirkt. Die Bemessung für die entsprechenden Lastfälle lässt sich zwar ingenieurmäßig durchführen, was jedoch in der Praxis kaum erfolgt. Die Auswertung der Umfragen hat gezeigt, dass in der Praxis in etwa zu gleichen Teilen folgende Situationen vorgefunden werden:

1. Die Traglastreserven sind nicht bekannt und werden ohne Nachweis als ausreichend angenommen.
2. Die Traglastreserven sind nicht bekannt und es werden Sicherungsmaßnahmen wie die Verwendung einer dritten Lage Beplankung, die dann jedoch in der Regel aus Holzwerkstoffen besteht, durchgeführt.
3. Die Traglastreserven werden ermittelt und die für die jeweilige Situation günstigste Konstruktion wird gewählt.

Die Ursachen für die unter 2. aufgeführten Situationen können nur vermutet werden. Entweder sind den Planern die Möglichkeiten zur Ermittlung der Reserven nicht bekannt oder die Möglichkeiten sind zwar bekannt, werden jedoch als aufwändiger eingeschätzt als die zusätzlichen Maßnahmen. Zur Klärung dieser Frage diente die stichprobenartig durchgeführte Befragung von Planern, die allerdings nicht als repräsentativ angesehen werden kann. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die mit der Planung von mehrgeschossigen Holzgebäuden beauftragten Planer auch Kenntnisse über die Möglichkeiten zur Ermittlung der Traglastreserven im Brandfall haben. Zumindest haben alle befragten Planer geäußert, dass das grundsätzliche Wissen vorhanden sei. Erhebliche Kenntnislücken sind jedoch bei den Planern vorhanden, die üblicherweise nur Einfamilienhäuser planen. Weitere zusätzliche sehr ausgeprägte Lücken über holzbauspezifische Kenntnisse existieren bei den Planern, die nur selten Holzkonstruktionen planen.

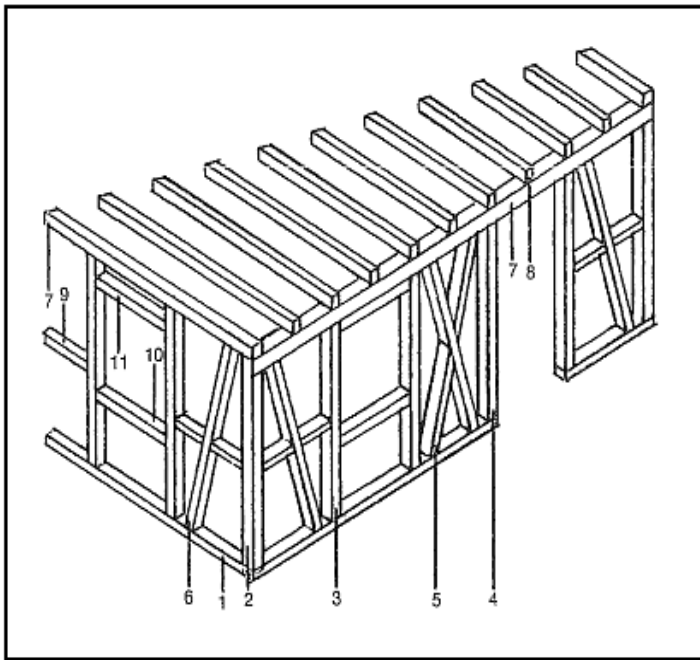
Zur Aussteifung benötigte Wände, die sich innerhalb einer Nutzungseinheit befinden (z. B. Trennung zwischen Küche und Wohnzimmer) werden im Brandfall üblicherweise von beiden Seiten gleichzeitig mit Brand beansprucht, so dass die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung nicht als aussteifende Scheibe herangezogen werden kann. Dies gilt nicht nur für die Aussteifung gegenüber Windlasten (Scheibenwirkung) sondern auch bei der Berücksichtigung der Knicklänge der Rippen einer Tafel. Während die Aussteifung mit Diagonalen ähnlich wirtschaftlich erzielt werden kann wie mit einer zusätzlichen Beplankung, kann eine Diagonale jedoch nicht die Knicklängen der Rippen reduzieren. Hier wären zusätzliche Maßnahmen wie Einzelabstützungen erforderlich, die jedoch wirtschaftlich nicht sinnvoll durchgeführt werden können. Hier hat es sich als hilfreich erwiesen, anstelle einer Diagonalen eine zusätzliche Beplankung mit einem Holzwerkstoff vorzunehmen, in den dann auch übliche Konsollasten im Wohnungsbau eingeleitet werden können. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von flächigen Systemen, die ohne zusätzliche Maßnahmen in ihrer Ebene aussteifen.

6.3 Beschreibung von Holzkonstruktionen

6.3.1 Fachwerk

Fachwerkwände bestehen aus einem statisch bestimmten Konstruktionsgerippe aus Kant-hölzern, wobei alle statisch wirksamen Kräfte durch Stäbe abgeleitet werden. Im modernen Holzbau und besonders im mehrgeschossigen Holzbau ist die Verwendung jedoch selten, obwohl die Fertigung mit modernen Abbundanlagen sehr wirtschaftlich erfolgen kann. Da flächige Systeme in der Regel als industriell gefertigte Produkte zugekauft werden müssen und somit die Wertschöpfung aus dem eigenen Betrieb zum Zulieferer verlagert wird, stellen

moderne Fachwerkkonstruktionen eine interessante Alternative dar. Die tragende Wandkonstruktion ist in sich ausgesteift und kann ohne Beplankung vertikale und horizontale Lasten aufnehmen. Deshalb und aufgrund des relativ großen Holzanteils, sind Fachwerkkonstruktionen besonders als tragende und aussteifende Wände innerhalb von Nutzungseinheiten, bei denen eine gleichzeitige beidseitige Brandbeanspruchung auftreten kann und nur geringe Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt werden, sinnvoll anwendbar.



- (1) Schwellenkranz
- (2) Eckpfosten oder Eckstiel
- (3) Fensterpfosten oder Fensterstiel
- (4) Türpfosten oder Türstiel
- (5) Andreaskreuz
- (6) Strebe
- (7) Rähm oder Einbinder
- (8) Deckenbalken
- (9) Riegel
- (10) Brüstungsriegel
- (11) Sturzriegel

Abbildung 51: Fachwerkwand und konstruktiver Aufbau

Bei Fachwerkkonstruktionen (Abbildung 51) stehen auf dem Schwellenkranz in einem bestimmten Abstand Pfosten oder Stiele, die als oberer Abschluss der Fachwerkwand durch eine Wandpfette (Rähm oder Einbinder) miteinander verbunden sind. Zwischen den Pfosten können Riegel gegen das Ausknicken eingesetzt werden, wobei individuell untersucht werden sollte, ob die Nutzung von quadratischen Querschnitten ohne Riegel ggf. wirtschaftlicher ist.

Im Allgemeinen sind an den Gebäudeecken diagonale Streben eingezogen. Diese leiten die horizontal wirkenden Kräfte über die Rähme und Schwellen in die Auflager ab.

6.3.2 Holztafelbau

Etwa 85 % bis 95 % aller Bauvorhaben in Holzbauweise werden in der Holztafel- oder Holzrahmenbauart ausgeführt. Im Folgenden wird vereinfachend ausschließlich der Begriff Holztafelbauart verwendet. Im mehrgeschossigen Holzbau ist der prozentuale Anteil eher etwas geringer und wird aufgrund der Umfrageergebnisse auf etwa 75 % geschätzt. Besonders die

flächigen Konstruktionen wie Brettsperrholz werden im mehrgeschossigen Bau alternativ zur Holztafelbauweise verwendet.

Der Holztafelbau unterscheidet sich von anderen Bauarten wie Fachwerk oder Skelettbau hinsichtlich der statischen Mitwirkung der Beplankung, d. h. während beim Fachwerk und Skelettbau die tragende Konstruktion aus Vollholzquerschnitten nur bekleidet wird, übernimmt die Beplankung beim Tafelbau (mit)tragende und/oder aussteifende Funktionen. Die Beplankung gilt dann als mittragend, wenn sie für die Aufnahme und Weiterleitung von Lasten mit berücksichtigt wird. Sie gilt auch als aussteifend, wenn sie nur zur Knickaussteifung oder Kippaussteifung der Rippen herangezogen werden. Dabei ist eine beidseitige Beplankung nicht zwingend erforderlich, weil in der Mehrzahl der Anwendungen eine einseitige Beplankung des Rippenwerks bereits die aussteifende Funktion erfüllt. Eine Beplankung bzw. Bekleidung aus Gipswerkstoffen hat im Gegensatz zu Bekleidungen aus Holzwerkstoffen (HWS) einen brandschutztechnischen Vorteil. Während HWS-Beplankungen neben der deckenden Funktion nur aussteifende und/oder (mit)tragende Funktionen übernehmen, gewährleisten entsprechende Gipsbekleidungen eine hochfeuerhemmende Brandschutzfunktion. In Verbindung mit werkseitig aufgebrachtter Brandschutzbekleidung aus Gipswerkstoffen, bieten HWS allerdings einen hervorragenden Schallschutz.

Bei den Holztafelkonstruktionen ist aufgrund der statischen Notwendigkeit der Beplankung zwingend darauf zu achten, ob das Bauteil von beiden Seiten gleichzeitig einer Brandbeanspruchung unterliegen kann. Da bei einseitiger Brandbeanspruchung die andere Seite immer noch ausreichend tragfähig sein kann, ist dies bei beidseitiger Brandbeanspruchung nicht gegeben (siehe auch 6.2.4).

6.3.3 Flächige Systeme (Massivholz)

Die flächigen Systeme haben im mehrgeschossigen Holzbau einen Anteil von in etwa 20 %, wobei es einen großen Unterschied zwischen Decken und Wänden gibt. Während etwa die Hälfte aller Decken mit flächigen Systemen gefertigt wird, beträgt der Anteil bei den Wänden nur etwa 15 %. Bei den Wänden werden wiederum sehr stark beanspruchte Innenwände eher mit flächigen Systemen ausgeführt als Außenwände. Eine Übersicht über die wichtigsten flächigen Holzbausysteme ist nachfolgend in der Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Übersicht der wichtigsten flächigen Holzbausysteme

System	Kurzbeschreibung
Brettstapel- und Dübelholzelemente	Hochkant nebeneinanderstehende Brettlamellen, verbunden durch Nagelung oder Hartholzdübeln
Leimholzelemente	Untereinander verleimte Vollholzlammellen oder Kanthölzer
Vielholzelemente	Nebeneinanderliegende Massivhölzer mit zimmermannsmäßiger Verbindung ohne mechanische Verbindungsmittel oder Verleimung
Brettsperrholzelemente	Bestehend aus min. drei kreuzweise verleimten Brettschichten

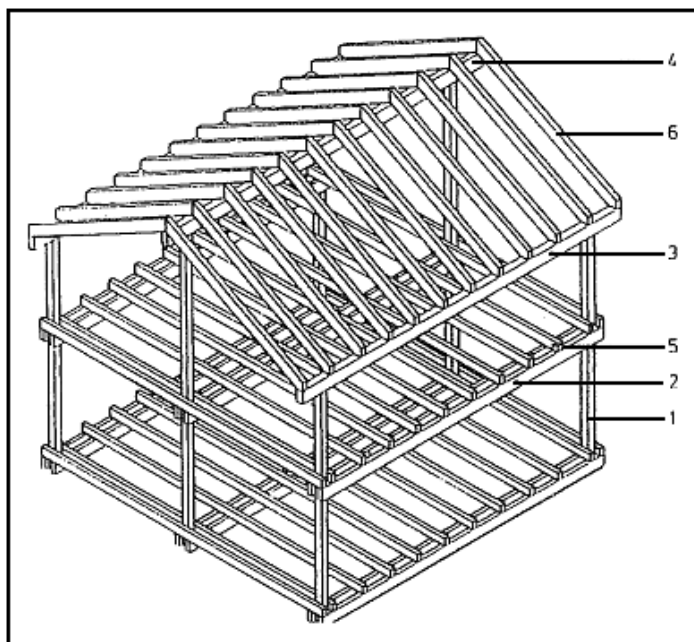
Die in Tabelle 17 genannten Bausysteme haben in den letzten 20 Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Im Wohnungsbau wie auch im gewerblichen Bau werden sie als statisch tragende Elemente eingesetzt. Ihre Besonderheit ist, dass man sie über große Flächen spannen kann, weil sie statisch eine hohe Steifigkeit besitzen. Die Systeme können nicht nur für Wände und Decken eingesetzt werden, sondern z. B. auch für Balkonplatten. Dämmungen, Vorsatzschalen und Fassadenelemente können leicht an ihnen befestigt werden. Durch die hohe Steifigkeit bei Beanspruchung in Elementebene kann ggf. die Anzahl und Länge der aussteifenden Wandelemente im Vergleich zum Tafelbau reduziert werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Anschlusskräfte auch in die weiteren Bauteile eingeleitet werden können. So kann durchaus auch bei Holztafeln die Dimensionierung des Anschlusses maßgebend werden. Dadurch, dass die Elemente ohne zusätzliche Beplankung als Scheibe eingesetzt werden können, eignen sie sich hervorragend für Innenbauteile, die aussteifend wirken, müssen aber von beiden Seiten gleichzeitig mit Brand beansprucht werden können.

6.3.4 Holzskelettbau

Der Holzskelettbau unterscheidet sich gravierend von den anderen Bauarten (Holztafelbau, Fachwerkbau und Massivholzbau), da im Skelettbau eine stabförmige Tragstruktur vorhanden ist, während bei den anderen Systemen mehr oder weniger flächige Systeme vorliegen.

Ein Holzskelett stellt ein Tragsystem dar, bei dem eine im Rastersystem geplante stabförmige Tragkonstruktion, aus Stützen und Trägern bestehend, für die Ableitung von Lasten sorgt und die raumabschließende Funktion von nichttragenden Elementen übernommen wird (Abbildung 52). Der Skelettbau lässt sich praktisch mit anderen Systemen kombinieren. So ist es bei nicht hochfeuerhemmenden Bauteilen möglich, zur Ausfachung der Skelett-

konstruktion beliebige Materialien wie z.B. Glas, Mauerwerk, Leichtbaukonstruktionen und vorgefertigte Tafелеlemente einzusetzen. Für die Stützen und Träger ist grundsätzlich der Einsatz von Schnittholz mindestens der Sortierklassen S10 bzw. S13 mit einem möglichst niedrigen Feuchtegehalt möglich. Die Festlegung eines sinnvollen Rastermaßes ist entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Primärkonstruktion. Innerhalb des Skelettbbaus gibt es wiederum eine Reihe von unterschiedlichen Bauarten. Sie unterscheiden sich in der Anordnung der Träger, der Ausbildung der Stützen und in der Ein- bzw. Mehrteiligkeit der Träger- und Stützenquerschnitte.



- (1) Stütze
- (2) Zange, Träger, Unterzug
- (3) Wandpfette
- (4) Firstpfette
- (5) Balken
- (6) Sparren

Abbildung 52: Bezeichnungen der Konstruktionsteile von Skelettkonstruktionen

Da im traditionellen Skelettbau Stützen und Träger in der Regel nicht flächenbündig abschließen, sind diese unter brandschutztechnischen Gesichtspunkten schwierig auszuführen. Die Umfrageergebnisse haben gezeigt, dass in der Praxis für jeden einzelnen Fall individuelle Konstruktionen entwickelt werden, die eine wirtschaftliche Montage der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung ermöglicht. Dafür werden dann wiederum ingenieurmäßig geplante Anschlussdetails entwickelt. Bei mehrgeschossigen Häusern wiederholen sich diese Details häufiger, so dass sich die Entwicklung individueller Detaillösungen wirtschaftlich rechnen kann.

6.4 Beschreibung der Bekleidungen

6.4.1 Aufgabe der Bekleidung

Die M-HFHolzR beschreibt die Aufgabe der Brandschutzbekleidung wie folgt:

„Die Brandschutzbekleidung muss eine Entzündung der tragenden einschließlich der aussteifenden Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen während eines Zeitraumes von mindestens 60 Minuten verhindern und als K₂60 nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein (brandschutztechnisch wirksame Bekleidung nach § 26 Abs. 2 Satz 2 Nr. 3 MBO). Die Brandschutzbekleidung muss allseitig und durchgängig aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Sie ist mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszubilden.“

Die Aufgabe der Bekleidung besteht somit primär darin, den dahinter liegenden Baustoff während der Kapselungsdauer vor Abbrand und Verkohlung zu schützen. Eine Entzündung der brennbaren Tragkonstruktion und damit ein Brandeintrag in die Bauteile muss für mindestens 60 Minuten verhindert werden, um die allgemeinen Schutzziele gemäß § 14 MBO zu erreichen. Die Brandschutzbekleidung muss die tragenden und aussteifenden brennbaren Bestandteile der Bauteile daher für diesen Zeitraum einkapseln und verhindern, dass die Entzündungstemperatur an der Oberfläche der Holzprofile oder der aus statischen Gründen flächig verlegten Holzwerkstoffe erreicht wird. Die Brandschutzbekleidung kann eine Entzündung der tragenden und aussteifenden brennbaren Bestandteile während der Branddauer von mindestens 60 Minuten aber nur dann zuverlässig verhindern, wenn sie in diesem Zeitraum an keiner Stelle durchgehende klaffende Risse aufweist. Die Beurteilung von Bekleidungen bezüglich ihrer brandschutztechnischen Wirksamkeit ist in der europäischen Norm DIN EN 14135 geregelt. Werden die in dieser Norm festgelegten Leistungskriterien (Verhinderung der Entzündung oder Verkohlung des Holzes) über einen Zeitraum von 60 Minuten eingehalten, kann die Brandschutzbekleidung nach DIN EN 13501 Teil 2 als K60 klassifiziert werden, wobei der Buchstabe K für „Kapselung“ steht.

Besteht die Brandschutzbekleidung aus mehreren Plattenlagen, sollten Baustoffe mit annähernd gleichem Wärmeausdehnungskoeffizient verwendet werden, damit die verschiedenen Lagen im Brandfall ein ähnliches Verformungsverhalten haben. Auf diese Weise können Zwangsspannungen infolge Temperatureinwirkung gering gehalten werden, die ansonsten eine Rissbildung verstärken.

Die vorgenannte Definition schließt jedoch nicht aus, der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen noch weitere Aufgaben zuzuschreiben. So kann die Bekleidung auch statische und schalltechnische Funktionen übernehmen. Bei den statischen Funktionen ist zu berücksichtigen, dass die Bekleidung nach der Brandbeanspruchung keine relevanten Festigkeitseigenschaften mehr aufweist. Somit können die Festigkeitseigenschaften nur dort Berücksichtigung finden, wo die Bauteile nur von einer Seite brandbeansprucht werden können.

6.4.2 Materialien

Gemäß M-HFH HolzR muss die Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. In der Praxis werden fast ausschließlich Platten aus Gipswerkstoffen (meistens aus Gipskarton, Gipsfaser oder Calciumsilikat) verwendet. Gipsplatten haben im Brandfall zwar die Eigenschaft, dass sie erheblich an Festigkeit verlieren, jedoch hinsichtlich der Wärmeleitung sehr vorteilhafte Eigenschaften aufweisen. Durch die Verdunstung des im Gips gebundenen Kristallwassers weisen Gipswerkstoffe äußerst hohe feuerhemmende Eigenschaften auf.

6.4.3 Aufbau

In der Praxis ist der Aufbau der Brandschutzbekleidung fast immer doppellagig, wobei dies keine direkte Forderung der M-HFH HolzR ist. Da zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch keine speziellen Brandschutzbekleidungen auf dem Markt sind, resultiert die doppelte Beplankung aus der Forderung der M-HFH HolzR, die Beplankung „mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszubilden“. Die M-HFH HolzR lässt somit auch andere Arten des Aufbaus zu, was zu wirtschaftlicheren Konstruktionen führen kann.

Der doppellagige Aufbau erfolgt üblicherweise so, dass die Gipsplatten mit mechanischen Verbindungsmitteln an die dahinter liegende Konstruktion mechanisch befestigt werden. Die Variationsmöglichkeiten sind zwar relativ vielfältig, jedoch mit nur untergeordneten Auswirkungen. Tabelle 18 gibt einen Überblick über die Möglichkeiten des Aufbaus und der Befestigung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung

Tabelle 18: Möglichkeiten des Aufbaus und der Befestigung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung

erste Lage	geschraubt		geklammert		mit der 2.Lage befestigt
zweite Lage	In die 1. Lage		Durch die 1. Lage in die Unterkonstruktion		
	geklammert	geschraubt	geklammert	geschraubt	

6.5 Installationsführungen

Installationen (Leitungs- und Lüftungsanlagen) dürfen nicht in hochfeuerhemmenden Bauteilen geführt werden. Sie sind in Schächten und Kanälen, vor Wänden oder unterhalb von Decken (siehe Abbildung 53) zu führen.

Werden die Installationen vor Wänden oder unterhalb von Decken geführt, können sie offen bleiben oder durch eine zusätzliche Konstruktion (Vorwand, abgehängte Decke) verdeckt werden. An diesen raumseitigen Abschluss der Installationsführungen, in den Hohlwand-

dosen, Beleuchtungskörper usw. eingebaut werden können, werden keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt. Die Brandschutzbekleidung darf jedoch durch die Vorwand- oder Unterdeckeninstallation nicht verletzt werden.

Die Brandschutzbekleidung der Öffnungsleibungen in hochfeuerhemmenden Wänden und Decken zur Durchführung von Schächten, Kanälen und von Installationen ist mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszuführen.

Durch diese Maßnahmen wird ein Zündschnureffekt durch brennbare Installationen innerhalb der Holzbauteile ausgeschlossen und eine Brandeinleitung in die Tragkonstruktionen wirksam verhindert.

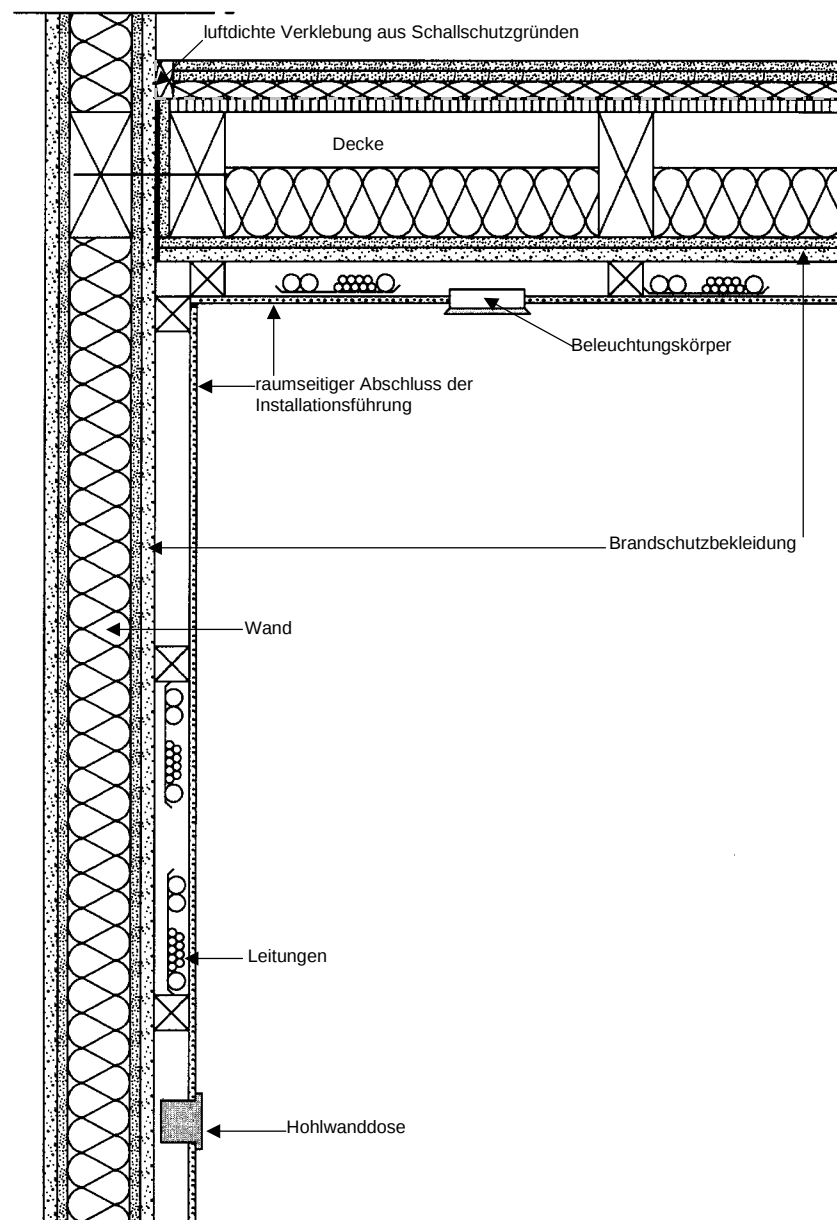


Abbildung 53: Installationsführung

6.5.1 Elektrische Leitungen

Einzelne Leitungen oder einzelne Hüllrohre aus nichtbrennbaren Baustoffen mit bis zu drei Leitungen, die zur Versorgung des angrenzenden Raumes dienen, dürfen innerhalb von Wänden und Decken geführt werden. Bei Durchführung der Leitungen durch die Brandschutzbekleidung sind die verbleibenden Hohlräume in der Brandschutzbekleidung jedoch mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verspachteln.

Hohlwanddosen zum Einbau von Steckdosen, Schaltern und Verteilern dürfen nur eingebaut werden, wenn der Abstand zum nächsten Holzständer bzw. zur nächsten Holzrippe mindestens 150 mm beträgt. Gegenüberliegende Hohlwanddosen müssen gefachversetzt eingebaut werden (siehe. Abbildung 54). Sie müssen innerhalb des Wandhohlraumes vollständig von nichtbrennbaren Dämmstoffen (Schmelzpunkt $\geq 1000\text{ °C}$) umhüllt werden, wobei der hohlraumfüllende Dämmstoff im Bereich der Hohlwanddosen auf eine Mindestdicke von 30 mm gestaucht werden darf.

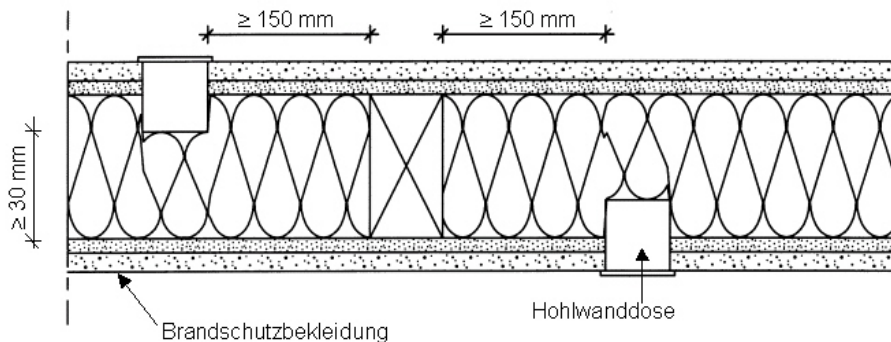


Abbildung 54: Einbau einzelner Hohlwanddosen

Abweichend von der grundsätzlichen Aussage der M-HFHolzR, dass die Führung von Installationen in den Holzbauteilen unzulässig ist, dürfen einzelne elektrische Leitungen innerhalb von Wänden und Decken eines Raumes geführt werden, um dort die Installation von Steckdosen, Schaltern, Lampen und ähnlicher Betriebsmittel, in Treppenraumwänden ausschließlich zur Versorgung des Treppenraumes, zu erleichtern. Diese Erleichterung gilt jedoch nicht für hochfeuerhemmende Stützen und Träger sowie Wände, die anstelle von Brandwänden zulässig sind.

Das Brandrisiko auf Grund einzelner Leitungen innerhalb von Wand- und Deckenkonstruktionen wird als gering eingestuft, da die Leitungen in der nichtbrennbaren Dämmung verlegt werden. Die Vorgaben für den Einbau von Hohlwanddosen stellen sicher, dass die Entzündung von Holzkonstruktionen bei Kurzschluss und durch erhöhte Temperaturen aufgrund ungenügender Leiterklemmverbindungen durch einen ausreichenden Abstand der

Hohlwanddosen ausgeschlossen werden kann, ebenso wie eine Rauchübertragung über gegenüberliegende Dosen.

6.6 Öffnungen für Türen, Fenster und sonstige Einbauten

Werden in hochfeuerhemmenden Bauteilen Öffnungen für Einbauten wie Fenster, Türen, Verteiler oder Lampenkästen hergestellt, ist die Brandschutzbekleidung in den Öffnungsleibungen mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen auszuführen (Abbildung 55).

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 vorsieht.

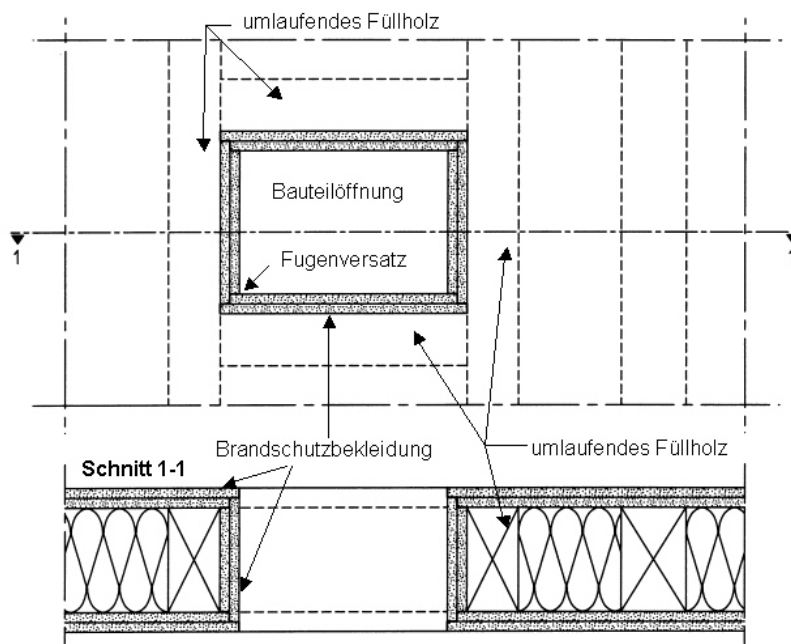


Abbildung 55: Bauteilöffnung mit Brandschutzbekleidung zum Einbau von Türen, Fenstern und sonstigen Einbauten oder zur Durchführung von Schächten, Kanälen und von Installationen – Darstellung der Ausführung des Fugenversatzes

6.7 Befestigungen an / durch die Bekleidung

Wie in den Kapiteln zuvor beschrieben, bestehen die Bekleidungen aus Gipsplatten o. Ä. und bilden, wenn keine Vorwandinstallation geführt wird, den Raumabschluss. Somit werden die Bekleidungen selbstverständlich auch genutzt, um Gegenstände zu befestigen. Insbesondere bei der Begutachtung der bereits bewohnten Gebäude konnte erwartungsgemäß festgestellt werden, dass in/durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung Verbin-

dungsmittel geführt werden, die von Heftzwecken bis hin zur Anhäufungen von Dübeln aus Metall oder Kunststoff reichen. Bei den Gegenständen, die mit diesen Verbindungsmitteln befestigt werden, reicht die Spannweite von der Kinderzeichnung aus Papier über übliche Regale und (Küchen-) Hängeschränke bis hin zu anderen schweren Gegenständen aus nichtbrennbarem Material (Stahlregale mit Konserven, Werkstattregale mit Autoreifen o. Ä.). Die kleinen Verbindungsmittel wie Nägel bis zu einem Durchmesser von etwa 2,8 mm und Gegenstände mit einer Masse von bis etwa 2 kg wie Bilderrahmen werden im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Im Wohnungsbereich sind als Verbindungsmittel fast ausschließlich Kunststoffdübel mit einem Durchmesser von 6 mm und 8 mm, vereinzelt auch 10 mm vorzufinden. Sanitärinstallationen, die mit Dübeln noch größeren Durchmessers befestigt werden müssen, sind in den besichtigten Wohnungen ausschließlich in nicht brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen befestigt worden. Diese werden in der Regel an sogenannten Vorwandinstallationen oder nichttragenden Innenwänden ohne Anforderungen an den Brandschutz befestigt.

Absolut vorrangig bei der Wahl der Dübel sind Kunststoffdübel. Neben diesen ist eine Vielzahl weiterer Dübel anzutreffen, die jedoch mengenmäßig als eher untergeordnet angesehen werden können. Abbildung 56 zeigt zwei Beispiele von Dübeln aus Metall, die zur Befestigung in Gipsbauplatten Anwendung finden. Kunststoffdübel werden in der Regel aus Polyamid gefertigt. Dieses hat einen Schmelzpunkt bei etwa 220 °C und verliert seine Festigkeit bei etwa 180 °C. Die Wärmeleitfähigkeit von Polyamid wird in der Literatur mit etwa 0,23 W/(m*K) angegeben und ist im Vergleich zum Metall mit einer Wärmeleitfähigkeit von mehr als 20 W/(m*K) sehr niedrig.



Abbildung 56: Beispiele von Metalldübeln zur Befestigung in Gipsbauplatten

Die Verbindungsmittel, die in den Dübeln stecken, sind ausschließlich aus Metall, vorrangig Stahl, seltener aus Messing oder anderen NE-Metallen. Bei der Art des Verbindungsmittels sind übliche Schrauben und Haken mit einem Durchmesser von 4 mm bis 6 mm vorzufinden, in Einzelfällen 8 mm.

Die größte Anhäufung von Dübeln ist in Küchen vorzufinden, bei der Befestigung von Hängeschränken. Bei schmalen Hängeschränken mit einer Breite von etwa 40 cm bis 50 cm beträgt die Anzahl der Dübel mit einem Durchmesser von 8 mm bis zu 6 je Meter Hängeschränk. Bei breiteren Hängeschränken mit einer Breite von 100 cm ist die Anzahl der verwendeten Dübel je Meter entsprechend geringer, wobei die mechanische Beanspruchung des Dübels höher wird.

Während die Aussage zu Art und Anzahl der Dübel und der zu befestigenden Gegenstände im Wohnungsbereich weitestgehend auf das Vorgenannte konzentriert werden kann, ist die Situation in Lagerräumen und insbesondere in gewerblich genutzten Räumen höchst uneinheitlich. Hier ist von dem 6 mm Kunststoffdübel bis zu individuell angefertigten Befestigungssystemen nahezu alles anzutreffen.

6.8 Vorfertigungsgrad / Montage

6.8.1 Holzkonstruktion

Der Vorfertigungsgrad für die Holzkonstruktionen kann sich über Baustellenfertigung bis zum Raumzellenbau erstrecken und somit von nahe Null bis fast 100 %. Üblicherweise und besonders im mehrgeschossigen Holzbau ist jedoch ein relativ hoher Vorfertigungsgrad anzutreffen, wobei häufig entscheidende Schritte, die die Wirtschaftlichkeit erheblich verbessern können, ausgelassen werden (siehe auch Kapitel 7). Besonders bei den zugekauften flächigen Massivholzkonstruktionen ist zu beobachten, dass diese oft ohne Beplankung auf die Baustelle geliefert werden. Die großen und schweren Gipsplatten müssen dann auf der Baustelle gehandhabt werden. Etwas überraschend war, wie sehr die Umfrageergebnisse mit der Realität auseinandergehen. So gaben alle befragten Unternehmen an, dass ein hoher bis sehr hoher Vorfertigungsgrad vorhanden ist. Etwa die Hälfte der flächigen Massivholzkonstruktionen wurde jedoch ohne brandschutztechnische Bekleidung auf die Baustelle geliefert. Als Grund hierfür wurde angegeben, dass die zugekauften Massivholzsysteme „just-in-time“ auf die Baustelle geliefert werden, ohne diese vorher im Werk des Holzbauunternehmens abzuladen, zu beplanken und dann auf die Baustelle zu liefern. Die Auswertung der Umfragen ergab nachstehend aufgeführten Zwiespalt in dem sich die Unternehmen bewegen:

Bei großen Bauvorhaben stoßen kleinere und selbst mittelgroße Unternehmen vor allem hinsichtlich der Lagerhaltung fertiger Elemente an ihre Grenzen. Die Grenzen der Arbeitskapazitäten werden in der Regel weniger schnell erreicht. Je höher der Vorfertigungsgrad der Elemente ist, desto größere Lagerkapazitäten müssen vorhanden sein. Die begrenzten Lager-

kapazitäten fertiger Elemente erklären auch die Vorgehensweise, die zugekauften Massivholzelemente direkt („just-in-time“) auf die Baustelle zu liefern. Da die Arbeitskapazitäten häufig nicht den entscheidenden Faktor darstellen, wird dann die Montage der Beplankung auf der Baustelle durchgeführt. Teilweise werden hierzu auch Leistungen von Subunternehmern aus dem Trockenbau hinzu gekauft. Damit kommt ein klassisches Problem eines geringen Vorfertigungsgrades zum Tragen: die Einhaltung und Kontrolle der Ausführungsqualität. Erschwerend kommt hinzu, dass der Montage der Bekleidung eine viel zu geringe Aufmerksamkeit gewidmet wird, frei nach dem Motto „es kann ja nicht so schwer sein, ein paar Platten anzuschrauben“. Die Realität sieht jedoch so aus, dass die schweren Platten, besonders bei Überkopfmontage nur schwer passgenau zu positionieren sind, so dass sich dann schnell Fugen von wenigen Zentimetern ergeben, die wiederum umständlich ausgefüllt werden müssten – für Plattenstreifen ist die Fuge zu schmal und zum schnellen und sauberen Verspachteln sind die Fugen zu breit (siehe Abbildung 57 bis Abbildung 61). In der Praxis besteht aber die Gefahr, dass die unsauber ausgeführte innere Lage durch die äußere Lage verdeckt wird.



Abbildung 57: Etwa 3 cm breite Fuge im Anschluss Decke - Wand



Abbildung 58: Etwa 2 cm bereite Fugen im Anschluss Decke - Wand



Abbildung 59: Fuge und unplanmäßiger Fugenversatz im Anschluss Decke - Wand



Abbildung 60: Etwa 3 cm breite Fuge im Anschluss Decke - Wand



Abbildung 61: Etwa 5 cm und 2 cm breite Fugen im Anschluss Decke - Wand

Aus Vorgenanntem wird deutlich, dass eine detaillierte Planung einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung bis hin zum Verlegeschema der Platten oberste Priorität hat. Es drängt sich die Forderung auf, dass die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung nicht auf der Baustelle montiert werden darf, mit Ausnahme von maximal etwa 10 bis 30 cm breiten Pass- und Anschlussstücken.

Der höchste Vorfertigungsgrad, damit der niedrigste Montageaufwand auf der Baustelle, wird durch den Raumzellenbau erreicht. Beim Raumzellenbau werden die einzelnen Bauteile Wand, Decke und Boden nach dem Prinzip der Tafelbauart gefertigt und dann bereits im Werk in ein aus einem Holz- oder Stahlrahmen bestehendes Raumtragwerk eingebaut. Von Nachteil sind die Transportbedingungen, die besondere Geräte erfordern und damit einen großen Zeitaufwand mit sich bringen. Mehrgeschossige Häuser der Gebäudeklasse 4 in Holzbauart werden bis zum heutigen Zeitpunkt faktisch nicht in Raumzellenbauart gefertigt. In der Praxis werden bislang lediglich einzelne Module (z. B. Nasszellen) vorgefertigt. In der Gebäudeklasse 3 wurden bereits entsprechende Objekte umgesetzt.

Es erscheint gerechtfertigt, im Rahmen eines gesonderten Vorhabens zu untersuchen, unter welchen Bedingungen es wirtschaftlich sinnvoll ist, mehrgeschossige Häuser in Holzbauart in Raumzellenbauart zu fertigen.

6.8.2 Beplankung

Im Gegensatz zur Holzkonstruktion ist der Vorfertigungsgrad der Beplankung eindeutig. Bis auf das Zuschneiden und eventuelle Korrekturen der Beplankung gibt es keinen weiteren Vorfertigungsgrad. Die Platten werden in bestimmten Größen und Dicken hergestellt. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die gebräuchlichsten Plattenformate. Darüber

hinaus werden zwar auch Sonderformate angeboten, es sind jedoch keine Platten im Markt erhältlich, die bereits den Fugenversatz o.ä. aufweisen.

Dicke in mm	Regelbreite in mm	Regellänge in mm
9,5 12,5 15,0 18,0	1250 (1200 Sonderbreite)	2000 – 4000*
20,0 25,0	600 + 625	2000 – 3500*
9,5	400	1500 und 2000
* Längen in Abstufung von je 250 mm		

6.9 Fragenkatalog



Fragenkatalog

1. Wenn Sie im Holzbau brandschutztechnische Kapselungen vornehmen mussten, welche Kapselklasse mussten Sie wo erzielen?

	Einbauort der brandschutztechnischen Bekleidung			
	Wand		Decke	Dach
Kapselklasse	Innen-	Außen-		
K 30				
K 45				
K 60				
K 90				

Bitte die jeweils stimmige Antwort ankreuzen.

2. Welcher Untergrund musste geschützt werden?

Holzrahmenbau / Holztafelbau mit ohne Holzwerkstoffplatte	Holzskelettbau	Fachwerk	Flächige Konstruktionen (Brettsperrholz o.ä.)

Bitte die jeweils stimmige Antwort ankreuzen.

3. Mit welchen Materialien haben Sie diese ausgeführt?

Kapselklasse	Materialien der brandschutztechnischen Bekleidung				
	Gipskarton- Bauplatten GKB und GKF (nach DIN 18180)	Gipsfaser- platten („Fermacell“, „Rigidur“, „Vidiwall“ o.ä.)	Drahtputz- decken (nach DIN 4121)	Kalziumsilikat- platten („Promat“ o.ä.)	Sonstiges
K 30					
K 45					
K 60					
K 90					

Bitte die jeweils stimmige Antwort ankreuzen.

Welche sonstigen Materialien haben Sie eingesetzt?

4. Die brandschutztechnische Kapselung wurde... montiert.

komplett im Werk	nur die erste Lage im Werk	komplett auf der Baustelle	sonstiges (ggf. beschreiben)

Bitte die jeweils stimmige Antwort ankreuzen.

5. Wie wurde die brandschutztechnische Kapselung auf dem Holzuntergrund befestigt?

Erste Lage	geschraubt	geklammert	Mit der 2. Lage befestigt	sonstiges
Zweite Lage	In die 1. Lage		Durch die 1. Lage in die Unterkonstruktion	
	geklammert	geschraubt	geklammert	geschraubt
				sonstiges (ggf. beschreiben)

Bitte die jeweils stimmige Antwort ankreuzen.

6. Welche Probleme gab es ausschließlich bei der Montage der brandschutztechnischen Kapselung auf der Holzkonstruktion (Plattengewicht, Plattenformat, Befestigung...)
7. Welche Vorteile / Nachteile hätte nach Ihrer Einschätzung ein höherer Vorfertigungsgrad, ggf. bis hin zur Raumzellenbauweise?
8. Wo könnten sich Vorteile / Nachteile durch einen geringeren Vorfertigungsgrad ergeben?
9. Welche Verbesserungsmöglichkeiten könnten bei den brandschutztechnischen Kapselungen vorgenommen werden?
10. Welche Probleme gibt es ansonsten bei der Erstellung von mehrgeschossigen Holzhäusern? Wo erwarten Sie Unterstützung durch übergeordnete Institutionen?

7 Optimierungsmöglichkeiten

Ausgehend von der Analyse der Ist-Situation in Kapitel 6 lassen sich Optimierungs- und Verbesserungsmöglichkeiten ableiten. Diese können in zwei Bereiche untergliedert werden:

- Möglichkeiten zur Verbesserung der Arbeitsabläufe (strukturelle Optimierung),
- Möglichkeiten zur Optimierung der Bekleidung.

7.1 Möglichkeiten zur Verbesserung der Arbeitsabläufe

Das größte Potenzial liegt in der Verbesserung – das heißt in diesem Fall Erhöhung – des Vorfertigungsgrades der Elemente. Das Potenzial ergibt sich dabei weniger aus dem Umstand der Vorfertigung an sich, sondern an der dazu erforderlichen Planung. Etwa 30 % der hochfeuerhemmenden Bauteile werden nach den Umfrageergebnissen auf der Baustelle beplankt. Alle befragten Unternehmen haben angegeben, dass die Beplankung auf der Baustelle gewählt wurde, weil andere Gründe (z. B. unzureichende Lagerkapazitäten fertiger Elemente und erhöhte Planungskosten) dieses Vorgehen erforderlich gemacht hätten. Alle Unternehmen gaben jedoch auch nach Durchführung der Arbeiten aufgrund der Nachkalkulation an, dass die Montage auf der Baustelle im Endeffekt kostenintensiver gewesen sei. Vor allem ein höherer Planungsaufwand rentiert sich bei mehrgeschossigen Bauten schnell. Aber auch die temporäre Anmietung von Lagerkapazitäten kann sinnvoll sein. Hier sind jedoch sehr stark lokale Strukturen und saisonale Schwankungen zu berücksichtigen. In Ballungszentren ist die Anmietung von Lagermöglichkeiten in der Regel möglich, jedoch zu relativ hohen Kosten. In ländlichen Gebieten sind die Möglichkeiten sehr stark saisonabhängig. Landwirtschaftliche Betriebe haben in der Regel ausreichend große Lagerhallen, diese sind jedoch nicht immer verfügbar. Die Anmietung solcher Hallen ist somit entweder zu sehr niedrigen Kosten oder faktisch nicht möglich.

Bei den in der Regel zugelieferten flächigen Deckenelementen wie Brettsperrholzelementen, wird empfohlen, diese vor der Montage mit den erforderlichen Beplankungen zu versehen. Die Frage, ob die Elemente erst zum Holzbauunternehmen geliefert werden oder beim Hersteller der Elemente bereits bekleidet werden sollen (Wertschöpfung), muss individuell beantwortet werden. Wenn die räumlichen und gerätetechnischen Bedingungen der Baustelle es erlauben, kann auch eine Bekleidung in einem gesonderten Arbeitsbereich auf der Baustelle erfolgen. Oberste Priorität muss dabei der Vermeidung der Überkopfmontage großformatiger Gipsbauplatten gewidmet werden. Dabei ist es nicht vorrangig, die Beplankung so passgenau zu setzen, dass keinerlei weitere Arbeiten erforderlich werden. Vielmehr sollten die großformatigen Platten bei der Vorfertigung so gesetzt werden, dass auf der Baustelle mit etwa 10 cm bis 30 cm breiten Passstücken die Anschlüsse passend ausgeführt werden.

Hinsichtlich der Kosten sind zwar in der Regel nur geringfügige Einsparungen möglich, wenn die Beplankung nicht auf der Baustelle montiert wird. Hier schlagen insbesondere der erhöhte Planungsaufwand und der erhöhte Aufwand bei der Handhabung der Brettsperrholzelemente zu buche. Dieser erhöhte Aufwand ist in der Regel ähnlich hoch wie die Einsparung bei der kürzeren Montagezeit der Beplankung auf der Baustelle. Es werden jedoch durch erhöhte Vorfertigung massiv Fehlerquellen vermieden, so dass sich selbst ein erhöhter Mehraufwand durch die Vorfertigung im Endeffekt rechnet.

Bei der Montage von mehrgeschossigen Reihenhäusern (Wohnanlagen) ist individuell abzuwägen, ob die übliche geschossweise Montage (Abbildung 62 oben) sinnvoll ist. Hier ist jeweils die gesamte Deckenfläche der Bewitterung ausgesetzt, so dass unter Umständen die blockweise Montage (Abbildung 62 unten) besser geeignet ist. Hier ist jeweils nur eine relativ kleine Fläche der Bewitterung ausgesetzt und kann somit besser geschützt werden. Die Umfragen haben gezeigt, dass die Beseitigung von Schäden durch Niederschlag nennenswert kostenintensiver ist, als eventuelle Mehrkosten durch die blockweise Montage. Die Umfragen ließen jedoch keine gesicherte Aussage dahingehend zu, ob und wenn ja in welchem Umfang die blockweise Montage kostenintensiver ist, als die geschossweise Montage.

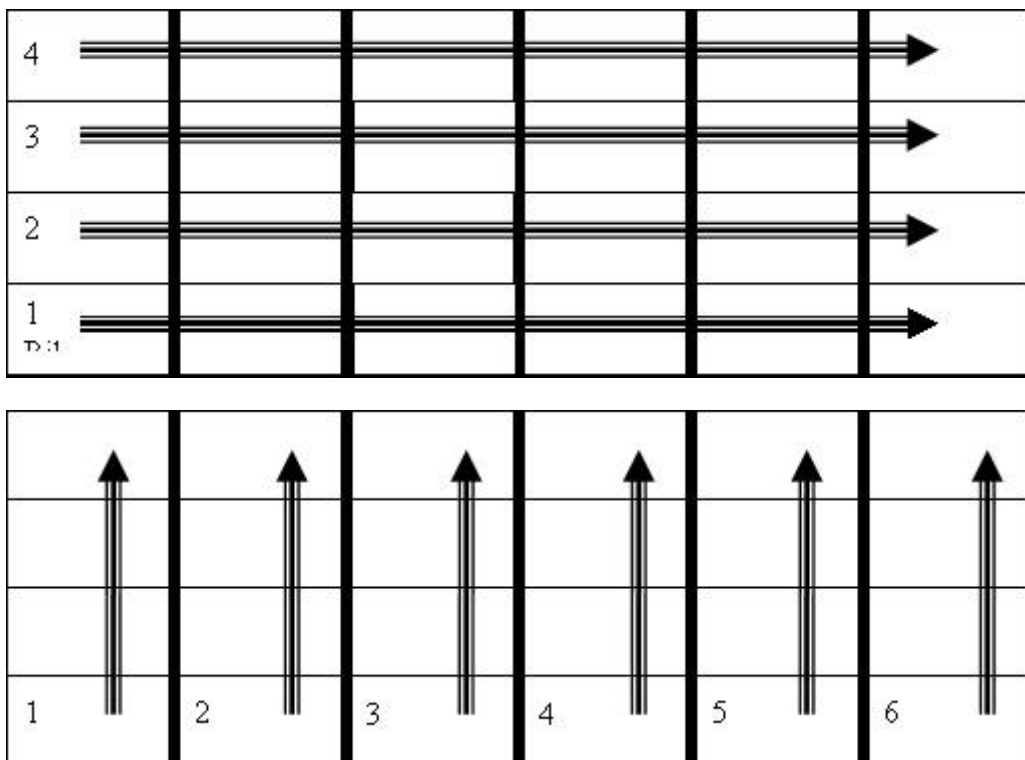


Abbildung 62: Prinzipdarstellung möglicher Montagevorgänge. Oben: Geschossweise Montage, unten: blockweise Montage

7.2 Möglichkeiten zur Optimierung der Bekleidung

Die Möglichkeiten zur Optimierung der Beplankung und das daraus resultierende Einsparpotenzial sind im Vergleich zu den unter 7.1 beschriebenen Möglichkeiten als eher gering zu bezeichnen, da der geringere Arbeitsaufwand bei der Herstellung der Holzbauelemente vermutlich von höheren Materialkosten auf Seiten der Beplankung aufgewogen wird. Zudem geht mit den nachstehend aufgeführten Vorschlägen die Individualität zu großen Teilen verloren. Daher ist fraglich, ob diese in der Praxis nennenswerte Akzeptanz erlangen werden.

7.2.1 Variante 1: Doppelbeplankung

Eine Möglichkeit, die sich insbesondere bei einem hohen Vorfertigungsgrad als wirtschaftlich erweist, ist die Verwendung von Doppelbeplankungen. Die Dicke einer Platte hat bereits die erforderliche Gesamtdicke einer doppelten Beplankung und weist an den Stellen, an denen Verbindungsmittel angebracht werden, Vertiefungen auf. Diese Vertiefungen werden mit vorgefertigten Passstücken verfüllt. Die Gesamtdicke könnte erreicht werden, indem zwei einzelne Platten verklebt werden oder – vermutlich mit relativ großem anlagentechnischem Aufwand – bereits eine Platte mit Vertiefungen gefertigt wird. Das Verkleben der Passstücke kann mit Hilfe eines mineralischen Klebers (Gips) erfolgen.

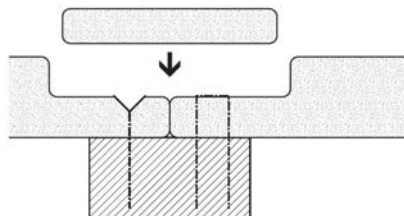


Abbildung 63: Vorgefertigte Doppelbeplankung mit Vertiefungen im Bereich der Verbindungsmittel

7.2.2 Variante 2: Verbindungsmittel mit thermisch entkoppeltem Kopf

Diese Variante setzt entsprechende Verbindungsmittel voraus, die den Kopf der Schraube durch Materialwechsel thermisch vom Schaft entkoppeln. Da das Verbindungsmittel maßgebend für die Dicke der Bekleidung ist, könnten so schlankere Konstruktionen realisiert werden. Am Markt konnten allerdings keine Produkte recherchiert werden.

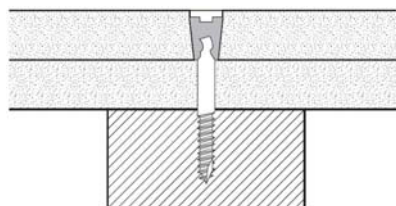


Abbildung 64: Verbindungsmittel mit thermisch entkoppeltem Kopf

7.2.3 Variante 3: Verklebung der einzelnen Lagen

Diese Variante ist vergleichbar mit Variante 1, jedoch mit Verwendung von bisher handelsüblichen Platten. Diese Variante bietet sich insbesondere bei der Vorfertigung im Werk an. Als Verbindungsmittel sind sowohl Klammern als auch Schrauben grundsätzlich denkbar. Die Verbindungsmittel müssen allerdings bis auf die erste Lage versenkt und im Anschluss verspachtelt werden. Für beide Verbindungsmittel sind entsprechende Geräte zu verwenden, mit denen ein definiertes Versenken des Verbindungsmittels möglich ist.

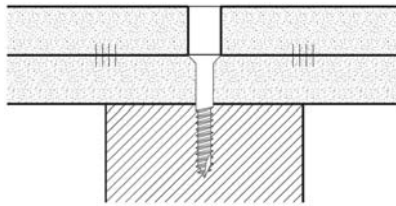


Abbildung 65: Verklebung der zweiten Plattenlage auf der ersten und Versenken des Verbindungsmittels

8 Regelkonstruktionen auf Grundlage der Ergebnisse des Vorhabens

8.1 Wandquerschnitte / Beplankungen

8.1.1 Klebeverbindungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Klebeverbindungen von Brandschutzbekleidungen mit der Holzkonstruktion zu wesentlich dünneren Bekleidungsstärken führen können, da der Eintrag von thermischer Energie über die sonst üblichen metallischen Verbindungsmittel nicht erfolgt. Klebeverbindungen sind somit eine potenzielle Möglichkeit, wirtschaftlichere Konstruktionen zu gestalten. Die Festigkeit der Verbindung birgt jedoch noch große Herausforderungen. So verliert der Gipswerkstoff der Brandschutzbekleidung erheblich an Festigkeit durch die im Brandfall auftretende Feuchtigkeit. In diesem Vorhaben konnten dazu erste Lösungsansätze herausgearbeitet werden, jedoch noch keine ausgereiften Lösungen. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich. Ein vielversprechender Lösungsansatz ist z. B. die Verhinderung der Dampfdiffusion von der brandbeanspruchten Seite in die Holzkonstruktion.

Hinsichtlich der Reduzierung der Plattendicke durch thermische Entkopplung der Verbindungsmittel wird hier auf die Möglichkeiten zur Reduzierung der Bekleidung im Kapitel 7.2 verwiesen.

8.2 Konsollasten

Eine Optimierung (Reduzierung der Dicke) der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung wie sie im Arbeitspaket 4 vorgenommen worden ist, führt dazu, dass Sicherheitsreserven verringert werden. Umso wichtiger ist es, Regelungen für hochfeuerhemmende Wände zu treffen, die planmäßig der Anbringung von Konsollasten dienen. Dabei lassen sich grundsätzlich die folgenden Fälle unterscheiden.

8.2.1 Befestigung auf dem Ständer

Eine Befestigung von Konsollasten auf dem Ständer mittels Schrauben, die die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung durchdringen, ist nur zulässig, wenn der Durchmesser der Schrauben begrenzt wird. Es darf nur der Schraubentyp verwendet werden, der für die Befestigung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung gemäß DIN EN 13501 geprüft wurde. Kleinere Abmessungen sind zulässig.

Schrauben müssen untereinander einen Abstand von mindestens 5 cm einhalten.

8.2.2 Befestigung in der Gipsbekleidung (Feld)

Eine Befestigung von Konsollasten im Feld ist unter folgenden Randbedingungen zulässig:

- Es dürfen Kunststoffdübel verwendet werden, die im Brandfall frühzeitig ausschmelzen. Die Befestigungspunkte müssen einen Abstand von 5 cm zum brennbaren Ständer halten.
- Es dürfen Klappdübel in Verbindung mit brennbaren Möbelsystemen, die im Brandfall nach relativ kurzer Brandbeanspruchung von der Wand abfallen (z. B. übliche Küchenmöbel aus bis zu 16 mm Holzwerkstoffplatten), verwendet werden. Die Befestigungspunkte müssen einen Abstand von 10 cm zum brennbaren Ständer halten.
- Bei Verwendung von Klappdübeln in Verbindung mit nicht-brennbaren Möbelsystemen, z. B. Metallregale o. Ä., ist die Last zu begrenzen. Die zulässige Last ist für die jeweilige Konstruktion zu ermitteln.

Für 2 x 18 mm GF- Platte wurde eine zulässige Zuglast von 300 N ermittelt (vgl. Kapitel 5).

8.2.3 Befestigung in Massivholzkonstruktionen / Holzwerkstoffen

Die Befestigung von Konsollasten durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung in Massivholzkonstruktionen oder Holzwerkstoffplatten darf ausschließlich mit Holzschrauben erfolgen, die für die Befestigung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung geprüft sind. Kleinere Abmessungen sind zulässig.

Schrauben müssen untereinander einen Abstand von mind. 5 cm einhalten.

Die Verwendung von Klappdübeln o. Ä. in Verbindung mit Holzwerkstoffplatten ist nicht zulässig.

8.3 Sonderkonstruktionen für Konsollasten

Mit den nachstehend aufgeführten Konstruktionen ist nach heutigem Kenntnisstand eine auch unter brandschutztechnischen Gesichtspunkten sichere Befestigung von Konsollasten möglich.

8.3.1 Var. 1/2: Befestigung der Konsollasten an einer Federschiene

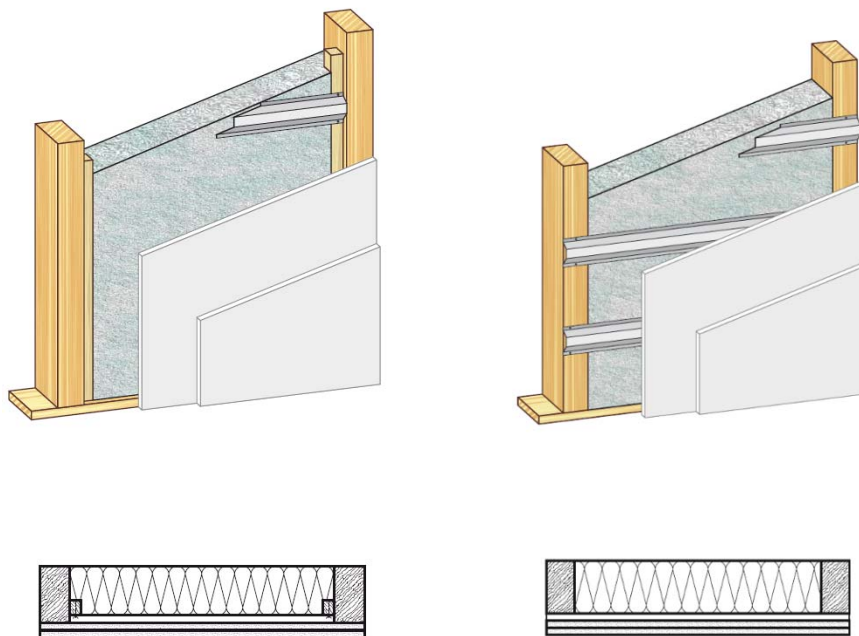


Abbildung 66: Federschiene niveaugleich mit (links) oder auf dem Holzständerwerk

In Brandversuchen wurde der Nachweis geführt, dass Konstruktionen mit Federschiene einen dünneren Plattenaufbau erlauben. Um eine K60 Klassifizierung zu erreichen, sind vermutlich 2 x 15 mm GF-Platte ausreichend. Ein Nachweis in großformatigen Brandversuchen nach DIN EN 14135 steht allerdings aus.

Eine Befestigung in der Federschiene von 8 mm starken Schrauben erlaubte eine Belastung von 400 N.

8.3.2 Var. 3 a/b: Stahlblech (3a) oder OSB (3b) auf Ständerwerk.

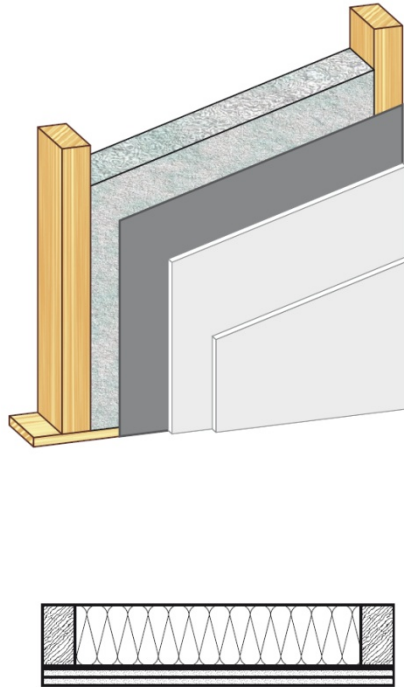


Abbildung 67: Lastabtragende Schicht auf dem Ständerwerk

Die Stahlblechtafel oder die OSB-Platte dient bei dieser Konstruktion als lastverteilende bzw. aussteifende Schicht.

Bei Verwendung einer OSB-Platte gelten die Anmerkungen von Kapitel 8.2.3. Bei Verwendung einer Stahlblechtafel ist der Einsatz von Klappdübeln vermutlich möglich. Mangels Versuchsdaten kann hier aber keine Empfehlung ausgesprochen werden.

Die Konstruktion bietet allerdings hinsichtlich einer Optimierung der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung kein Potenzial. Aus wirtschaftlichen Gründen kann diese Konstruktion zur sicheren Aufnahme von Konsollasten daher nicht empfohlen werden.

8.3.3 Var. 4: Stahlblechtafel zwischen den Gipswerkstoffplatten

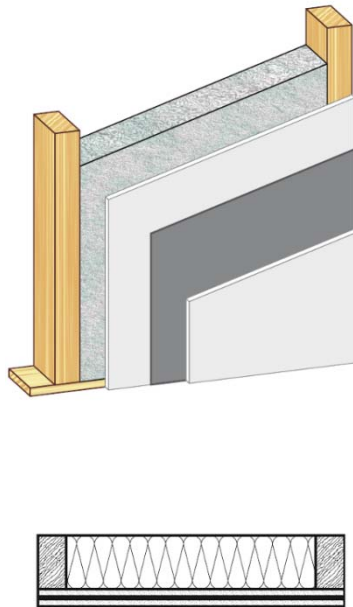


Abbildung 68: Lastabtragende Schicht zwischen den Gipswerkstoffplatten

Diese Variante ist wirtschaftlich interessant, da sie einerseits zu einer optimierten Bekleidung führt (vgl. Kapitel 5.4.2.2) und andererseits die sichere Aufnahme von Konsollasten erlaubt.

Im Brandversuch konnte der Nachweis geführt werden, dass eine Beanspruchung mit einer Zuglast von 400 N bei einer Schraube mit einem Durchmesser von 8 mm möglich ist. Dübel brauchen nicht verwendet zu werden. Die Befestigung kann direkt verschraubt werden.

8.3.4 Variante 5: Vorwandinstallationsebene (ggf. auch auf Federschiene).

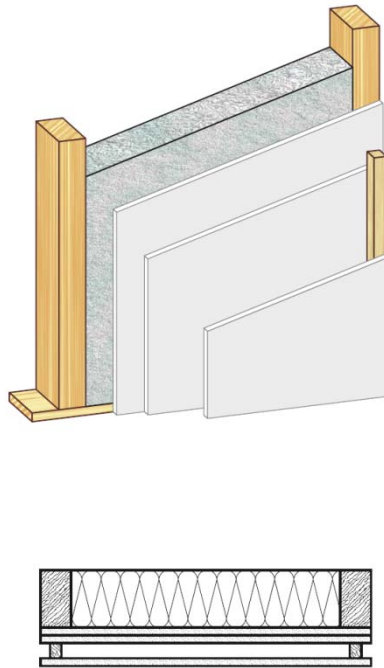


Abbildung 69: Vorwandinstallationsebene

Diese Variante ist wirtschaftlich ebenfalls interessant, da sie einerseits notwendige Installationen z. B. einer Küche aufnehmen kann. Die Befestigung der Konsollasten erfolgt in der Vorwandplatte, die nicht zur eigentlichen brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung gehört.

8.4 Überprüfung der Regelungen in der Baupraxis

Den Autoren ist klar, dass eine Einhaltung der vorgestellten Regelungen, im privaten Wohnungsbau nur bedingt überprüfbar ist. Allerdings sollte es möglich sein, auch im privaten Sektor zumindest im Neubau entsprechende Hinweise umzusetzen. Bei Umbauten im Bestand bestehen hier keine Möglichkeiten. Dies ist aber kein holzbauspezifisches Problem. Auch bei anderen Bauweisen ist der Bewohner/Eigentümer bei vergleichbaren Gebäuden im Laufe der Nutzung im Prinzip nicht kontrollierbar.

Im Bereich der gewerblichen Wohnungswirtschaft und bei Büro- und Verwaltungsgebäuden ist eine Kontrolle im Bestand allerdings prinzipiell möglich.

9 Zusätzliche Fragestellungen zu Bauteilanschlüssen / Setzungsverhalten

9.1 Einleitung

Im mehrgeschossigen Holzbau sind neben den Fragestellungen des Brandschutzes auch Aspekte des Schallschutzes und natürlich auch des Trag- und Verformungsverhalten zu berücksichtigen. Während die Durchbiegung von z. B. Biegeträgern in der Regel errechnet und berücksichtigt wird, zeigt die Erfahrung, dass Setzungen durch Schwindverformungen des Holzes oder durch Querdruckspannungen im Holz gelegentlich vernachlässigt werden. Die dadurch entstehenden Schäden wie Quetschfalten bei Wärmedämmverbund-Systemen oder Risse in Bauteilanschlüssen sind in der Regel zwar zu beheben, stellen jedoch bei Auftreten ein Ärgernis dar, das vermeidbar ist.

Holz hat aufgrund seiner Struktur zwei Richtungen mit erheblich unterschiedlichen Materialeigenschaften. So ist z. B. die Steifigkeit parallel zur Faser in etwa 30-mal so hoch wie rechtwinklig zur Faserrichtung. Daraus wird schnell deutlich, dass zur Vermeidung großer Setzungen die Einhaltung einiger grundlegender, im Allgemeinen jedoch auch bekannter Strategien oberste Priorität hat.

So sollten z. B. auf Querdruck beanspruchte Bauteile eine möglichst geringe Höhe aufweisen. Hierzu sind jedoch bereits von anderen Stellen Anschlüsse und Details erarbeitet worden, so dass an dieser Stelle auf folgende Literatur verwiesen wird:

- Holzbau: Grundlagen, Bemessungshilfen; Francois Colling, Vieweg+Teubner
- Holzbau - Beispiele: Musterlösungen, Formelsammlung, Bemessungstabellen; Francois Colling, Vieweg+Teubner
- Holzbau: Wände - Decken - Bauprodukte - Dächer - Konstruktionen - Bauphysik – Holzschutz; Horst Schulze, Vieweg+Teubner
- Holzbau kompakt: Nach DIN 1052; Günter Steck und Nikolaus Nebgen, Bauwerk Verlag
- Holzbau mit System: Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile; Josef Kolb, Birkhuser-Verlag AG
- Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail - 2: Konzeption; José Luis Moro, Springer Verlag, Berlin
- Wandkonstruktionen im Holzhausbau - Anforderungen, Konstruktion und Bauausführung; Torsten Gildemeister, Grin Verlag
- Holzrahmenbau + Holzrahmenbau Details, CD-ROM: Bewährtes Hausbau-System, Bruderverlag

- Technisch und wirtschaftlich optimierter Holzrahmenbau. Abschlussbericht: Entwicklung von Konstruktionshilfen zur Realisierung von technisch und ... Berücksichtigung der neuen DIN 1052; Volkhard Franz und Holger Schopbach, Fraunhofer IRB Stuttgart
- Holzrahmenbau Mehrgeschossig; Bruderverlag
- Wärmebrücken im Holzrahmenbau; Bruderverlag

Im Folgenden wird auf einige besondere Details eingegangen, die sich in der zuvor vorgestellten Literatur nur unzureichend wiederfinden.

9.2 Holzwerkstoffe

9.2.1 Etablierte Holzwerkstoffe

Holzwerkstoffe sind Ingenieurprodukte und aufgrund ihrer Vergütung dem natürlichen Vollholz technisch überlegen. Im mehrgeschossigen Holzbau ist hier insbesondere Furnierholz als Furnierschichtholz oder Furniersperrholz zu erwähnen. Furnierschichtholz kann in der Regel aufgrund der höheren Festigkeiten mit geringeren Querschnitten dimensioniert werden und weist rechtwinklig zur Haupttragrichtung zudem – je nach Produkt – eine um den Faktor 3 bis 10 höhere Steifigkeit auf als Fichtenvollholz rechtwinklig zur Faserrichtung.

Weiterhin weisen Holzwerkstoffe bei Auslieferung in der Regel eine Holzfeuchte von etwa 6 % bis 10 % auf. Selbst übliches, technisch getrocknetes Konstruktionsholz wird mit etwa 12 % bis 18 % Holzfeuchte ausgeliefert. Im geschützten Bauteil stellt sich üblicherweise eine Holzfeuchte von ca. 8 % bis 12 % ein.

Nachstehende überschlägige Berechnung soll die Unterschiede im Setzungsverhalten zwischen Vollholz und geeigneten Holzwerkstoffen verdeutlichen:

9.2.1.1 Berechnungsbeispiel von Setzungen

Annahme: Deckenanschluss mit ca. 30 cm auf Querdruck beanspruchten Querschnitten

9.2.1.1.1 Vollholz

Mit einer Querdruckspannung im Querschnitt = $1,25 \text{ N/mm}^2$ und einem E-Modul = 370 N/mm^2 ergibt sich mit Hilfe des Hook'schen Gesetzes und der Querschnittshöhe von 30 cm eine Setzung durch mechanische Beanspruchung von ca. 1 mm.

Bei einer angenommenen Ausgangsfeuchte von 15 %, einer Ausgleichfeuchte im Gebrauchszustand von 10 % und einem differentiellen Schwindmaß von 0,24 % ergibt sich eine Setzung durch Schwindverformungen von ca. 3,6 mm.

Zusammen ergibt sich ein Schwindmaß von ca. 4,6 mm.

9.2.1.1.2 Furnierschichtholz

Mit einer Querdruckspannung im Querschnitt = $1,25 \text{ N/mm}^2$ und einem E-Modul = 2500 N/mm^2 ergibt sich mit Hilfe des Hook'schen Gesetzes und der Querschnittshöhe von 30 cm eine Setzung durch mechanische Beanspruchung von ca. 0,15 mm.

Bei einer angenommenen Ausgangsfeuchte von 8 %, einer Ausgleichfeuchte im Gebrauchszustand von 10 % und einem differentiellen Quell- und Schwindmaß von 0,03 % ergeben sich rechnerisch Quellverformungen von ca. 0,18 mm.

Diese heben sich somit rein rechnerisch nahezu auf.

9.2.2 Ausblick auf technisch mögliche Holzwerkstoffe

In Nord- und Mitteleuropa sowie in den nordamerikanischen Regionen sind Bauhölzer und Holzwerkstoffe vorrangig aus Nadelhölzern hergestellt. Das Potenzial der Laubhölzer wird noch nicht ansatzweise ausgenutzt. Brettschichtholz aus Laubhölzern wie Buche oder Eiche ist in der Regel problematisch bei klimatischer Beanspruchung. Durch die hohe Rohdichte und Steifigkeit führen Quell- und Schwindverformungen zu enormen Spannungen in den Klebefugen, so dass das Problem der Delaminierung bei großen Feuchteschwankungen auftritt. Das Problem wird jedoch umso geringer, je dünner die zu verklebenden Schichten sind, so dass Furnierschichtholz und Furniersperrholz aus Laubhölzern wie Buche, Eiche und eventuell auch Robinie interessante und vielversprechende Möglichkeiten bieten können.

Während die charakteristische Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser bei Nadelhölzern mit $f_{c,90,k} = 2,0 \text{ N/mm}^2$ bis $3,2 \text{ N/mm}^2$ angegeben wird, beträgt diese bei Laubhölzern $f_{c,90,k} = 8,0 \text{ N/mm}^2$ bis $13,5 \text{ N/mm}^2$. Der entsprechende E-Modul E_{90} beträgt bei Nadelhölzern der mittleren Festigkeitsklasse C24 370 N/mm^2 . Selbst bei Laubhölzern der unteren Festigkeitsklasse D30 ist der E-Modul E_{90} mit 640 N/mm^2 etwa 1,7-fach höher als der von üblichen Nadelhölzern.

9.3 Weitere Möglichkeiten

Neben den Möglichkeiten zur Reduzierung der Setzungen durch die Auswahl von Materialien mit höherer Steifigkeit quer zur Faser (Holzwerkstoffe – siehe 9.2) besteht eine weitere Möglichkeit in der konsequenten Vermeidung von Querdruckspannungen $\sigma_{c,90}$. Neben der klassischen Pfosten-Riegel-Bauweise haben sich weitere ingenieurmäßige Konstruktionen mit Stahlverbindern bewährt (siehe auch Abbildung 70 bis Abbildung 72).



Abbildung 70: Fotorealistische Darstellung eines Knotens aus Stahl zur konsequenten Vermeidung von Querdruckspannungen $\sigma_{c,90}$; Quelle: induo

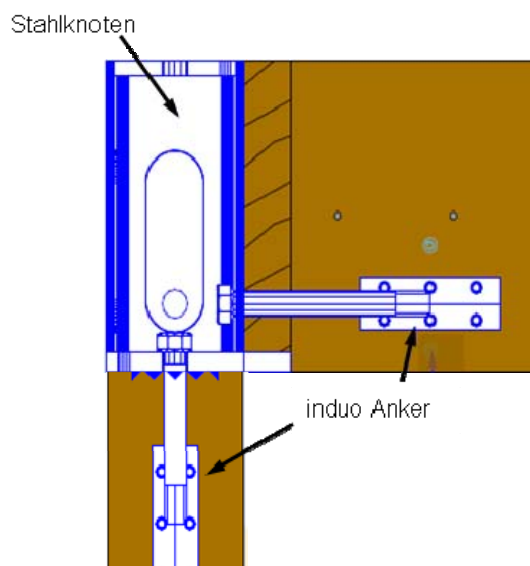


Abbildung 71: zeichnerische Darstellung des Knotens aus Abbildung 70; Quelle: induo



Abbildung 72: Foto der Detailausführung eines Geschossstoßes; Quelle: induo

10 Zusammenfassung

Im Rahmen des bearbeiteten Projektes konnten erhebliche Optimierungspotentiale für K60 Kapselkonstruktionen aktiviert werden. Zusammenfassend können die wesentlichen Ergebnisse folgendermaßen dargestellt werden.

Zunächst wird es zukünftig möglich sein, die Beurteilung der zulässigen Verkohlung im Bereich stiftförmiger metallischer Verbindungsmittel objektiver vorzunehmen. Bislang galt die Maßgabe, dass nach einem Brandversuch keinerlei Verkohlungen oder Verfärbungen auf der Indikatorplatte festgestellt werden dürfen. Im Rahmen der Untersuchungen konnte erstmalig der Nachweis geführt werden, dass eine begrenzte Verkohlung oder Verfärbung unkritisch ist. Dies wird der Gipsindustrie neue Möglichkeiten eröffnen, entsprechend optimierte Konstruktionen zu prüfen und zuzulassen.

Weiterhin wurden konstruktive Möglichkeiten untersucht, mittels derer optimierte K60 Bekleidungen möglich sind. Hierzu wurden grundlegende Untersuchungen zum Verhalten des gebundenen Kristallwassers der verschiedenen Gipsplatten durchgeführt. Diese Untersuchungen konnten nicht in aller Tiefe durchgeführt werden, so dass hier weiterer Untersuchungsbedarf gegeben ist. Dennoch reichen die Ergebnisse zunächst aus, um einen negativen Einfluss auf Verklebungen zu ermitteln. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass eine Direktverklebung der mineralischen Bekleidung auf dem Holzständer bei Brandbeanspruch frühzeitig versagt und daher nicht zweckmäßig ist. Eine Verklebung der einzelnen Plattenlagen mittels Ansetzgips ist wirtschaftlich interessant und bietet Potenzial für erheblich optimierte Konstruktionen. Zur abschließenden Beurteilung, einschließlich der Auswirkungen temperaturbedingter Zwängungen und des Rissverhaltens, ist jedoch ein Brandversuch im Realmaßstab unverzichtbar. Prinzipiell haben die Versuche aber gezeigt, dass anstelle der bislang notwendigen 2 x 18 mm GF-Platte zur Erzielung einer K₂60 Bekleidung 2 x 15 mm GF-Platte ausreichend sein könnten. Weitere interessante Konstruktionen sind Federschienen bzw. die Verwendung einer dampfbremsenden Schicht zwischen den Gipslagen (z. B. einer Stahlblechtafel). Auch diese Konstruktionen zeigen ein ähnliches Optimierungspotenzial.

Weiterhin wurden für die Praxis wichtige Regelungen für Konsollasten erarbeitet und durch Brandversuche verifiziert. Darüber hinaus wurden Sonderkonstruktionen entwickelt, die einerseits eine Optimierung der Brandschutzbekleidung und andererseits eine sichere Befestigung von Konsollasten erlauben. Die Ergebnisse wurden durch Umfragen bei Planern und den Projektpartner abgestimmt.

11 Danksagung

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert. Somit gilt unser herzlicher Dank dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Darüber hinaus möchten wir uns auch herzlich bei den Mitgliedern des Projektausschuss bedanken, die mit Ihren Erfahrungen sowie finanziellen und sachlichen Mitteln maßgeblich zum Gelingen dieser Forschungsarbeiten beigetragen haben:

Professor Dr. Klausjürgen Becker

Professor Dr. Nikolaus Nebgen

Professor Dr. Ulrich Schwarz

Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.

Bundesverband der Gipsindustrie e.V.

Xella Trockenbau GmbH

Knauf Gips KG

Saint-Gobain Rigips GmbH

Allen Beteiligten sei an dieser Stelle herzlich gedankt für die intensive, teilweise kritische jedoch immer konstruktive Beteiligung. Selbstverständlich gilt der Dank auch allen Mitarbeitern des Institutes für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz und des Fraunhofer WKI, die Arbeiten rund um dieses Vorhaben durchführten und damit einen wichtigen Beitrag für die erfolgreiche Projektbearbeitung geleistet haben.

12 Literatur

- [1] Musterbauordnung – MBO -, Ausgabe November 2002, zuletzt geändert im Oktober 2008
- [2] Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie - M-HFHHolzR); Fassung Juli 2004
- [3] DIN EN 14135: Brandschutzbekleidungen – Bestimmung der Brandschutzwirkung; November 2004
- [4] DIN EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsleitungen; Februar 2010
- [5] ISO 5660-1: Prüfungen zum Brandverhalten von Baustoffen - Wärmefreisetzung, Rauchentwicklung und Masseverlustrate – Teil 1: Wärmefreisetzungsrate (Cone-Kalorimeter-Verfahren); Dezember 2002
- [6] Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe; 2. Auflage, Springer Verlag, 1982
- [7] Institut für Industriebau und konstruktives Entwerfen: Fertighaus City 5+, Abschlussbericht zum BBR-Verbundforschungsvorhaben Z 6 – 10.08.18.7-06.32; IRB Verlag
- [8] DIN 4102-8: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 8: Kleinprüfstand, Mai 1986
- [9] DIN EN 1382:1999: Holzbauwerke - Prüfverfahren - Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmitteln
- [10] Buchholzer, P.: Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen bei Feuchte- und Temperaturänderungen zwischen zementgebundenen Spanplatten und Fichtenholz. Fraunhofer WKI; Braunschweig 2000
- [11] Glos, P.; Henrici, D.; Schelmer, B.: Festigkeit geleimter / genagelter Wandtafeln und geleimter Zugscherverbindungen unter Klimabeanspruchung; Forschungsbericht 83507/II am Institut für Holzforschung der Universität München, 1985
- [12] Rüter, N.: Dauerstandsverhalten von tragenden Klebeverbindungen zwischen mineralisch gebundenen Plattenwerkstoffen und Vollholz. AiF-Forschungsvorhaben 14286 N. Fraunhofer WKI 2007