

# Diplomarbeit

Brandschutz im mehrgeschossigen Holzbau

Fachbereich Bauingenieurwesen  
Studiengang Holzingenieurwesen  
der  
Fachhochschule  
Hildesheim / Holzminden / Göttingen

von  
Andreas Hartmann  
Mart.Nr.: 280231

Erstprüfer: Prof. Dr. Ing.- Hans-Peter Leimer  
Zweitprüfer: Dipl. Ing. Peter Nause

Hildesheim, Wintersemester 2002/03

## Kurzfassung

Die hier vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema Brandschutz im mehrgeschossigen Holzbau.

Mit der zur Zeit stattfindenden Erneuerung des deutschen Bauordnungsrechtes, ergeben sich für den mehrgeschossigen Holzbau neue Einsatzfelder. Zukünftig wird es auch in Deutschland möglich sein Holzbauten mit bis zu 5 Vollgeschossen zu errichten. Durch das schutzzielorientierte Brandschutzkonzept der neuen Musterbauordnung werden Baustoffanforderungen und die Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen getrennt. Dies wirkt sich positiv auf den Einsatz des Baustoffes Holz aus. Es ergeben sich neue Anforderungen an Baustoffe und Bauteile. Diese werden im ersten Teil dieser Arbeit anhand der Neuerungen der Musterbauordnung und der Anforderungen der Muster - Holzbaurichtlinie dargestellt.

Um das deutsche System mit anderen Ländern vergleichen zu können, wird im zweiten Teil der internationale Brandschutz in einem Vergleich gezeigt. In einem Überblick wird der Stand schutzzielorientierter Brandschutzkonzepte dargestellt. Es zeigt sich, daß viele Brandschutzphilosophien in die gleiche Richtung gehen. Mit einem detaillierten Vergleich der nationalen Brandschutzanforderungen von Finnland und der Schweiz, sollen die Möglichkeiten des mehrgeschossigen Holzbaus in anderen Ländern erörtert werden. Mit einem Bericht über internationale Brandversuche, werden anhand der Ergebnisse, brandschutztechnische Erkenntnisse und daraus resultierende Anforderungen im mehrgeschossigen Holzbau dargestellt.

In einer Risikobetrachtung werden spezifische Risikofaktoren zusammengefaßt und auf ihr Gefährdungspotential für den mehrgeschossigen Holzbau geprüft.

Mit der Darstellung eines Brandschutzkonzeptes für ein fünfgeschossiges Wohnhaus in Holztafelbauweise, werden die Anforderungen der Muster – Holzbaurichtlinie und der neuen Musterbauordnung in praktischer Weise umgesetzt. Dabei wird besonders auf die Minimierung der festgestellten Gefährdungspotentiale geachtet. Die Umsetzung des Brandschutzkonzeptes soll die Machbarkeit im Rahmen der bauordnungsrechtlichen Möglichkeiten zeigen. In einem Ausblick wird untersucht, ob der mehrgeschossige Holzbau auch in anderen Gebäudeklassen Anwendung finden kann.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Die neue Musterbauordnung als Grundlage .....</b>	<b>10</b>
2.1 Neuerungen anhand MBO Entwurf 10.11.2000 .....	10
2.2 Die Grundelemente des Brandschutzkonzeptes der neuen MBO und die Auswirkungen auf den mehrgeschossigen Holzbau .....	16
<b>3 Die Muster – Holzbaurichtlinie.....</b>	<b>18</b>
3.1 Anforderungen an Baustoffe .....	19
3.1.1 Holz.....	19
3.1.2 Dämmstoffe.....	19
3.1.3 Folien .....	19
3.1.4 Brandschutzbekleidung.....	19
3.2 Anforderungen an Bauteile .....	20
3.2.1 Allgemeines .....	20
3.2.2 Wände und Wandscheiben.....	21
3.2.3 Decken.....	21
3.2.4 Stützen und Träger .....	21
3.3 Anforderungen an Anschlüsse von Stützen, Trägern, Wand- und Deckenscheiben .....	21
3.3.1 Allgemeines .....	21
3.3.2 Anschlüsse Wand an Wand.....	22
3.3.3 Anschlüsse Wand und Stütze an Decke.....	22
3.4 Öffnungen für Türen, Fenster und sonstige Einbauten.....	22
3.5 Installationsführungen.....	23
3.5.1 Allgemeines .....	23
3.5.2 Elektrische Leitungen.....	23
3.6 Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweis für Bauteile.....	23
3.6.1 Verwendbarkeitsnachweis .....	23
3.6.2 Übereinstimmungsnachweis .....	24
3.7 Bauausführung.....	24
<b>4. Brandschutz im internationalen Vergleich .....</b>	<b>25</b>
4.1 Allgemeiner Überblick.....	25
4.2 Internationale Trends der Ingeniermethoden.....	28
4.2.1 Zonenmodell .....	29
4.2.2 Feldmodelle .....	32

4.3	Schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte .....	34
4.3.1	Zum Stand schutzzielorientierter internationaler Richtlinien .....	35
4.4	Drei nationale Wege im Brandschutz.....	38
4.4.1	Brandschutzvorschriften in Finnland.....	38
4.4.2	Auswirkungen auf den mehrgeschossigen Holzbau in Finnland .....	67
4.4.3	Gesetzliche Regelungen in Österreich .....	71
4.4.4	Mehrgeschossiger Holzbau in der Schweiz .....	73
4.5	Internationale Brandversuche .....	78
4.5.1	Japanische Brandversuche in mehrgeschossigen Holzgebäuden .....	78
4.5.2	Norwegische Normbrandversuche an Holzbalkendecken .....	83
4.5.3	Kanadische Normbrandversuche an Holzständerwänden .....	86
4.5.4	Allgemeine Schlußfolgerung zu Brandversuchen.....	90
<b>5</b>	<b>Risikobetrachtung im mehrgeschossigen Holzbau .....</b>	<b>91</b>
5.1	Allgemeine Grundlagen einer Risikountersuchung .....	91
5.1.1	Prinzipielle Risikobewertung anhand eines Beispiels .....	92
5.1.2	Risikobewertung in der Schweiz .....	93
5.2	Statistik .....	93
5.3	Risikofaktoren im mehrgeschossigen Holzbau .....	97
5.3.1	Allgemeine Risikofaktoren .....	97
5.3.2	Bauteilspezifische Risikofaktoren der BA - Bauweise.....	97
5.3.3	Gebäudespezifische Risikofaktoren.....	102
5.4	Kompensation der Risikofaktoren .....	104
5.5	Risikovergleich Holzbau – Stahlbau .....	106
<b>6.</b>	<b>Simulation einer Normbrandbelastung.....</b>	<b>107</b>
6.1	Eingangsdaten und Simulationsablauf.....	107
6.1.1	Eingangsdaten .....	107
6.1.2	Simulationsablauf.....	108
6.2	Ergebnisse .....	108
<b>7</b>	<b>Machbarkeitsstudie anhand eines fünfgeschossigen Holztafelbaus .....</b>	<b>110</b>
7.1	Aufbau und Gliederung des Brandschutzkonzeptes.....	110
7.2	Vorbeugende Brandschutzmaßnahmen .....	112
7.2.1	Bauliche Maßnahmen .....	112
7.2.2	Anlagentechnische Maßnahmen .....	123
7.2.3	Organisatorische Maßnahmen.....	123
7.3	Abwehrender Brandschutz.....	124
7.4	Bewertung.....	124
7.5	Ausblick auf anderen Gebäudeklassen .....	124
7.5.1	Ermessensspielräume .....	124
7.5.2	Beispiel eines öffentlichen Schulgebäudes.....	125

<b>8</b>	<b>Schlußbetrachtung .....</b>	<b>127</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>129</b>
<b>10</b>	<b>Erklärung .....</b>	<b>132</b>
	<b>Anhänge.....</b>	<b>133</b>

## 1. Einleitung

In den vergangenen Jahrhunderten waren Holzkonstruktionen eine weit verbreitete und oftmals die einzige Möglichkeit Gebäude zu errichten. Lösungen mit Ziegel- und Betonkonstruktionen sind im Vergleich zur langen Holztradition erst seit kurzem in Gebrauch. Weltweit gesehen, ist der Holzbau die meist verbreitetste Bauweise. So weisen beispielsweise in den USA 90 Prozent aller Häuser eine tragende Konstruktion aus Holz auf.

Zur Zeit jedoch erlebt der Baustoff Holz eine gewisse Renaissance. Holz hält gegenüber jedem Baumaterial ohne weiteres stand, wenn die Eigenschaften, die zukünftig für den praktischen Einsatz von Baustoffen bedeutsam sind, gesamtheitlich verglichen werden: Festigkeiten, Tragverhalten, Schall- und Wärmeschutz, Behaglichkeit, Einfluß auf das Raumklima, Lebensdauer, Energieverbrauch und Umweltbelastung bei Herstellung und Transport/Montage, Recycling, Verfügbarkeit des Rohstoffes, Brandverhalten, Bearbeitbarkeit, Rückführung in Ökosysteme. Diese Vorteile werden mit der Zeit allgemein anerkannt, man bestrebt Holz vermehrt im Hochbau anzuwenden. Holz nur aufgrund seiner Brennbarkeit als Baustoff zu beurteilen, ist nicht gerechtfertigt, denn

- kein Holz beginnt von alleine zu brennen,
- die Brandursache ist nicht das Holzgebäude selbst, sondern eine äußere Einwirkung,
- große Brandschäden (Personen-, Sach- und Umweltschäden) entstehen auch in und an Gebäuden aus nichtbrennbaren Baustoffen.

Obwohl Holz brennbar ist, weist es für den baupraktischen Einsatz, bei entsprechender richtiger Anwendung, ein äußerst günstiges Brandverhalten auf. Mehrgeschossige und großvolumige Bauten lassen sich in Holzbauweise mit einer genügenden Brandsicherheit realisieren. Wenn die allgemeinen Vorurteile abgebaut werden und die Bauordnungen den Baustoff Holz nicht per Definitionen ausschließt, läßt sich das Einsatzgebiet im Hochbau erweitern. Die Wirtschaftlichkeit der Errichtung von Bauwerken spielt dabei eine große Rolle.

Die Anwendung und Einführung schutzzielorientierter Bauvorschriften, unterstützt dabei diese neuen Entwicklungen.

Die Einsatzmöglichkeiten brennbarer Materialien erweitern sich. Dies heißt für den Baustoff Holz, daß nun der Einsatz für die konstruktiven Lösungen möglich wird, für die zuvor durch vorschreibende Bauordnungen der Einsatz von Holz nicht erlaubt war. Damit die Entscheidungsfällung bei der Wahl des Baumaterials zu Gunsten des Holzes ausfällt, ist eine Dokumentation erforderlich, die das Brandverhalten von Holz zeigt. Viele Nutzer sehen nach wie vor nur die brennende Eigenschaft.

## 1.1 Brandverhalten von Holz

Holz und Holzwerkstoffe sind wie jeder andere organische Stoff brennbar. Wenn man sich das Verhalten von Holz im Brandfall betrachtet, sind mehrere Faktoren zu bewerten. Die alleinige Feststellung das Holz brennbar ist, reicht bei der Betrachtung nicht aus. So sind alle Faktoren die am Verbrennungsprozess mitwirken ebenfalls zu beachten.

Der Ablauf des Brandszenarios nach einem bekannten Temperatur - Zeit Verhältnis, kann dabei Aufschluß über die Temperaturbelastung geben, die das Holz während der Brandbelastung erfahren hat. Man analysiert den Brandverlauf und kann die entsprechende Brandstufe feststellen. Die folgende Kurve zeigt ein Brandmodell mit den Brandphasen.

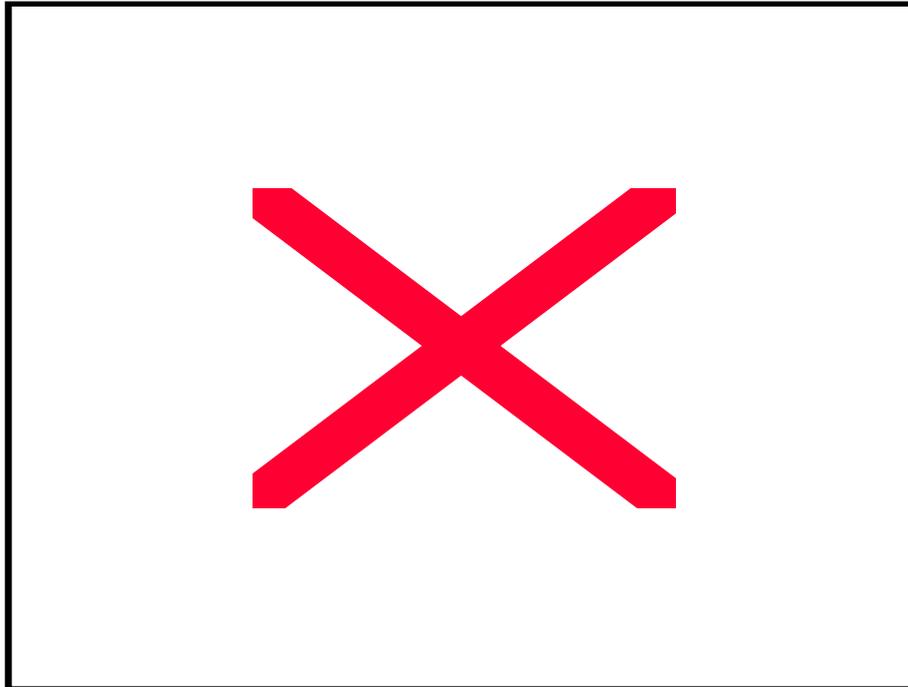


Bild 1.1-1: Brandphasen

Bei Bränden wird das Holz in der Brandentstehungsphase vorerst vorgewärmt und getrocknet, wodurch im Holz Risse entstehen. Die dem Feuer direkt zugängliche Flächen vergrößert sich. Ein hoher Feuchtegehalt kann die Entflammbarkeit von Holz fühlbar herabsetzen; dies geht jedoch mit dem Austrocknen verloren. Durch die Abnahme des Feuchtegehalts des Holzes, erhöhen sich in dieser Brandphase die Festigkeitseigenschaften des Holzquerschnittes. Mit der weiteren Zunahme der Temperatur beginnt der organische Zerfall des Holzes, die Zellen und Bestandteile werden abgebaut. Zellulose, Hemizellulose und Lignin als organische Bestandteile, werden unter

Bildung von Holzkohle und brennbaren Gasen chemisch zersetzt. Dieser Vorgang wird Pyrolyse genannt.

In einem Temperaturbereich von 270 – 350 °C entzünden sich die Pyrolyseprodukte. Dabei unterscheiden sich die Holzbestandteile in ihrer Temperaturstabilität.

Hemizellulose	200-260°C
Cellulose	240-350°C
Lignin	280-300°C

Die Entzündung ist aber auch schon bei niedrigeren Temperaturen möglich. Bei langer und konstanter Erwärmung können Holzkonstruktionen bereits bei Temperaturen von 100 bis 130°C entflammen.

Das Vordringen des Brandes ins Innere des Holzes wird auch als Abbrandgeschwindigkeit bezeichnet. Die Entwicklung verläuft unter Normbedingungen linear und beträgt beim Nadelholz 0,6 bis 1,1 mm/min. (siehe Bild Abbrandtiefen) Für Laubholz mit einer Rohdichte von mehr als 600 kg/m<sup>3</sup> ist die Abbrandgeschwindigkeit geringer.

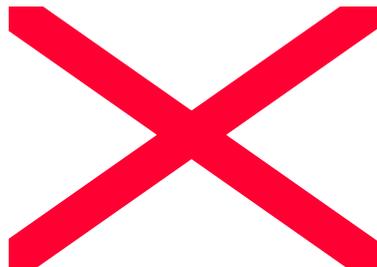


Bild 1.1-2: Mittlere Abbrandtiefen an Holzbalken mit Rechteckquerschnitt aus Nadelholz in Abhängigkeit der Branddauer nach DIN 4102

Die sich beim Abbrand bildende Holzkohleschicht, die fortlaufende Verdampfung des im Holz vorhandenen Wassers und die geringe Wärmeleitfähigkeit des Holzes ( $\lambda=0,14$  W/mK) verhindern, daß die Temperatur im Inneren großer Holzquerschnitte ansteigt.



Bild 1.1-3: Temperaturverlauf, Zersetzungs- und Abbrandzone sowie Abbrandgeschwindigkeit bei Nadelholz

Die Abnahme der mechanischen Festigkeit unter Temperatureinwirkung ist bei größeren Querschnitten von untergeordneter Bedeutung. Für die statische Bemessung von Bauteilen im Brandfall hat die Verminderung des Querschnittes infolge des kontinuierlichen Abbrandes den weit größeren Einfluß.

Holz verliert, im Gegensatz zu Stahl oder Stahlbeton, seine Festigkeit bei hohen Temperaturen nicht. Es ist also nicht ganz gerechtfertigt, die Brandgefahr bei reinen Holzbauten von der gesamten Brandlast abzuleiten. Hohe Brandlasten verursachen im Brandfall hohe Temperaturen und verlangen einen höheren Feuerwiderstand des Tragwerkes. Im Holzbau wird dieser erhöhte Feuerwiderstand durch Überdimensionierung der Holzquerschnitte erreicht. Durch diese Überdimensionierung erhalten diese größeren Holzquerschnitte zusätzliche Brandlasten. Im Holzbau sollten darum die mobile und nur der Anteil der immobielen Brandlast, der während der geforderten Feuerwiderstandsdauer verbrennt, berücksichtigt werden.

Bei entsprechender Dimensionierung, sind bei Holzbauteilen Feuerwiderstandszeiten von bis zu 120 Minuten möglich.

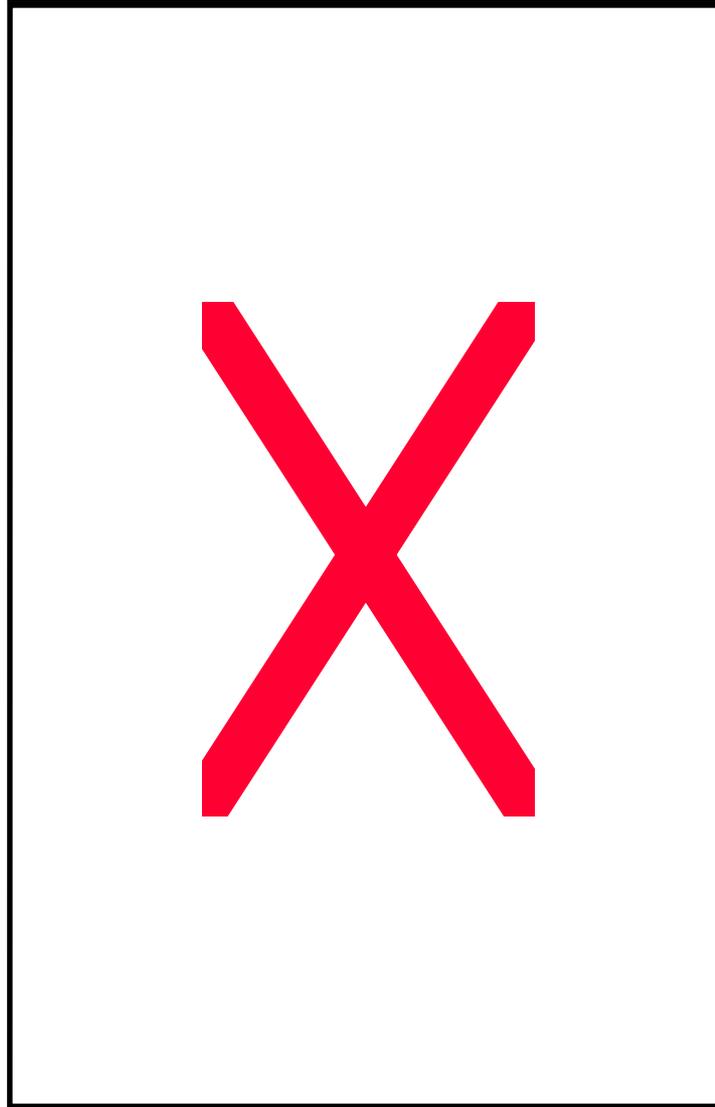


Bild 1.1-4:

Feuerwiderstandsdauer brett-schicht-holz-verleimter Holzbalken aus Nadelholz bei dreiseitiger Beanspruchung von der Balkenbreite  $b$ , dem Seitenverhältnis  $h/b$  und der Biegespannung

## **2 Die neue Musterbauordnung als Grundlage**

### **2.1 Neuerungen anhand MBO Entwurf 10.11.2000**

Die Musterbauordnung stellt die Grundlage des Bauordnungsrechtes in Deutschland dar. Sie ist Orientierungsregel für die 16 Landesbauordnungen, die sich möglichst nah an die MBO anlehnen sollen. Die derzeitige Situation zeigt jedoch, daß das Verfahrensrecht, welches in den Landesbauordnungen entwickelt wurde, teilweise sehr unterschiedliche Regelungen aufweist. Mit einer Überarbeitung der MBO soll den Ländern die Möglichkeit gegeben werden, standardisierte Wahlmöglichkeiten zu nutzen, die das Verfahrensrecht auf eine begrenzte Zahl von Grundtypen begrenzen. Durch die Bauministerkonferenz (ARGEBAU) wurde der Ausschuß für Bauwesen und Städtebau (ABS) damit beauftragt, einen Neuentwurf der Musterbauordnung zu verfassen. Fachkommissionen der ARGEBAU haben sich in verschiedenen Arbeitskreisen mit der Umsetzung beschäftigt. Der Arbeitskreis Brandschutz hat nach intensiven Vorarbeiten und unter Einbeziehung früherer, jedoch noch nicht in der MBO umgesetzter Änderungen, einen Entwurf (MBO, Stand 10.11. 2002) beschlossen, der entscheidende Neuerungen im Brandschutzbereich enthält. Diese werden sich auf den mehrgeschossigen Holzbau auswirken.

Nachfolgend soll in wichtigen Punkten auf das neue Brandschutzkonzept eingegangen werden. (alle Textauszüge der neun MBO entstammen [27] und sind kursiv geschrieben)

**Gebäudeklassen statt Gebäudekategorien, §2 (4) MBO (neu)**

Die Feuerwiderstandsdauer und Beschaffenheit tragender Bauteile war nach dem bisherigem Brandschutzkonzept grundsätzlich nur von der Gebäudehöhe ( Höhe soll das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem Aufenthaltsraum möglich ist, über der festgelegten Geländeoberfläche im Mittel sein) und indirekt auch vom Rettungsgerät der Feuerwehr abhängig. In der neuen MBO soll die Feuerwiderstandsdauer nun nicht mehr nur vom Kriterium der Gebäudehöhe abhängig sein, sondern auch vom Kriterium der Nutzung und der Fläche der Nutzungseinheiten. Diese Regelung führt zur Bildung von *Gebäudeklassen* mit unterschiedlichen Brandschutzanforderungen. Eine Voraussetzung für Erleichterungen der Anforderungen bei Zellenbauweise und inneren Abschottung. Die Flächen werden auf 400 m<sup>2</sup> begrenzt.

Gebäudeklasse	Gebäudeart	Nutzungseinheit	
		Anzahl	Größe m <sup>2</sup>
<b>1</b>	Freistehende Gebäude geringer Höhe	nicht mehr als 2	nicht mehr als 400
<b>2</b>	Gebäude geringer Höhe	nicht mehr als 2	nicht mehr als 400
<b>3</b>	sonstige Gebäude geringer Höhe		
<b>4</b>	Gebäude mittlerer Höhe mit einer Höhe nach Abs.3 Satz 2 bis zu 13 m		nicht mehr als 400 je Geschoß
<b>5</b>	sonstige Gebäude		

Tabelle 2.1-1: Gebäudeklassen der Musterbauordnung

### **Brandschutzanforderungen an Bauteile, §17 (2) MBO (neu)**

Eine weitere Neuerung des Brandschutzkonzeptes ist die Trennung der Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile von den Baustoffanforderungen. Dies entspricht auch einer zukünftigen europäischen Normung.

Die Begriffe für die Anforderungen *feuerhemmend* (F30) und *feuerbeständig* (F90) werden beibehalten. Die wesentliche Neuerung ist aber die Einführung einer Zwischenstufe, die in Zukunft *hochfeuerhemmende* (F60) Bauteile ermöglicht, die Feuerwiderstandsklasse F30 (feuerhemmend) kann so durch die Feuerwiderstandsklasse F 60 (hochfeuerhemmend) ergänzt werden.

Die Feuerwiderstandsfähigkeit bezieht sich bei tragenden Bauteilen auf deren Standsicherheit im Brandfall, bei trennenden Bauteilen auf deren Widerstand gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch.(§17(2))

Die bisherige Verknüpfung von Feuerwiderstandsanforderungen und Baustoffanforderungen ist ebenfalls neu geregelt. So wurde die Unterscheidung zwischen A, B, AB – Baustoffen/Bauteilen aufgehoben und durch die Bezeichnungen N und G ersetzt. Der Buchstabe N fordert ein Bauteil aus nichtbrennbaren Baustoffen, wobei die Bezeichnung G (gemischt) dies ebenfalls fordert, in diesem Fall jedoch nur für die Teile, die für den Brandschutz des Bauteils eine wesentliche Rolle spielen. Für den Brandschutz wesentliche Teile können das Tragwerk und aussteifende Teile sein, aber auch brandschutztechnisch wirksame Bekleidungen. Tragwerk und Bekleidung müssen in jedem Fall nichtbrennbar sein. Nach der momentan gültigen Fassung der MBO (Juli 1996) wäre dieses Bauteil mit dem Zusatz BA bezeichnet.

N: Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen

G: Bauteile, deren für den Brandschutz wesentliche Teile aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

Die neue MBO unterscheidet zwei Fälle der G - Klassifizierung:

a) Bauteile, deren tragende und aussteifende Teile aus *nichtbrennbaren Baustoffen* bestehen und die bei raumabschließenden Bauteilen zusätzlich eine in Bauteilebene durchgehende Schicht aus nichtbrennbaren Baustoffen haben

b) Bauteile, deren tragende und aussteifende Teile aus *brennbaren Baustoffen* bestehen und die allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung) und Dämmstoffen aus nichtbrennbaren Baustoffen haben. (MBO § 17 (2), Stand 10.11.2000)

Zwischen N und G kann in bestimmten Fällen gewählt werden. Ein Bauteil mit der früheren Benennung F90-AB (wesentliche Teile nichtbrennbar, Feuerwiderstand 90 min), kann neben der Feuerwiderstandsanforderung die Anforderung –N- (nichtbrennbar), oder –G- (gemischt) als Anforderung haben.

In Absatz 3 des § 17 ist die Verwendung brennbarer Baustoffe geregelt. So ist die Verwendung brennbarer Baustoffe zulässig, solange dies nicht durch andere Vorgaben unterbunden wird. Leichtentflammbare Baustoffe dürfen nicht verwendet werden. Wenn sie jedoch durch andere Baustoffe nicht leichtentflammbar sind, ist eine Verwendung zulässig. Für Bauteile die feuerbeständig sein sollen und zur G Klassifizierung gehören, gelten die Anforderungen unter Buchstabe a). Bauteile aus nicht-brennbaren Baustoffen (N), genügen auch den Anforderungen der gemischten G – Bauweise.

### **Rettungswege, § 17 (4) MBO (neu)**

Im Entwurf der Musterbauordnung wurde §17(4) dahingehend präzisiert, daß wenn die zwei erforderlichen Rettungswege pro Nutzungseinheit in baulicher Form über zwei Treppenhäuser führen, daß Erreichen dieser Treppen innerhalb eines Geschosses über einen gemeinsamen notwendigen Flur zulässig ist. Außentreppen gelten zukünftig als zweiter Rettungsweg, wenn die tragenden Teile nach § 31(4) aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen.

### **Tragende Wände, Pfeiler und Stützen § 25 (1), (2) MBO (neu)**

*(1) <sup>1</sup> Tragende und aussteifende Wände und Stützen müssen im Brandfall ausreichend lang standsicher sein.*

*<sup>2</sup> Sie müssen*

- 1. in der Gebäudeklasse 5 feuerbeständig mit der Anforderung G*
- 2. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmend mit der Anforderung G*
- 3. in den Gebäudeklassen 2 und 3 feuerhemmend sein.*

*(2) Im Kellergeschoß müssen tragende und aussteifende Wände und Stützen*

- 1. in den Gebäudeklassen 4 und 5 feuerbeständig mit der Anforderung G,*
- 2. in den Gebäudeklassen 1 bis 3 feuerhemmend sein*

An diesem Beispiel ist die neue Schutzzielformulierung der MBO zu erkennen. Wo in der MBO Stand 1996, noch zwingend feuerbeständige Bauteile für tragende Wände, Pfeiler und Stützen gefordert hat, steht nun die eigentliche Aufgabe des Bauteils im Vordergrund. Wände, Pfeiler und Stützen sollen im Brandfall ausreichend lange tragen und aussteifen. Dies ist das Schutzziel, das in erster Linie gesehen wird. Die Brennbarkeit der verarbeiteten Baustoffe ist dabei nicht entscheidend.

Gleiche Neuerungen sind auch bei den folgenden Bauteilen vollzogen.

### **Außenwände § 26 (1) MBO (neu)**

*(1) Außenwände und Außenwandteile sind so auszubilden, daß Brandentstehung bei einer Brandbeanspruchung von außen und Brandausbreitung ausreichend lang begrenzt sind.*

### **Trennwände § 27 (1), (2) MBO (neu)**

*(1) <sup>1</sup>Zwischen Nutzungseinheiten und zwischen Nutzungseinheiten und anders genutzten Räumen sind Trennwände erforderlich, die ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch sind.*

Das Schutzziel der Trennwände ist hier durch eine ausreichend lange Widerstandsfähigkeit gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch definiert. Wie dies erreicht werden kann zeigt Absatz 2.

*(2) <sup>1</sup>Trennwände sind*

- 1. in der Gebäudeklasse 5 feuerbeständig mit der Anforderung G,*
- 2. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmend mit der Anforderung G*
- 3. in den Gebäudeklassen 2 und 3 und in den obersten Geschossen von Dachräumen feuerhemmend herzustellen.*

### **Brandwände §28 (1) MBO (neu)**

Die grundlegenden Schutzziele von Brandwänden bestehen weiterhin:

Brandwände sind erforderlich,

1. zum Abschluß von Gebäuden als Gebäudeabschlußwand, wenn bestimmte Abstände des Gebäudes zur Grundstücksgrenze dies fordern,
2. Als innere Brandwand zur Unterteilung ausgedehnter Gebäude in Abstände nicht länger als 40 m
3. als Gebäudeabschlußwand zwischen aneinanderstehenden Wohngebäuden ...

Brandwände sollen dabei die Ausbreitung von Feuer und Rauch auf andere Gebäude oder Gebäudeabschnitte ausreichend lang verhindern.

Absatz 2 enthält jedoch entscheidende Neuerungen, die sich auf den mehrgeschossigen Holzbau positiv auswirken werden.

*(2) <sup>1</sup>Brandwände müssen auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung von außen feuerbeständig mit der Anforderung N sein. <sup>2</sup>Anstelle von Brandwänden nach Satz 1 sind zulässig*

1. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmende Wände mit der Anforderung G, die im übrigen den Anforderungen des Satzes 1 entsprechen,

2. in den Gebäudeklassen 2 und 3 hochfeuerhemmende Wände mit der Anforderung G

3. als Gebäudeabschlußwand bei Gebäuden der Gebäudeklassen 2 bis 4 jeweils Wände mit Brandschutzbekleidung, die von innen nach außen den Feuerwiderstand der tragenden und aussteifenden Teile des Gebäudes und von außen nach innen den Feuerwiderstand feuerbeständiger Bauteile haben.

Als Brandwände gelten nun auch hochfeuerhemmende Wandaufbauten, die im mehrgeschossigen Holzbau in der Gebäudeklasse 4 genutzt werden können. Dabei ist eine gemischte BA - Bauweise möglich, die als Tragwerk Holz zuläßt und für die Bekleidung nichtbrennbare Materialien (Brandschutzbekleidung). Die Anforderungen die an diese Wände gestellt werden, sind dadurch aber nicht minimiert.

Es gelten weiterhin folgende Anforderungen:

- Erhalt der Tragfähigkeit über einen geforderte Zeitraum
- thermische Isolierung gegen den Brandraum
- Rauchausbreitung verhindern

Brandwände müssen ebenfalls einer mechanische Stoßbelastung standhalten, die im Brandfall durch herabfallende Bauteile auf die Wand einwirken können. Die hochfeuerhemmenden Brandwände in BA-Bauweise müssen auch diesen Belastungen standhalten, um als Brandwand genutzt zu werden.

### **Decken § 29 (1) MBO (neu)**

Die neue Schutzzieleformulierung für Decken heißt:

*(1) <sup>1</sup>Decken müssen im Brandfall ausreichend lang standsicher und widerstandsfähig gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch sein.*

*<sup>2</sup>Sie müssen*

- 1. in der Gebäudeklasse 5 feuerbeständig mit der Anforderung G,*
- 2. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmend mit der Anforderung G,*
- 3. in den Gebäudeklassen 2 und 3 feuerhemmend sein.*

Die Forderung der MBO 1996, feuerbeständige Decken für Gebäude mittlerer Höhe, entfällt. Die technische und bauliche Umsetzung ist in der Muster-Holzbaurichtlinie aufgeführt.

## **2.2 Die Grundelemente des Brandschutzkonzeptes der neuen MBO und die Auswirkungen auf den mehrgeschossigen Holzbau**

### **1. Es werden Gebäudeklassen gebildet**

Die Gebäudehöhe wird mit der Größe von brandschutzrelevanten Nutzungseinheiten kombiniert, dies führt zur Bildung von fünf Gebäudeklassen.

### **2. Die Feuerwiderstandsfähigkeit „hochfeuerhemmend“ wird eingeführt**

Dieser Feuerwiderstandsfähigkeit wird eine Widerstandsdauer von 60 Minuten zugeordnet. Sie wird bei Gebäuden der Klasse 4 eingesetzt und ermöglicht eine BA-Bauweise für tragende und aussteifende Bauteile. Holz kann als Tragwerk eingesetzt werden.

### **3. Feuerwiderstandsfähigkeit und Baustoffanforderungen werden getrennt**

Bezeichnungen der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen werden von den Baustoffanforderungen getrennt. Sind an die Baustoffe von Bauteilen Anforderungen gestellt, so werden diese in Einzelschriften genannt.

### **4. Die Baustoffanforderungen berücksichtigen Konstruktionssysteme, die aus brennbaren und nichtbrennbaren Teilen bestehen**

Neben der Anforderung „nichtbrennbar“ (Kurzbezeichnung N) wird eine Baustoffanforderung eingeführt (Kurzbezeichnung G), die verlangt, daß die für den Brandschutz wesentlichen Teile aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten:

- a) tragende und aussteifende Teile nichtbrennbar; bei Raumabschluß sind nichtbrennbare Außenschichten zu verwenden
- b) tragende und aussteifende Teile sind aus brennbaren Materialien, die jedoch allseitig mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen versehen sind; Dämmstoffe sind nicht brennbar

### **5. Die Holzverwendung wird für fünfgeschossige Gebäude möglich**

Bisher ist die Holzverwendung auf Gebäude geringer Höhe beschränkt. Durch die Einführung der Gebäudeklasse 4 und einer neuen Feuerwiderstandsklasse (hochfeuerhemmend), sind zukünftig Mehrgeschosser möglich. Die entsprechenden Bauteile sind dafür mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung (Baustoffanforderung G) auszurüsten.

## **6. Schutzzielformulierungen erleichtern den Umgang mit den Einzelregelungen und die Zuordnung in zukünftige europäische Klassen**

Einzelanforderungen werden mit allgemein gehaltenen Schutzzielbeschreibungen gestellt. Daraus ergeben sich entsprechende Eigenschaften, die das Bauteil im Brandfall haben muß. Die Zuordnung zu europäischen Bauteilklassen wird erleichtert, ebenso die Beurteilung von Abweichungen oder Sonderbau-Brandschutzkonzepten.

### 3 Die Muster – Holzbaurichtlinie

Durch das neue Brandschutzkonzept, welches durch die Fachkommission Bauaufsicht erarbeitet wurde und in der zukünftigen Musterbauordnung integriert ist, ergeben sich neue Möglichkeiten im Holzbau. Eine mehrgeschossige Bauweise wird mit den Neuerungen möglich. Die Einteilung von Gebäuden in bestimmte Klassen und die neu eingeführte Feuerwiderstandsklasse F60 G bilden dabei die wichtigsten Grundlagen.

Es wird eine Klasse „Gebäude mittlerer Höhe“ bis zu einer Fußbodenhöhe des obersten Aufenthaltsraumes von 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> in einem Geschoß geben. In dieser *Gebäudeklasse 4* sollen alle tragenden, raumabschließenden und aussteifenden Bauteile durch die neue Feuerwiderstandsklasse hochfeuerhemmend F60 G (BA-Bauteil), die nötige Widerstandsdauer im Brandfall haben. Dabei besteht das Bauteil entsprechend der BA-Bauweise, aus brennbaren Trag- und Aussteifungskonstruktionen, sowie aus einer nichtbrennbaren, *brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung*. (§§ 2 (4) , 17 (2) MBO ; 10.11.2000)

Die Definition einer *brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung* (Brandschutzbekleidung) ist im neuen Brandschutzkonzept der MBO nicht enthalten. In einem vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) über die Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) geförderten Forschungsvorhaben [18], wurden in entsprechenden Bauteilversuchen mit Normbrandbelastung, die Parameter herausgefunden, die die Bezeichnung *brandschutztechnisch wirksame Bekleidung* zulassen.

Eine der Hauptaufgaben dieser Forschungsarbeit bestand darin, eine Richtlinie über die Anforderungen und Ausführungen mehrgeschossiger Holzbauwerke zu erarbeiten, die die Vorgaben der neuen MBO berücksichtigt. Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse konnte ein Entwurf der Muster - Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise (M-HbauRL) erarbeitet werden. (Entwurfsstand 7. Juni 2002) Die Richtlinie gilt für Holzbauweisen, die einen gewissen Grad der Vorfertigung haben, wie Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerkbauweise; sie gilt nicht für Holz-Massivbauweisen.

Nachfolgend soll gezeigt werden, welche Anforderungen die Muster-Holzbaurichtlinie an

- Baustoffe
  - Brandschutzbekleidung
  - konstruktive Ausbildung der Wand- und Deckenbauteile, Stützen und Träger einschließlich ihrer Anschlüsse
  - die Türen, Fenster und sonstige Einbauten
  - die Installationsführung
- im mehrgeschossigen Holzbau stellt.

## 3.1 Anforderungen an Baustoffe

(Die Abbildungen zu diesem Abschnitt befinden sich im Anhang 1)

### 3.1.1 Holz

*<sup>1</sup>Das verarbeitete Holz muß mindestens den Anforderungen der Sortierklasse nach DIN 4074-1 entsprechen. Die Holzfeuchte muß  $15 \pm 3\%$  betragen. Die Maßhaltigkeit der Querschnitte darf  $\pm 1$  mm bei der Meßbezugsfeuchte von 15% nicht überschreiten.*

### 3.1.2 Dämmstoffe

*Dämmstoffe sollen aus nichtbrennbaren Baustoffen mit einem Schmelzpunkt  $< 1000^{\circ}\text{C}$  gemäß DIN 4102-17 zu verwenden. Fugen von stumpf gestoßenen einlagigen Dämmschichten müssen dicht sein. Sind zweilagige Dämmschichten vorgesehen, so sind die Stöße der Dämmatten zu versetzen.*

### 3.1.3 Folien

*Normalentflammbare Folien (Klasse B2) für die Bauteilabdichtung zur Erzielung einer Wind- bzw. Luftdichtheit sowie Dampfbremsen sind zulässig.*

### 3.1.4 Brandschutzbekleidung

Brandschutzbekleidungen nach § 17 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 Buchst. B MBO sollen bei tragenden, aussteifenden und raumabschließenden Bauteilen bei Holzbauten der Gebäudeklasse 4 gewährleisten, daß die Entzündungstemperatur an der Holzoberfläche während der Brandbelastung nicht erreicht wird. In der M-HbauRL ist diese Vorgabe folgendermaßen formuliert:

*Die Brandschutzbekleidung muß eine Entzündung der tragenden einschließlich der aussteifenden Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen während eines Zeitraumes von mindestens 60 Minuten verhindern und nach DIN EN 13501-2 als K60 klassifiziert sein.*

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

Im Rahmen der Normbrandprüfung nach DIN 4102-2, können diese Anforderungen jedoch nicht geprüft werden. Die Brandschutzbekleidung muß separat geprüft werden. Dies soll durch die neue europäische Norm DIN EN 14135 geschehen. Auf der feuerabgewandten Seite der zu prüfenden Brandschutzbeplankung wird eine Spanplatte

---

Die kursiv geschriebenen Textteile sind direkt der M-HbauRL entnommen

positioniert, die sich über die geforderte Zeitdauer von 60 Minuten an keiner Stelle entzünden und verkohlen darf. Dabei darf zwischen Spanplatte und Brandschutzbekleidung ein bestimmtes Temperaturkriterium nicht überschritten werden. Erfüllt die Bekleidung diese Vorgaben, hat sie die Prüfung bestanden und wird nach DIN EN 13502-2 als K 60 klassifiziert.

## 3.2 Anforderungen an Bauteile

### 3.2.1 Allgemeines

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

*Wände, die anstelle von Brandwänden zulässig sind, und Wände notwendiger Treppenträume sind hochfeuerhemmende Wände mit einer Brandschutzbekleidung, die auf der Grundlage der Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen als Bauteile der Klasse REI-M60 bzw. EI-M60 nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein müssen.*

Als kurze Ergänzung soll die Bedeutung der Bezeichnungen REI und EI gezeigt werden.

Die Schlüsselbuchstaben der neuen europäischen Feuerwiderstandsklassen heißen REI. Hinter diesen Buchstaben verbergen sich folgende französischen Begriffe:

- R = Résistance (Tragfähigkeit)
- E = Etanchéité (Raumabschluß)
- I = Isolation (Wärmedämmung unter Brandeinwirkung)

Für Zusatz-Kennbuchstaben standen englische Begriffe Pate:

- W = Watt (Strahlungsdurchlässigkeit)
- M = Mechanical (Mechanische Einwirkung-Widerstandsfähig gegen Stoß)
- C = Closing (Selbstschließend)
- S = Smoke (Begrenzte Rauchdurchlässigkeit - Leckrate)

Um ein Holzbauteil in der Gebäudeklasse 4 einsetzen zu können sind zwei Brandschutzprüfungen erforderlich. Die Prüfung nach DIN EN 1363-1 (DIN 4102-2) und die Prüfung der Brandschutzbekleidung nach DIN EN 14145. Holzbauteile, die bereits den Nachweis der Klasse REI 60 bzw. EI 60 erbracht haben, können durch eine Brandschutzbekleidung in der Gebäudeklasse 4 eingesetzt werden. Die europäische Bezeichnung dieser Bauteile nach DIN 13501-2 ist REI-K60 bzw. EI-K60 (hochfeuerhemmend)

### **3.2.2 Wände und Wandscheiben**

*Hochfeuerhemmende Wände und Wandscheiben sind mit allseitiger Brandschutzbekleidung ...herzustellen. Sie sind mit umlaufenden Rahmenhölzern und einer formschlüssig verlegten, hohlraumfüllenden Dämmung ...auszuführen.*

Die Anforderungen an Dämmung und Brandschutzbekleidung sind dabei zu beachten.

### **3.2.3 Decken**

*Hochfeuerhemmende Decken sind an ihrer Unterseite mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung ...herzustellen. Decken in Holzrahmen- oder Holztafelbauweise sind umlaufend mit Holzprofilen (Verblockung, s. Bild1) auszuführen, die zwischen die Deckenbalken oder Rippen einzubauen sind*

*Zwischen den Deckenbalken muß ein Dämmstoff nach den geforderten Anforderungen flankenformschlüssig verlegt werden.*

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

### **3.2.4 Stützen und Träger**

*Hochfeuerhemmende Stützen und Träger sind mit allseitiger Brandschutzbekleidung ... herzustellen.*

## **3.3 Anforderungen an Anschlüsse von Stützen, Trägern, Wand- und Deckenscheiben**

### **3.3.1 Allgemeines**

*Im Anschlußbereich sind die Brandschutzbekleidungen der Bauteile mit Fugenversatz, Stufenfalz oder Nut- und Federverbindungen so auszubilden, daß keine durchgängigen Fugen entstehen. (Bild3) Außerdem dürfen die Anschlüsse durch mögliche Verformungen im Brandfall nicht aufreißen. Dazu sind die Bauteile ... im Anschlußbereich in Abständen von 50mm mit Schrauben zu verbinden, die einen Mindestdurchmesser von 12mm haben und eine Einschraubtiefe von mindestens dem 12-fachen Wert ihres*

*Schaftdurchmessers aufweisen müssen. .... Fugen sind mit nichtbrennbaren Materialien zu verspachteln.*

*Die Anschlüsse von Wänden und Decken ohne oder mit einer geringeren Feuerwiderstandsfähigkeit als hochfeuerhemmend an Bauteile müssen so erfolgen, daß die Brandschutzbekleidung dieser Bauteile nicht unterbrochen wird. (Bild 4 und 6)*

### **3.3.2 Anschlüsse Wand an Wand**

*Die Anschlüsse sind so auszubilden, daß die jeweiligen Stiele in den Wänden miteinander verschraubt werden können... . Die Stiele der Wandkonstruktionen sind in Abständen von höchstens 500 mm kraftschlüssig miteinander zu verschrauben (s. Bild5) Alternativ zum Fugenversatz der Brandschutzbekleidung kann in der Fuge ein ca. 20 mm dicker Streifen aus Dämmstoffen komprimiert eingebaut werden. (Bild5)*

### **3.3.3 Anschlüsse Wand und Stütze an Decke**

*Bei Anschlüssen von Wänden an Decken sind die Deckenbalken und die Verblockung mit den umlaufenden Rahmenhölzern der Wände in Abständen von höchstens 500 mm zu verschrauben. ( Bild1) Dieser Abstand gilt auch für den Anschluß von Decken an vertikal durchlaufende Wände. (Bild2) In den vertikalen Fugen zwischen den Wand- und Deckenbauteilen muß ein ca. 20 mm dicker Dämmstoffstreifen komprimiert eingebaut werden.*

## **3.4 Öffnungen für Türen, Fenster und sonstige Einbauten**

*Werden in hochfeuerhemmenden Bauteilen Öffnungen für Einbauten wie Fenster, Türen, Verteiler, Lampenkästen hergestellt, ist die Brandschutzbekleidung in den Öffnungslaibungen mit Fugenversatz, Stufenversatz oder Nut- und Federverbindung auszuführen (Bild7)*

*Werden an den Verschuß der Öffnung brandschutztechnische Anforderungen gestellt, wie an Feuerschutzabschlüsse, Brandschutzverglasungen, Rohr- oder Kabelabschottungen, Brandschutzklappen muß ein entsprechender bauaufsichtlicher Verwendungs- bzw. Anwendungsnachweis vorliegen, der den Einbau dieser Abschlüsse in hochfeuerhemmende Bauteile regelt.*

## **3.5 Installationsführungen**

### **3.5.1 Allgemeines**

*Installationen (Leitungs- und Lüftungsanlagen) dürfen nicht in hochfeuerhemmende Bauteile geführt werden. Sie sind in Schächten und Kanälen, vor Wänden bzw. unterhalb von Decken zu führen. (Bild8)*

### **3.5.2 Elektrische Leitungen**

*Abweichend von der vorher genannten Einschränkung für Leitungsanlagen, dürfen einzelne Leitungen oder einzelne Hüllrohre aus nichtbrennbaren Baustoffen mit bis zu drei Leitungen, die zur Versorgung des angrenzenden Raumes innerhalb derselben Nutzungseinheit dienen innerhalb von Wänden und Decken geführt werden. Bei Durchführungen der Leitungen durch die Brandschutzbekleidung sind verbleibende Hohlräume mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verspachteln.*

*Abweichend von der Einschränkung für Leitungsanlagen dürfen einzelne Hohlwanddosen zum Einbau von Steckdosen, Schaltern und Verteilern eingebaut werden, wenn der Abstand zum nächsten Holzständer bzw. zur nächsten Holzrippe mindestens 150 mm beträgt. (Bild 9) Sie müssen innerhalb des Wandhohlraumes von Dämmstoff umhüllt sein, wobei der hohlraumfüllende Dämmstoff im Bereich der Hohlwanddose auf eine Mindestdicke von 30 mm gestaucht werden darf.*

*In Treppenraumwänden dürfen nur Leitungen nach den vorgenannten Richtlinien verlegt werden, wenn diese ausschließlich der Versorgung des Treppenraumes dienen. Hochfeuerhemmende Stützen, Träger und Wände die anstelle von Brandwänden errichtet wurden dürfen keine Leitungen führen.*

## **3.6 Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweis für Bauteile**

### **3.6.1 Verwendbarkeitsnachweis**

*Für die in der M-HbauRL aufgeführten Bauteile ist als bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis (§ 20 Abs. 3 MBO) ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis erforderlich, das sich auf die Brandschutzbekleidung, die Feuerwiderstandsfähigkeit einschließlich der Elementfugen und auf die brandschutztechnischen Anforderungen dieser Richtlinie bezieht.*

### **3.6.2 Übereinstimmungsnachweis**

*Für die Herstellung der Bauteile einschließlich ggf. erforderlicher Fertigungsprozesse auf der Baustelle ist als Übereinstimmungsnachweis ein Überprüfungszertifikat erforderlich. (§24b MBO)*

### **3.7 Bauausführung**

*Bauarbeiten nach der M-HbauRL dürfen nur durch Unternehmen ausgeführt werden, die ausreichende Erfahrung auf diesem Gebiet haben (§56 Abs.2 MBO). Die Arbeiten sind von einem Fachbauleiter nach § 57 Abs.2 MBO zu überwachen.*

## 4. Brandschutz im internationalen Vergleich

### 4.1 Allgemeiner Überblick

Deutschland

Während in sehr walddreichen Gebieten, wie in Nordamerika und Skandinavien, der Holzbau bei Wohngebäuden überwiegt, ja sogar dominiert, beträgt der Neubauanteil bei Ein- und Zweifamilienhäusern in Deutschland nur etwa 15 – 17%, bei Wohn- und Bürogebäuden bis zu geringer Höhe nur ca. 5%. Aufgrund bauordnungsrechtlicher Einschränkungen kommen Gebäude mittlerer Höhe bis jetzt nur vereinzelt in Pilotprojekten, ansonsten praktisch nicht vor. Und dies obwohl es in Deutschland eine lange und ausgeprägte Holzbautradition mit bis zu siebengeschossigen Fachwerkgebäuden gibt (Knochenhauer Amtshaus, Hildesheim).

Die Auswirkungen eines Brandes auf das statische Tragwerk dieser Häuser können dabei sehr gering ausfallen. Die Eigenschaften der klassischen deutschen Fachwerkhäuser, die mit überdimensionierten

Holzquerschnitten und einer auf der Innenseite durchgehenden, feuchtigkeitsspeichernden Lehmschicht versehen waren, zeigen ein durchaus unkritisches Tragverhalten im Katastrophenfall Brand.

Die verheerenden Brandschäden im II. Weltkrieg und die schlechten Erfahrungen bei Bränden von behelfsmäßigen Holzbauten in der Nachkriegszeit, führten dann zu bauordnungsrechtlichen Einschränkungen, die durch die neue Musterbauordnung teilweise wieder abgebaut werden.

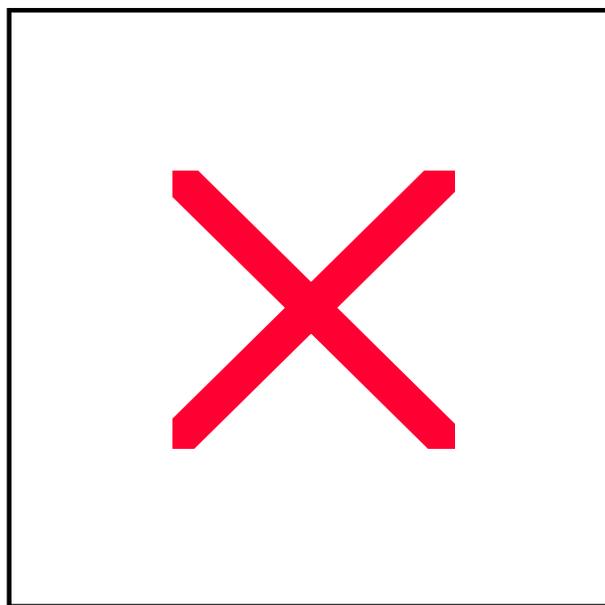


Bild 4.1-1: Knochenhauer Amtshaus. Hildesheim

## Amerika

In der nordamerikanischen Heimat des Holzrahmenbaus, wird seit Jahrzehnten auf mehrgeschossigen Holzbau gesetzt. Fünfgeschossige, ausgedehnte Holzbauten mit Wohn- und Geschäftsnutzung sind keine Seltenheit. Eine angewandte Bauweise ist die Errichtung der Holzkonstruktion auf einer massiven Unterkonstruktion. Dabei werden auf zwei massiven Untergeschossen bis zu fünf Holzgeschosse errichtet. In den Untergeschossen sind häufig Parkgaragen oder Nutzungseinheiten besonderer Nutzung enthalten. Eine Besonderheit ist der brandschutztechnische Nachweis dieser Gebäude durch Anlagentechnik. Mit der entsprechenden Anordnung und Anzahl von Sprinkler- und Entrauchungsanlagen, kann eine ausreichende Brandsicherheit gewährleistet werden. Zusätzlich zu diesen gebäudetechnischen Anlagen, sind tragende, aussteifende und abschottende Bauteile mit einer nichtbrennbaren, brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung versehen

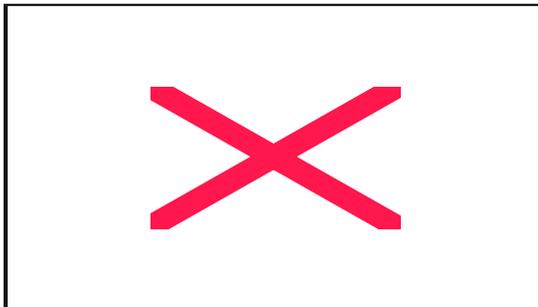


Bild 4.1-2 Wohnanlage, Washington

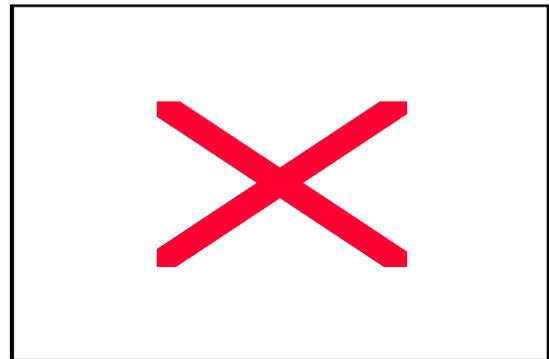


Bild 4.1-3 Konzerthalle

## Europa, Skandinavien

Die Bauordnungen vieler europäischer Länder ändern sich dahingehend, daß sie Funktions- und Schutzzielkriterien beinhalten und keine einfachen Vorschriftensammlungen mehr sind. Diese Entwicklung vollzieht sich seit dem Erscheinen des Grundlagendokumentes Brandschutz der Europäischen Kommission. Technische Regelungen in Form europäischer Brandschutznormen, sind durch die Harmonisierung der Vorschriften weitestgehend angeglichen. Unterschiede bestehen nach wie vor auf politischer Ebene. Trotz des gemeinsamen Zieles schutzzielorientierte Brandschutzregelungen in die nationalen Bauordnungen zu übernehmen, ist die Umsetzung der Zielvorgaben und damit die konkreten Anforderungen an Bauteile und Bauliche Anlagen,

noch sehr unterschiedlich. Zu sehen ist dies anhand des Beispiels der maximal erlaubten Geschosse bei mehrgeschossigen Holzrahmenbauten.

Die momentane Situation von mehrgeschossigen Wohngebäuden in Holzrahmenbauweise in Europa, wurde kürzlich von einem schwedischen Forschungsinstitut für Holztechnologie [24] untersucht. Dabei hat man sowohl Länder der europäischen Union sowie andere Staaten Europas betrachtet; schwerpunktmäßig auch diejenigen, die eine lange Holzbautradition haben.

Dabei kamen unterschiedliche Erkenntnisse heraus, die die noch immer differenzierten und unterschiedlichen baulichen und technische Anforderungen zeigen:

In einigen Ländern gibt es keine speziellen Regulationen oder obere Begrenzungen in der Anzahl der Stockwerke in Holzbauten.

Anzahl der Geschosse in Holzbauweise in skandinavischen Bauordnungen:				
	1994	1997	1999	2003??
Schweden	:	:	:	:
Norwegen	3	:	:	:
Finnland	2	4	4	?
Dänemark	1-2	1-2	4	?

Tabelle 4.1-1: Geschoßanzahl in Holzbauweise nach [24]

Der Einsatz und Gebrauch des Baustoffes Holz ist ebenfalls sehr unterschiedlich, was mit regionalen Bautraditionen zusammenhängt. In den meisten Ländern gibt es Beschränkungen, was den Einsatz von Holzbekleidungen betrifft. Normale und übliche Holzverkleidungen, wie Paneele oder Profilhölzer, sind in Wohnungen erlaubt, jedoch nicht auf Rettungswegen. Wohingegen Fußbodenbeläge aus Holz in einigen Ländern sehr wohl in Rettungswegen eingesetzt werden dürfen.

Die Bauvorschriften haben sich in einigen Staaten seit 1995, z.B. in Dänemark, Finnland, Irland, Italien und Norwegen geändert. Deutschland und die Schweiz folgen.

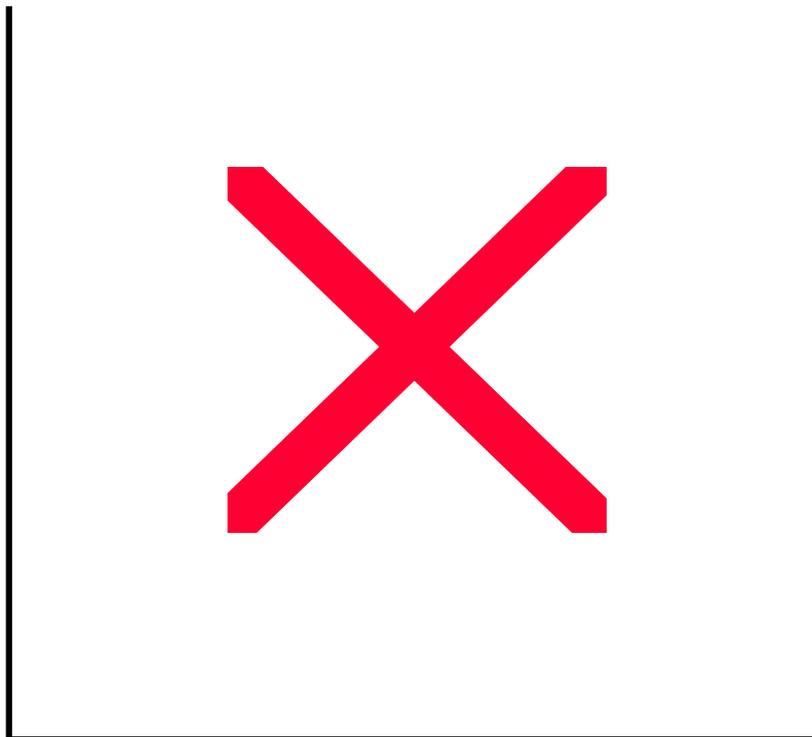


Bild 4.1-5: Lasttragende Konstruktion ohne Sprinkleranlage  
Maximale Geschoßanzahl in Holzbauweise

## 4.2 Internationale Trends der Ingeniermethoden

Im Rahmen der Nachweise von Brandsicherheiten setzen sich in Europa und Deutschland immer mehr ingenieurmäßige Nachweise gegen erfahrungsgemäße, empirische Festlegungen und Brandversuche durch. Starre Brandschutzvorschriften werden abgelöst durch schutzzielorientierte, risikogerechte Brandschutzkonzepte. [22] Mit anerkannten mathematischen Ingeniermethoden, in denen alle wesentlichen physikalischen und chemischen Phänomene berücksichtigt sind, können die in den Bauordnungen formulierten Schutzziele, unter bestimmten Rahmenbedingungen, nachgewiesen werden. Leistungsfähige und praxistaugliche Nachweisverfahren (Berechnungsmodelle) sollen dabei die verschiedenen Phasen eines Brandverlaufes unter realitätsnahen Rahmenbedingungen beschreiben. Um beurteilende Aussagen treffen zu können, müssen für den simulierten Brandverlauf die unterschiedlichen Wirkungen des Brandes auf Gebäude, Personen, Sachwerte und die Umwelt bekannt sein. Um praxistaugliche und zuverlässige Aussagen zu erhalten, müssen die Berechnungsmodelle durch entsprechende Brandversuche validiert werden.

Im Folgenden soll auf zwei international genutzte Nachweisverfahren eingegangen werden. Es werden die grundlegenden Funktionsweisen erörtert und Einsatzgebiete gezeigt.

#### 4.2.1 Zonenmodell

In [22] und [20] werden diverse Rechenmodelle beschrieben.

In den fünfziger Jahren wurden bereits erste Ansätze von Modellen zur Beschreibung von Raumbränden erstellt (post - flashover fires). Dieses Modell geht von einem Vollbrand aus, der durch eine Wärmebilanztheorie beschrieben wird und Brand- und Wärmeausbreitung simuliert. In den siebziger Jahren entstanden in Deutschland und international sogenannte Zonenmodelle für fortentwickelte Brände (pre – flashover). Mit der weiteren wissenschaftlich- technischen Entwicklung entstanden dann Mehrraum-Mehrzonenmodelle. Dadurch sind nun Vorhersagen von Brandverläufen und ihre Wirkung auch in komplizierten und zusammenhängenden Gebäudegeometrien möglich.

Das grundlegende Funktionsweise dieser Modelle beruht auf dem Prinzip der Massen- und Energieerhaltung. Ein in den USA entwickeltes Programm (CFAST), simuliert spezielle Austauschprozesse während des Brandverlaufes. Dabei werden Massen- und Energieströme durch Öffnungen, Lüftungssysteme, Flure oder die Wärmeübertragung auf Decken und Wände gezeigt.

In [20] werden anhand des Brandsimulationsmodells MRFC (Multi-Room-Fire-Code) mögliche Brandszenarien und dazugehörige physikalische Abläufe dargestellt. Dieses Zonenmodell wird besonders im deutschsprachigem Raum eingesetzt und kann durch Kopplung von nahezu beliebig zugeordneten Räumen, die das Brandgeschehen bestimmenden Parameter wie Gas- und Bauteiltemperaturen sowie Druckverteilung und die daraus resultierende Massenströme berechnen.

Grundsätzlich ist aber auch die Modellbildung für einen Raum möglich, in dem dann zwei Zonen betrachtet werden. In diesem Zwei-Zonen-Modell sind Luft und Rauchgase in zwei Schichten unterteilt, für die jeweils eine homogene Temperaturverteilung angenommen wird.

Das simulierte Brandszenarium läuft in einem rechteckigem Raum mit rechteckigen, vertikalen Seitenfenstern und Dachöffnungen als Ventilationsöffnung ab.

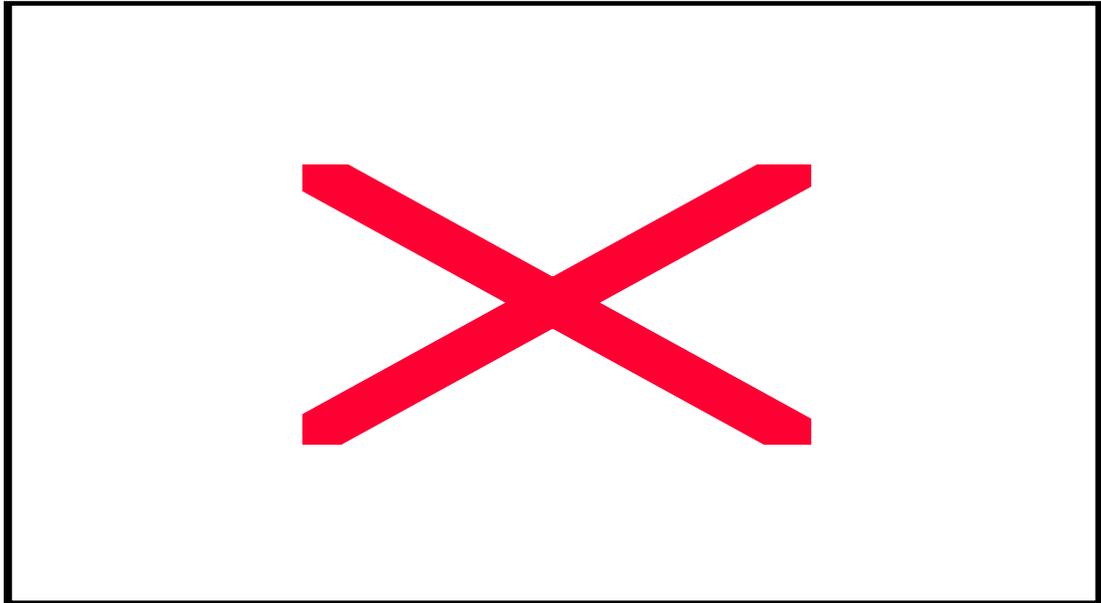


Bild 4.2.1-1: Brandraummodell mit Geometrie, Segment, Massen- und Energieströme für die Brandentwicklung gemäß MRFC nach [20]

Mit einer bekannten Brandlast wird auf dem Boden ein lokaler Brand angenommen, der sich horizontal in zwei Richtungen ausbreiten kann. Modellierung des Brandverlaufes:

- I. Der Brennstoff brennt mit einer veränderlichen Abbrandrate  $R$  unter Energiefreisetzung ab.
- II. Verbrennungsgase steigen aufgrund der Dichteunterschiede zur umgebenden Luft nach oben. Die Temperatur und die Geschwindigkeit der Gase im Verbrennungsbereich (Plume) verringert sich mit steigender Höhe, während sich die Gesamtmasse und die Dichte erhöhen. Der Feuerplume wirkt als treibende Kraft (Pumpe) für die Rauchgasströmung im Raum.
- III. Die gesamte Masse der beim Brand entstandenen Rauchgase strömt aufgrund der Dichteunterschiede zur umgebenden Luft unter die Raumdecke. Für die gesamte Rauchgasschicht wird eine vollständige Durchmischung angenommen, d.h. es wird für diesen Bereich eine gleichmäßige Temperatur, Dichte und Zusammensetzung zu jedem betrachteten Rechenzeitraum vorausgesetzt. Eine Vermischung mit der darunterliegenden Kaltluft wird nicht angenommen. In Abhängigkeit von der Abbrandrate  $R$  wird die Heißluft ab einer gewissen Höhe aus den Fenster und Rauchabzügen gedrückt.
- IV. Unter der Heißgasschicht befindet sich normale Umgebungsluft, die zur Verbrennung der Segmente I und II benötigt wird. Dabei wird sie über die Einmischung aus

der Heißgasschicht und durch die Aufheizung der Wände und des Fußboden langsam erwärmt. Durch unterschiedliche Strömungsverhältnisse gibt es unterschiedliche Möglichkeiten der Massenänderung des Segmentes IV:

1. Zu Beginn wirkt die Heißgasschicht wie ein Kolben und drückt die Kaltluft unten aus dem Brandraum heraus.
  2. Die Rauchgasschicht erreicht die Höhe  $h'$  und kann durch die Öffnungen entweichen, dabei nimmt sie Kaltluft mit.
  3. Strömen Heißgase aus den Fensteröffnungen, kann es auch zu einer Umwälzung der Kaltluftströmung kommen. Um die Gesamtmassenbilanz des Brandraumes zu erhalten, wird nun die Kaltluft vom Feuerplume eingesaugt.
  4. Ist die Abbrandrate zu stark, wächst die Heißgasschicht sehr schnell an, die für die Verbrennung nötige Kaltluft steht nicht mehr zur Verfügung. Durch vorhandene Ventilationsöffnungen kann jedoch Sauerstoff nachströmen, man spricht hier von einem ventilationsgesteuerten Brand.
- V. Die Decke und Teile der Seitenwände sind mit Rauchgasen umhüllt (Segment V) Die Fläche der Rauch umhüllten Bauteile ändert sich ja nach Höhe der Heißgasschicht. Diese ist von der Abbrandrate und der Menge der zuströmenden Luftmassen abhängig. Damit bewirken konvektive Einflüsse zwischen Gas und Wand, sowie Wärmestrahlung von anderen Segmenten eine Belastung der Innenoberflächen
- VI. Der Boden (Segment VI) wird durch Wärmestrahlung erwärmt. Konvektive Abläufe zwischen Boden und Luftschicht, bewirken eine Erwärmung der Luftschicht.

Erreicht die Heißgasschicht die Flashover-Temperatur, oder hat der Brandherd 80 % des Bodens eingenommen, spricht man von einem Vollbrand.

Anhand dieser Modellbildung können die einzelnen Prozesse und Beeinflussungen der Segmente untereinander beschrieben werden. Die Zustände in den Segmenten werden durch Gleichungen beschrieben. Die Entwicklung des Feuers, die Abbrandrate, die Temperaturerhöhung, die Änderung der Massenströme und die örtlichen Wärmestromdichten können so durch das Programm beschrieben werden.

Grenzen der Zonenmodelle sind erreicht, wenn Informationen über Temperaturverteilung und Strömungsfelder in komplizierten Raumgeometrien benötigt werden. Die Entwicklung der Zonenmodelle gilt weltweit als abgeschlossen, deutliche Neuerungen und Erweiterungen in der Anwendung sind nicht zu erwarten.

#### 4.2.2 Feldmodelle

Als Hilfsmittel zur Analyse unterschiedlichster Strömungsprobleme in Verbindung mit Bränden werden sogenannte Feldmodelle (Computational Fluid Dynamics – CFD) benutzt. Ein typisches Anwendungsfeld der Brandsimulation mit Feldmodellen ist die Fragestellung der Rauchausbreitung in komplexen Gebäudegeometrien, z.B. einem Flughafengebäude.

In [20] sind Feldmodell wie folgt beschrieben:

Die theoretische Analyse der bei Bränden auftretenden Transportprozessen beginnt mit der Formulierung der beteiligten Erhaltungsgleichungen für die Masse, die Energie, den Impuls und den Stoffkomponenten im System. Die Erhaltungsgleichungen sind mathematische Beschreibungen der zugrundeliegenden physikalischen Gesetze, welche das Problem beschreiben. (Fundamentalgleichung)

Die Fundamentalgleichung setzt sich aus einer Bilanzierung der Ströme von Masse, Impuls, Energie und Stoffkomponenten in jedem Kontrollvolumen des betrachteten Systems zusammen. Die Bilanzierung umfaßt die Quantifizierung der Zu- und Abflüsse der genannten Massen, in Verbindung mit vorhandenen Speicher- und Reaktionsvorgängen in den Kontrollvolumen. Das Volumen des betrachteten Raumes wird in sogenannte Kontrollvolumen unterteilt. Die Kontrollvolumina stehen mit den benachbarten Volumina in Verbindung, so daß ein umfassendes Netzwerk entsteht. Mathematische Gleichungen beschreiben dann die physikalischen Vorgänge eines jeden Kontrollvolumen. Eine dreidimensionale Betrachtung der Massenströme im Brandfall wird auf diese Weise möglich.

In [20] wird die Anwendung eines Feldmodells anhand der Berechnung eines Feuerplums und der dazugehörigen Massenströme gezeigt.

Bei der Simulation wurde in einer Halle (20m\*6 m) ein Feuer mit einer 1m<sup>2</sup> großen Grundfläche entfacht. Dabei wurden Brandleistungen von 500kW und 1000kW erreicht. Ziel der Simulation war die Darstellung und Berechnung von Strömungsfeldern und der dazugehörigen Temperaturen. Rauch- und Wärmeabzug sowie Zuluftführung erfolgten über jeweils zwei Öffnungen. Zur Berechnung wurde das Volumen des Raumes in 375.000 Raumzellen aufgeteilt. Die Berechnungszeit für eine Simulationszeit von 10 Minuten Branddauer betrug für diese Raumgröße 98 Stunden. Es wird ersichtlich, daß die Anwendung in diesem Rahmen nur für experimentelle Versuchsreihen im wissenschaftlichen Bereich liegt. Als praxisnahes Modell wäre das Zonenmodell zu benutzen.

Das Feldmodell liefert folgende Daten:

- Verbrennung der Flamme
- Ausbildung der Flamme
- Ausbildung des Feuerplums
- Gaskomponenten und deren Konzentration im Raum
- Strömungsgeschwindigkeit im Raum
- Temperaturverteilung im Raum
- Rauchverteilung im Raum
- Druckverteilung im Raum
- Strömungen im Bereich von Zuluftöffnungen
- Strömungen im Bereich von Rauchabzügen

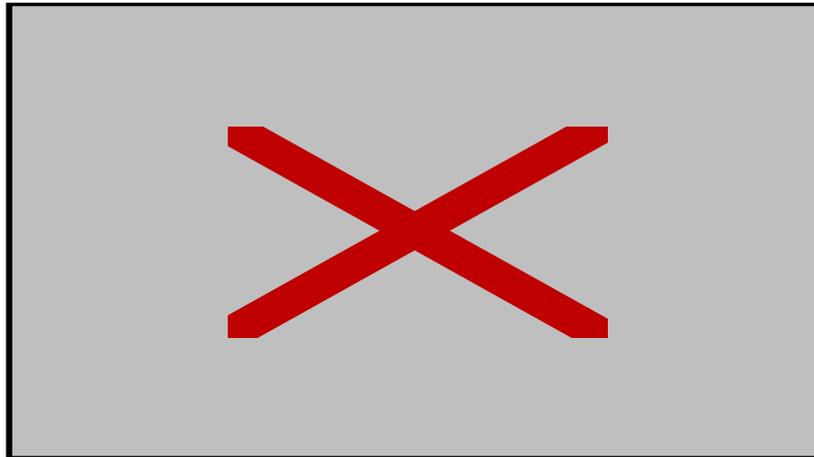


Bild 4.2.2-1: Geometrie der untersuchten Halle [20]

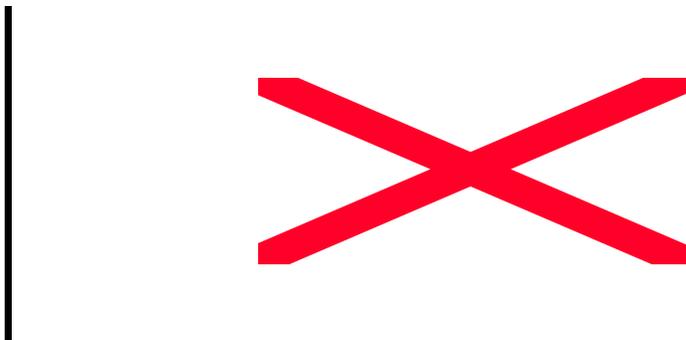


Bild 4.2.2-2: Aufteilung des Raumvolumens in Gitterstruktur [20]



Bild 4.2.2-3: Betrag der vertikalen Strömungsgeschwindigkeiten bei 1000 kW Brandleistung [20]

Die Bereiche der Zuluftöffnungen bleiben rauchfrei.

### 4.3 Schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte

Internationale Trends im Brandschutzbereich führen immer mehr zu Schutzzielorientierten Sicherheitskonzepten. In einigen Staaten (USA, England) haben schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte, in Verbindung mit dem entsprechenden Brandschutzingenieurwesen, eine lange Tradition. Ziel der Definition von Schutzzielen ist es eine ganzheitliche Betrachtung des Brandschutzes zu ermöglichen, um dann im Rahmen der Gebäudekonzeption geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die zur Erfüllung der Schutzziele führen. Wichtig ist daß Schutzziele erreicht werden. Das Wie ist dann Aufgabe des Brandschutzingenieurs.

Schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte bauen auf den neuen Ingenieurmethoden (Modellrechnungen zur Beurteilung von Brandwirkungen) auf. Dazu müssen die eigentlichen Zielvorgaben im Rahmen von Genehmigungen unter bauordnungsrechtlichen Vorgaben klar definiert sein. In gleicher Weise werden aber auch Vorgaben realistischer Brandszenarien und der dazugehörigen Brandverläufe benötigt. Dabei können auch private Interessen berücksichtigt werden, indem z.B. einzelne Schutzziele nach dem Versicherungsrecht beurteilt und erweitert werden. Schutzziele sind mit Leistungskriterien und Mindestanforderungen zu beschreiben.

Im Kapitel 7 soll auf das Thema der Schutzzielorientierten Brandschutzkonzepte näher eingegangen werden.

### 4.3.1 Zum Stand schutzzielorientierter internationaler Richtlinien

Im Rahmen des von der TU Braunschweig und des vfdb (Verein zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.) organisierten 9. Internationalen Brandschutzsymposiums am 25. und 26. Mai 2001 in München, fand eine Podiumsdiskussion über schutzzielorientierte Brandschutzvorschriften statt. Brandschutzexperten aus Australien, England, Luxemburg, der Schweiz, den USA und Deutschland waren an dieser Sitzung beteiligt. Im Folgenden sind die wichtigsten Aussagen zu nationalen Brandschutzregelungen und Vorgehensweisen bei der Brandschutzplanung der einzelnen Länder zusammengefaßt. [nach 22]

#### USA

In den USA hat das Brandschutzingenieurwesen (Fire Protection Engineering) eine lange Tradition. Forschungsvorhaben werden durch Universitäten und dem National Institut of Standards (NIST) durchgeführt. Die zwei großen Vereinigungen

- National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA sowie
- Society of Fire Protection Engineering (SFPE), Boston, MA

vertreten dabei nationale Brandschutzinteressen und dokumentieren den neusten Wissensstand für die ausführende Baupraxis.

Trotz eines weit entwickelten Brandschutzingenieurwesens, sind schutzzielorientierte Bauvorschriften erst seit den letzten Jahren in der Diskussion. Hierbei wurde vom ICC (International Code Council) der ICC Performance Code for Buildings and Facilities herausgegeben. In dieser Richtlinie sind für die Gebäudesicherheit die Zielvorgaben, Funktionskriterien sowie Anforderungen aufgeführt, welche für eine Schutzzielerreichung nötig sind. Neben baulichem Brandschutz und der Personenrettung werden hier auch andere bauliche Sicherheitsaspekte wie der Standsicherheit oder dem Feuchteschutz behandelt.

#### England

In Großbritannien wird Brandschutzingenieurwesen zum Nachweis der Brandsicherheit in der Baupraxis, wesentlich länger und häufiger genutzt als in Deutschland. Dazu sind für entsprechend professionelle Planungen und Nachweise, große Brandschutzabteilungen in den Ingenieurbüros entstanden. So ist es möglich individuelle Brandschutzlösungen mit den entsprechenden Nachweisen bei fest vorgeschriebenen Brandschutzvorschriften zu finden.

Schutzzielorientierte Regelungen haben die Erprobungsphase abgeschlossen und sind in Form einer Richtlinie (Fire safety engineering in buildings, British Standard Institute (BSI), 1997) in die nationale Norm BS 7974: 2001 überführt.

## Australien

Das australische Brandschutzingenieurwesen hat sich in den letzten Jahren bedeutend entwickelt. Mit einer staatlich geförderten Brandschutzforschung, konnten 1991 weltweit erstmalig risikoorientierte Sicherheitskriterien in eine Brandschutzvorschrift übernommen werden. Seit 1994 wurde an einer schutzzielorientierten Bauordnung gearbeitet, die dann 1997 als vorläufige Fassung herausgegeben wurde. Bei dieser Vorschrift handelt es sich um eine Unterlage, die sich durch einen systematischen Aufbau, durch detaillierte Angaben zu geeigneten Nachweismethoden und durch eine Dokumentation der wesentlichen Eingangsdaten auszeichnet.

Die Anwendung von Ingenieurmethoden im Rahmen der schutzzielorientierten Brandschutzplanung, ermöglicht erhebliche Erleichterungen gegenüber dem immer noch gültigen Building Code of Australia (1996).

## Luxemburg

Luxemburg hat keine eigenen bauordnungsrechtlich verankerten Brandschutzvorschriften. Man orientiert sich hingegen anhand der Nachbarländer Deutschland und Frankreich und übernimmt teilweise deren Brandschutzvorschriften.

Dennoch entstand im Rahmen von Forschungsarbeiten eine eigene Richtlinie (Natural Fire Safety Concept – NFSC), die in Einzelfällen bereits Anwendung fand und risikogerechtes Bauen ermöglichen soll. Sie ist jedoch in keiner gesetzlichen Brandschutzvorschrift verankert.

## Schweiz

In der Schweiz wird der Brandschutz durch die Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) organisiert. Schon früh ging man zu einer risikoorientierten Betrachtungsweise über und so brachte der Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA) bereits 1984 eine Dokumentation heraus, die sich mit der rechnerischen Brandrisikobewertung beschäftigt. Eine Dokumentation des SIA von 1985 beinhaltet die rechnerische Klassifizierung des Feuerwiderstandes von Stahlkonstruktionen, die vergleichbar mit den späteren Regelungen des Eurocodes sind.

Eine Folge der schweizer Brandschutzphilosophie ist die Möglichkeit der Anrechnung Anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen (Sprinkler- und Entrauchungsanlagen). Dies wirkt sich positiv auf neue Bauweisen wie dem mehrgeschossigen Holzbau aus.

## Vergleich mit den Regelungen Deutschlands

Der Brandschutz ist in Deutschland durch die Bauordnungen der Länder (BauO) geregelt. Hier sind bauliche Anforderungen und grobe Schutzziele definiert. Da die Formulierung der Schutzziele teilweise sehr allgemein gefaßt ist: „*Bauliche Anlagen müssen so beschaffen sein, daß der Entstehung von Bränden und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird.....*“ (MBO §17 Abs.1), sind zur Erreichung der Ziele umfangreiche Detailregelungen, Richtlinien und Technische Regelungen dargelegt. Abweichungen von diesen Richtlinien sind möglich, wenn der Nachweis erbracht wurde, daß die Schutzziele eingehalten werden. So gibt es unterschiedliche Anforderungen, die auf alle Fälle eingehalten werden müssen.

Risikoorientierte Brandschutzkonzepte sind ansatzweise in der DIN 18230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ enthalten. In dieser Norm, welche gegen Ende der fünfziger Jahre als Gelbruck vorhanden war, wird zunächst festgestellt, welche Brandrisiken tatsächlich am Objekt vorhandener sind und welche Maßnahmen nötig sind den Risiken entgegenzuwirken. Mit der Gestaltung und Erarbeitung eines Brandschutzkonzeptes auf der Grundlage der festgestellten Brandrisiken, sind individuelle und objektbezogene Lösungen möglich.

Mit der Angleichung und Harmonisierung europäischer Brandschutzvorschriften, setzte eine Trendwende bei der Anwendung ingenieurmäßiger Nachweise im vorbeugenden Brandschutz jetzt auch in Deutschland ein. Für ganz Europa soll es zukünftig möglich sein, rechnerische Nachweise mit anerkannten Ingenieurmethoden als Alternative zu traditionellen Brandversuchen zu benutzen. Komplexe Gebäudestrukturen und Sonderbauten mit multifunktionaler Nutzung, wie sie auch häufig im Holzbau vorkommen, können davon nur profitieren.

In der neuen Musterbauordnung sind Schutzziele für bauliche Anlagen und Produkte definiert: *Tragende und aussteifende Wände und Stützen müssen im Brandfall ausreichend lang standsicher sein.* § 25 Abs. 1. Die Schutzziele müssen mit den entsprechenden Anforderungen für den Regelfall verknüpft sein. Als Beispiel wären im Holzbau hier tragende Wände und Stützen in feuerhemmender oder hochfeuerhemmender Bauweise auszuführen. Für Sonderfälle sollten spezielle und alternative Brandschutznachweise ermöglicht werden.

Mit diesen Neuerungen der Musterbauordnung sind auch in Deutschland erste schutzzielorientierte Brandschutzregelungen möglich.

## **4.4 Drei nationale Wege im Brandschutz**

Nachfolgend soll anhand der drei Länderbeispiele Finnland, Österreich und der Schweiz die jeweilige nationale Situation im Brandschutz dargestellt werden. Besonderes Gewicht liegt dabei auf baurechtliche Anforderungen im mehrgeschossigen Holzbau – Baustoffklassen, Bauteilklassen, Gebäudeklassen und Anzahl der Geschosse.

### **4.4.1 Brandschutzvorschriften in Finnland**

Den Brandschutz betreffende bauordnungsrechtliche Anforderungen sind in Finnland in einer Brandschutzrichtlinie (Fire safety of buildings, Regulations and Guidelines 2002) enthalten. Sie ist ein Teil der nationalen Bauordnung und wird durch das Umweltministerium und der zuständigen Wohnungs- und Bauabteilung herausgegeben. (MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Housing and Building Department).

In den folgenden Abschnitten sollen auszugsweise alle die Richtlinien und Brandschutzregelungen erörtert werden, die den mehrgeschossigen Holzbau in Finnland betreffen. Übernommene (übersetzte) Textpassagen der finnischen Brandschutznorm sind kursiv geschrieben. Nach der Darstellung der finnischen Regelung, sind Vergleiche zur deutschen Musterbauordnung gezogen. Zum Schluß wird die Situation des mehrgeschossigen Holzbaus in Finnland anhand wichtiger Anforderungen dargestellt.

#### **4.4.1.1 Gebäudeklassen**

In Finnland sind Gebäude in drei Brandschutzklassen unterteilt: P1, P2 und P3.

*Die Unterscheidung der Klassen geschieht nach der Größe des Gebäudes und der Anzahl und Art der Nutzer.*

**RESTRICTIONS ON THE SIZE OF A BUILDING**

<i>Characteristic of the building</i>	<i>Fire class of the building</i>		
	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>
<b>NUMBER OF STOREYS</b>			
<i>– in general</i>	<i>no restriction</i>	<i>maximum 2</i>	<i>maximum 2</i>
<i>– residential building, office premises</i>	<i>no restriction</i>	<i>maximum 4</i>	<i>maximum 2</i>
<i>– production or storage premises, garages</i>	<i>no restriction</i>	<i>maximum 2</i>	<i>maximum 1</i>
<b>HEIGHT</b>			
<i>– in general</i>	<i>no restriction</i>	<i>maximum 9 m</i>	<i>maximum 9 m</i>
<i>– residential building, office premises</i>	<i>no restriction</i>	<i>maximum 14 m</i>	<i>maximum 9 m</i>
<i>– 1-storey production or storage premises</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>maximum 14 m</i>
<b>GROSS FLOOR AREA</b>			
<i>In general</i>			
<i>– 1-storey</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>max 2400 m<sup>2</sup></i>
<i>– 2-storey</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>max 1600 m<sup>2</sup></i>
<i>Gross floor area in production and storage premises and garages</i>			
<i>– 1-storey</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>
<i>– 2-storey</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>not permitted</i>

**Ergänzung:**

*Die Bruttogeschoßflächen (gross floor area), die nicht in der Tabelle aufgeführt sind, werden zugelassen, wenn automatische Feuaralarmanlagen, automatische Rauchabzugsanlagen oder ein automatisches Feuerlöschsystem (Sprinkler) im Gebäude installiert ist.*

Tabelle 4.4.1-1: Einteilung der Gebäudeklassen nach Gebäudehöhe, Anzahl der Geschosse und Größe der Nutzungsflächen

<i>MAXIMUM NUMBER OF OCCUPANTS IN A BUILDING</i>				
<i>Use of the building</i>	<i>Number of storeys</i>	<i>Fire class of the building</i>		
		<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>
<i>Residential buildings</i>		<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>
<i>Accommodation premises</i>	<i>1</i>	<i>no restriction</i>	<i>150 places</i>	<i>50 places</i>
	<i>2</i>	<i>no restriction</i>	<i>50 places</i>	<i>10 places</i>
<i>Institutions</i>	<i>1</i>	<i>no restriction</i>	<i>100 places</i>	<i>10 places</i>
	<i>2</i>	<i>no restriction</i>	<i>25 places</i>	<i>not permitted</i>
<i>Assembly and business premises</i>	<i>1</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>500 occupants</i>
	<i>2</i>	<i>no restriction</i>	<i>250 occupants</i>	<i>50 occupants</i>
<i>Office premises</i>	<i>1</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>
	<i>2</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>150 employees</i>
<i>Production and storage premises</i>	<i>1</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>	<i>no restriction</i>
	<i>2</i>	<i>no restriction</i>	<i>50 employees</i>	<i>not permitted</i>

Tabelle 4.4.1-2: Einteilung der Gebäudeklassen nach maximaler Anzahl der Nutzer

*Wenn es nach vorgenannten Tabellen zulässig ist Gebäude mit mehr als zwei Stockwerken zu errichten, bestehen keine Einschränkungen bezüglich der Anzahl der Nutzer. Einschränkungen in der Anzahl von Nutzern bei zweigeschossigen Gebäuden bestehen in Verbindung mit solchen Fällen, wo die Räumlichkeiten mit dem angegebenen Nutzungszweck sich gänzlich oder teilweise im zweiten Stock des Gebäudes befindet. Wenn sich solche Räume im ersten Stockwerk befinden, werden die Einschränkungen eingeschossigen Gebäuden auferlegt.*

#### Vergleich mit MBO 2002:

Die Einteilung der Gebäude erfolgt in Deutschland durch fünf Gebäudeklassen. Die Differenzierung und Unterscheidung erfolgt nach ähnlichen Kriterien wie in Finnland, ist aber nicht so umfassend und ausführlich wie das finnische System. Die Einteilung, Abgrenzung der Gebäudehöhen in der Musterbauordnung ist ähnlich wie der in Finnland.

- bis 7m sind Gebäude geringer Höhe
- 7m bis 22m sind Gebäude mittlerer Höhe (Gebäudeklasse 4: 13 m)
- mehr als 22m sind Hochhäuser

Eine direkte Eingrenzung der Anzahl von Nutzern in den Gebäuden gibt es in der MBO nicht. Hier unterteilt man die Anzahl der Nutzer indirekt durch die Größe und Anzahl von sogenannten Nutzungseinheiten, die in einigen Gebäudeklassen jeweils auf maximal 400 m<sup>2</sup> beschränkt sind. Die für den mehrgeschossigen Holzbau entscheidende Gebäudeklasse 4 der MBO, ist mit der finnischen Gebäudeklasse P2 vergleichbar.

In der finnischen Norm werden die Gebäude direkt angesprochen. Was in Deutschland in etlichen Sondervorschriften geregelt ist, steht in umfassender Form in der finnischen Brandschutznorm.

#### **4.4.1.2 Begrenzung des Feuers auf Brandabschnitte**

*Gebäude sollten im allgemeinen in Brandabschnitte unterteilt werden, um eine Ausbreitung von Feuer und Rauch zu verhindern, Sicherheitsausgänge zu schützen, allumfassende Lösch- und Rettungsmaßnahmen durchführen zu ermöglichen und persönliches Eigentum zu schützen.*

*Die einzelnen Stockwerke eines Gebäudes, wie Keller, Geschosse, und Dachgeschosse sind in einzelne Brandabschnitte zu fassen, um ein Feuer auf Einzelbereiche zu beschränken. (fire-separation by area).*

*Räume mit unterschiedlicher Nutzung oder mit unterschiedlichen Brandlasten sind ebenfalls durch Brandabschnitte zu trennen, wenn der Schutz von Personen und Eigentum dies erfordert.*

**MAXIMUM AREA OF FIRE COMPARTMENTS**

<i>Use of building</i>	<i>Fireclass of the building</i>		
	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>
<b>FLOORS</b>			
<i>Residential buildings</i>	<i>fire separation by apartments</i>	<i>fire separation by apartments</i>	<i>fire separation by apartments</i>
<i>Accommodation premises and institutions</i>			
<i>– premises for staying overnight</i>	<i>800 m<sup>2</sup></i>	<i>800 m<sup>2</sup></i>	<i>400 m<sup>2</sup></i>
<i>– other premises</i>	<i>1600 m<sup>2</sup></i>	<i>1600 m<sup>2</sup></i>	<i>400 m<sup>2</sup></i>
<i>Assembly and business premises and offices</i>	<i>2400 m<sup>2</sup></i>	<i>2400 m<sup>2</sup></i>	<i>400 m<sup>2</sup></i>
<b>ATTICS AND VOIDS OF THE UPPERMOST FLOOR</b>			
	<i>1600 m<sup>2</sup></i>	<i>1600 m<sup>2</sup></i>	<i>according to the compartments underneath 2)</i>
<b>BASEMENTS</b>			
	<i>800 m<sup>2</sup></i>	<i>800 m<sup>2</sup></i>	<i>400 m<sup>2</sup></i>

2)

*In residential buildings this may be substituted for a specific reason  
 by fire-separation into fire compartments of not more than 200 m<sup>2</sup>*

Tabelle 4.4.1-3: Maximale Größe von Brandabschnitten

*Brandabschnitte dürfen vergrößert werden, wenn Anlagen zur automatischen Feueralarmierung, automatischen Rauchabzüge und automatische Löscheinrichtungen (Sprinkler) installiert sind.*

### Vergleich mit MBO 2002:

Vorschriften und Richtlinien für die Bildung von Brandabschnitten sind in der deutschen Musterbauordnung, im Vergleich zur finnischen Norm, in gleicher Form nicht zu finden. Angaben zur brandschutztechnischen Unterteilung von Gebäuden sind in der MBO in den §§ 27 und 28 (Trennwände und Brandwände) zu finden. Nach diesen Richtlinien sind Brandabschnitte auf maximal 1600 m<sup>2</sup> zu begrenzen. Sind in ausgedehnten Gebäuden Unterteilungen vorzunehmen (Bildung innerer Brandabschnitte), die in brandschutztechnischer Hinsicht einen Bereich von seinem Nachbarbereich abschotten, so darf die Länge und Breite nicht größer als 40 m (1600 m<sup>2</sup>) sein. In der MBO sind weiterhin folgende allgemeine Angaben zur Bildung von inneren Brandabschnitten zu finden:

- brandschutztechnische Abtrennung ausgedehnter Gebäudebereiche
- Trennung von Wohnteil und angebautem Betriebsteil
- Trennung unterschiedlich gefährdeter Gebäudeteile
- Trennung von Gebäudeteilen mit und ohne automatische Sprinkleranlage

Nach Musterbauordnung können Brandabschnitte auch größer als die maximal erlaubten 1600 m<sup>2</sup> sein, wenn die Funktion einer baulichen Anlage (z.B. im Industriebau) größere Flächen benötigt. Man spricht dann von Brandbekämpfungsabschnitten.

#### **4.4.1.3 Erhalt der Tragfähigkeit von Konstruktionen**

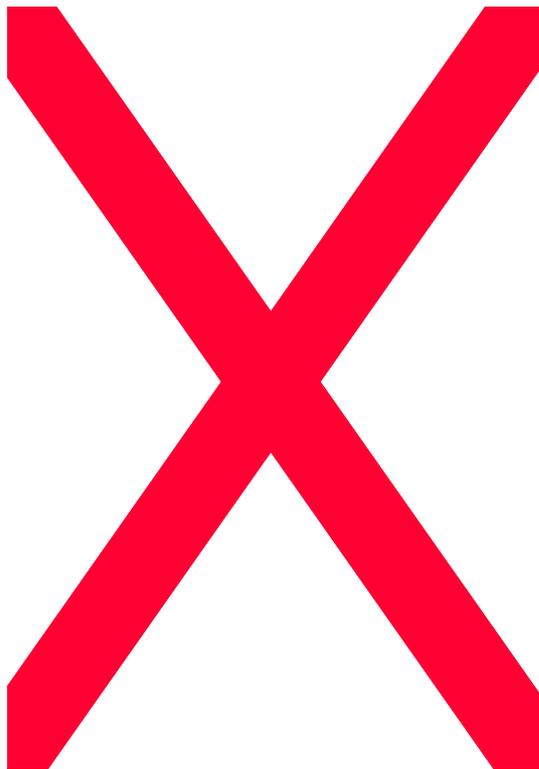
In diesem Kapitel der finnischen Norm werden alle Feuerwiderstandszeiten aufgeführt, die für aussteifende und lasttragende Bauteile je nach Gebäudeart vorgeschrieben werden. Gemeint sind damit alle statisch erforderlichen Tragwerksteile.

Die Einteilung der Feuerwiderstandsklassen erfolgt nach den Gebäudeklassen P1, P2, P3 und nach Brandlastklassen. Die finnische Brandschutzpolitik verfolgt damit die Grundsätze risiko- und schutzzielorientierter Brandschutzkonzepte. Durch die Einteilung und Unterscheidung der Brandlasten für alle Gebäudearten, ist eine realistische Betrachtungsweise möglich. Nach Art und Nutzung eines Gebäudes können Brandlasten vorbestimmt werden, die dann eine weitere Differenzierung ermöglichen (z.B. Einteilung Feuerwiderstandsklassen). Unterschieden werden folgende Brandlasten:

- **über 1200 MJ/m<sup>2</sup>:** z.B.: *Warenhäuser mit separaten Brandabschnitten, Brandlasten von Lager- oder Produktionsstätten werden von Fall zu Fall ermittelt oder geschätzt.*
- **mehr als 600 MJ/m<sup>2</sup> und weniger als 1200 MJ/m<sup>2</sup>:** z.B.: *- Versammlungs- und Geschäftsräume wie Läden, Ausstellungshallen, Bibliotheken; Kellergeschosse von Wohnhäusern; Autowerkstätten*

---

- **weniger als 600 MJ/m<sup>2</sup>**: z.B.: Wohnungen, Räumlichkeiten sonstiger Unterkünfte;  
Versammlungs- und Geschäftsräume wie Gaststätten, Shops, Büros, Schulen Sport-  
hallen, Theater, Kirchen; Garagen



*Wenn die Konstruktion von lasttragenden Bauteilen auf schutzzielorientierten Brandschutzkonzepten beruht, ist ein Gebäude in Hinsicht auf lasttragende Bauteile, als ausreichend brandsicher zu betrachten wenn:*

- ein Gebäude mit mehr als zwei Stockwerken während der Brandbelastung oder der Abkühlphase nicht einstürzt (Gebäudeklasse P1) oder
- ein Gebäude mit nicht mehr als zwei Stockwerken während der zur Verfügung stehenden Rettungs-, Evakuierungs- und Löschzeit nicht einstürzt.

#### Vergleich mit MBO 2002:

Die Feuerwiderstandsdauer tragender Bauteile ist in der Musterbauordnung mit den Brandeigenschaften der verbauten Baustoffe kombiniert. Die baurechtlichen Anforderungen der Bauteile werden dabei durch allgemeinen Begriffe definiert. Verwendet werden: feuerhemmende, hochfeuerhemmende und feuerbeständige Bauteile. Die Bedeutung der allgemeinen Begriffe feuerhemmend, hochfeuerhemmend und feuerbeständig ergibt sich aus der Zuordnung geforderter Feuerwiderstandszeiten. So müssen feuerhemmende Bauteile 30 Minuten, hochfeuerhemmende Bauteile 60 Minuten und feuerbeständige Bauteile 90 Minuten die geforderten baurechtlichen Anforderungen der MBO während des Brandfalls erfüllen. Die normative Bezeichnung der Feuerwiderstandsklasse ist in Deutschland noch sehr stark an der nationalen Norm DIN 4102-T1 und T2 orientiert.

Beispielhafter Vergleich anhand tragender Bauteile:

#### Nach MBO:

Tragende Wände, Pfeiler und Stützen (neu)

(1) <sup>1</sup> Tragende und aussteifende Wände und Stützen müssen im Brandfall ausreichend lang standsicher sein.

<sup>2</sup> Sie müssen

1. in der Gebäudeklasse 5 feuerbeständig mit der Anforderung G: **F90**

2. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmend mit der Anforderung G: **F60**

3. in den Gebäudeklassen 2 und 3 feuerhemmend sein: **F30**

.....

(2) Im Kellergeschoss müssen tragende und aussteifende Wände und Stützen

1. in den Gebäudeklassen 4 und 5 feuerbeständig mit der Anforderung G: **F90**

2. in den Gebäudeklassen 1 bis 3 feuerhemmend sein: **F30**

Nach finnischer Norm:

Lasttragende Konstruktionen in Gebäuden mit

1.) 3 bis 8 Stockwerken: **R180 R120 R60**

2.) mehr als 8 Stockwerken: **R240 R180 R120**

In Finnland hingegen ist das europäische Klassifizierungssystem nach EN 13502 auch auf nationaler Ebene eingeführt.

Die Feuerwiderstandszeiten richten sich nach der festgestellten Brandlastklasse. Die dargestellten Geschößzahlen mit den entsprechenden Widerstandszeiten, sind in der Gebäudeklasse P1 möglich, vergleichbar mit der deutschen Gebäudeklasse 5. Allerdings sind die Angaben in der finnischen Norm umfangreicher und detaillierter. In Deutschland gelten dafür Sonderrichtlinien (Hochhausrichtlinie). Eine Gemeinsamkeit ist die Forderung nach der Nichtbrennbarkeit der Tragkonstruktion.

3.) 3 bis 4 Stockwerken: **R180 R120 R60 R60^**

In der Gebäudeklasse P1 geht die Feuerwiderstandszeit in Abhängigkeit der Brandlast von 60 Minuten bis 180 Minuten. Dabei sind für diese Gebäudeklasse ebenfalls nicht-brennbare Baustoffe gefordert.

**R60^** : In der Gebäudeklasse P2 sind 3 bis 4 Stockwerke mit brennbaren Baustoffen möglich, wenn die Feuerwiderstandszeit 60 Minuten beträgt und die Dämmung im Wandquerschnitt aus nichtbrennbaren Baustoffe besteht. Vergleichbar wäre diese Klassifizierung mit den Anforderungen der Gebäudeklasse 4 in der deutschen Bauordnung.

#### **4.4.1.4 Erhalt des Raumabschlusses**

In diesem Abschnitt der finnischen Brandschutzvorschrift, werden alle Anforderungen an Bauteile dargelegt, die trennende Funktionen erfüllen sollen. Dabei soll die Ausbreitung von Rauch und Feuer verhindert werden. In der Musterbauordnung geschieht eine derart detaillierte Darstellung der Anforderungen nicht. Hier werden Brandschutztechnisch erforderliche Eigenschaften der Bauteile durch die Formulierungen

1. feuerbeständig,
2. hochfeuerhemmend und
3. feuerhemmend

beschrieben. Sie sind allgemein und beinhalten Anforderungen an tragende Bauteile und deren Standsicherheiten, sowie Anforderungen an trennende Bauteile.

Raumabschließende Gebäudeelemente und Brandschutztechnische Anlagen sollen in der Art angebracht bzw. ausgeführt werden, daß der Ausbreitung von Feuer und Rauch am Entstehungsort entgegengewirkt werden kann. Die baurechtlich geforderten Widerstandszeiten für raumabschließende und isolierende Bauteile, sind in folgender Tabelle aufgeführt:

CLASS REQUIREMENTS FOR FIRE-SEPARATING BUILDING ELEMENTS

Column	Fire class of the building					
	P1			P2		P3
	Fire load MJ/m <sup>2</sup>			Number of storeys		
	over 1200	600–1200	under 600	3–4	1–2	
	1	2	3	4	5	6
Fire-separating building elements in storeys	EI 120	EI 90	EI 60	EI 60	EI 30	EI 30
– partitioning building elements (walls and doors of accommodation rooms)	EI 15	EI 15	EI 15	_	EI 15	EI 15
Fire-separating building elements in attics	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30
– partitioning building elements	EI 15	EI 15	EI 15	EI 15	EI 15	EI 15
Fire-separating building elements in basements	EI 120	EI 90	EI 60	EI 120	EI 60	EI 30

Symbol in the Table: \_ = not possible

Tabelle 4.4.1-5: Anforderungen an trennende Bauteile

Für Baustoffe raumabschließender Bauteile gilt unter folgenden Voraussetzung die Forderung A2–s1, d0 (EN 13501) :

- Brandwände in Ausgangsbereichen bei Gebäuden der Klasse P1 mit mehr als zwei Stockwerken
- Raumabschlüsse in Kellerräumen
- Ausnahme bilden Kellerräume bei Gebäuden der Klasse P3, mit nur einer Wohneinheit

Die technischen Bezeichnungen der Feuerwiderstandsklassen nach europäischer Norm (EN 13501) sind in Finnland schon als nationale Bezeichnungen übernommen worden.

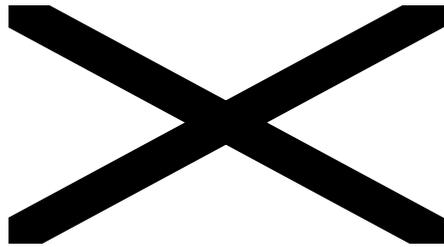


Bild 4.4.1-1: Leistungskriterien R E I

Leistungskriterien für die Feuerwiderstände von Konstruktionselementen erleichtern den Einsatz von Holzkonstruktionen. REI 60 bedeutet das alle Kriterien während einer Zeit von 60 Minuten erfüllt werden müssen. Holzkonstruktionen können diese Forderung erfüllen.

R: Tragfähigkeit      E: Raumabschluß      I: Isolation

Die jeweils längste Zeitspanne in einer der drei Klassen ist für das Bauteil maßgebend. Eine Kombination der Feuerwiderstandsklassen mit den Baustoffklassen A = unbrennbar und B = brennbar, gibt es nicht mehr. Statt dessen werden die neuen Forderungen materialneutral als Tragkraft, Isolierung usw. innerhalb einer bestimmten Zeit ausgedrückt. Dies wirkt sich positiv auf den Einsatz von Holz aus. Im Vordergrund steht das Schutzziel, das verfolgt wird.

Nach alten Normen gab es ein starres Paket von Anforderungen die an die Feuerwiderstandsklassen gestellt wurden. Demgegenüber ergibt sich nach der europäischen Klassifizierung die Möglichkeit im Einzelfall verschiedene Leistungskriterien miteinander zu verknüpfen oder auf einzelne zu verzichten.

#### Erläuterungen und Gegenüberstellung der europäischen Bezeichnungen:

Definitionen der Klassifizierungskriterien und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung des Feuerwiderstands nach EN 13501-2\* und EN 13501-3\*:

Herleitung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
R (Résistance)	Tragfähigkeit	zur Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E (Étanchéité)	Raumabschluß	
I (Isolation)	Wärmedämmung unter Brandeinwirkung	
W (Radiation) { <i>Ursprünglich abgeleitet von „Watt“</i> }	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	{ <i>zusätzlich erforderliches Kriterium bei Brandwänden und Wänden zur Begrenzung von Brandbekämpfungsabschnitten</i> }
S (Smoke)	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate)	Rauchschutztüren (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen), Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
C... (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft ggf. mit Anzahl der Lastspiele) einschl. Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüsse einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
P { <i>Ursprünglich abgeleitet von „Power“</i> }	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub>	unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
... 200, ... 300, ... (°C)	Angabe der Temperaturbeanspruchung	Rauchschutztüren
i→o i←o i↔o (in – out) { <i>innen – außen</i> }	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nichttragende Außenwände, Installationsschächte/ -kanäle, Lüftungsanlagen/ -klappen
A →b a←b a↔b (above – below) { <i>unter – oben</i> }	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken

Tabelle 4.4.1-5 Bezeichnung nach EN nach [28]

#### **4.4.1.5 Begrenzung der Brandentwicklung, Baustoffe**

In der Finnischen Brandschutznorm werden hier die Baustoffanforderungen von Innen- und Außenflächen der Bauteile genannt. Dabei wird die Brennbarkeit der Oberflächenmaterialien von Außen- und Innenwänden, Decken- und Fußbodenbelägen nach EN Norm 13501-1 unterschieden.

*Baustoffe die in keiner Weise zu einer gefährlichen Brandentwicklung führen, sollen bei der Errichtung von Gebäuden genutzt werden.*

##### Innere Oberflächen

*Wenn die Brandeigenschaften von Wänden, Decken und Böden festgelegt werden sollen, ist der Beitrag zum Brandverlauf, Zeitpunkt des Flashovers, die Abstrahlung von Hitze, Produktion von Rauch und flammender Tröpfchenbildung der verwendeten Materialien zu beachten.*

*Die Oberflächen von Innenwänden und Decken bei Gebäuden der Klasse P2, sind mit Brandschutzbekleidungen der Materialklasse A2-s1, d0 zu versehen, wenn die tragende Konstruktion mit Materialien der Klasse C-s2, d1 (oder noch schlechter) errichtet wurde. Diese Anforderung gilt nicht für lasttragende Bauteile der Feuerwiderstandsklasse R 30.*

*Die Funktion von Brandschutzbekleidungen ist die, dahinterliegende Konstruktionen vor einer Entzündung, Verkohlung oder anderem Schaden in der Anfangsphase des Feuers zu (10 Minuten) schützen.*

*Sind Wohnräume mit automatischen Löscheinrichtungen ausgerüstet, können weniger strenge Anforderungen an innere Oberflächen gestellt werden. Dies gilt jedoch nicht für Gebäude der Klasse P2 mit 3 bis 4 Stockwerken.*

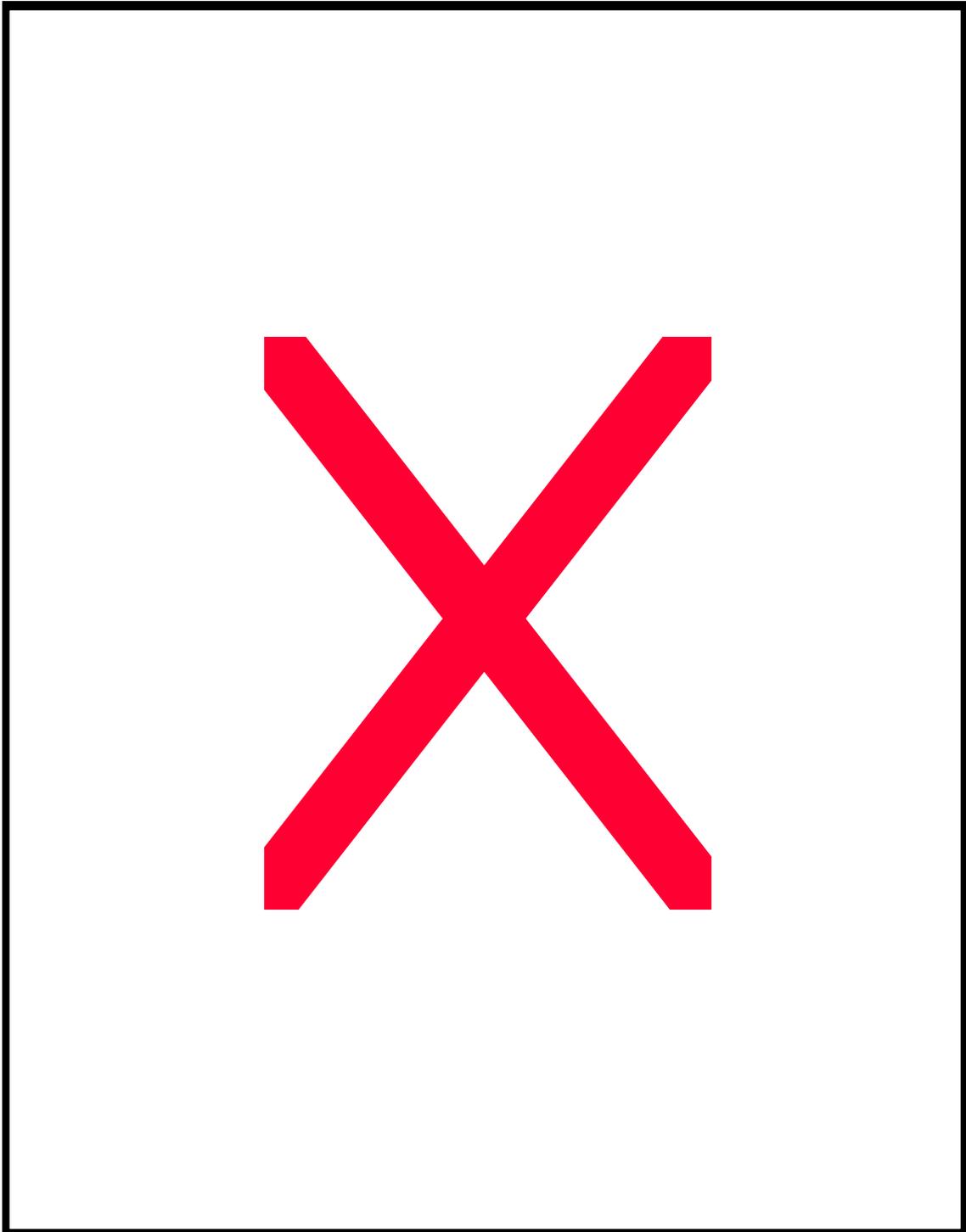


Tabelle 4.4.1-6: Baustoffanforderungen innerer Bauteiloberflächen

### Außenwände

*Baustoffe die für Außenwände der Gebäudeklasse P1 verwendet werden, sollen aus Materialien der Brennbarkeitsklasse B-s1, d0 bestehen.*

*Wärmeisolation, die in Brennbarkeitsklasse B-s1, d0 eingeordnet ist, soll in der Art eingebaut und damit geschützt werden, daß bei einem Feuerüberschlag von einem Brandabschitt zum nächsten und von einem Gebäude zum nächsten Gebäude, ein Eindringen von Feuer in die Isolation nicht möglich ist.*

*Die Rahmenkonstruktion von Außenwänden bei Gebäuden mit nicht mehr als zwei Stockwerken und Rahmenkonstruktionen von nicht lasttragenden Außenwänden bei Gebäuden mit mehr als zwei Stockwerken, dürfen mit Baustoffen der Brennbarkeitsklasse D-s2,d2 hergestellt werden.*

*Wenn Rahmenkonstruktionen mit Baustoffen der Klasse D-s2, d2 hergestellt sind, ist die Wärmeisolation aus Baustoffen der Klasse A2-s1, d0 herzustellen.*

*Die Rahmenkonstruktion von lasttragenden Außenwänden in Gebäuden mit mehr als zwei Stockwerken ist mit Baustoffen der Klasse A2-s2, d0 herzustellen. Dies gilt bei Gebäuden der Klasse P1.*

*Besondere Anforderungen an Baustoffe der Außenwände bei Gebäuden der Klasse P2 mit nicht mehr als zwei Stockwerken sind speziell nur dann gefordert, wenn das Material als innere Oberfläche der Wand benutzt wird, als Schutzbekleidung bei Oberflächen von Lüftungsöffnungen oder als eine Außenbekleidung der Wand.*

---



Tabelle 4.4.1-7: Baustoffanforderungen von Außenwände

*Die Rahmenkonstruktion von Außenwänden bei Gebäuden der Klasse P2 mit 3 bis 4 Geschossen kann aus Baustoffen der Brennbarkeitsklasse D-s2, d2 hergestellt werden. Das Material der Wärmedämmung und anderer füllender Materialien soll in diesem Fall aus Baustoffen der Klasse A2-s1, d0 hergestellt sein.*

*In Wohn- oder Bürogebäuden der Gebäudeklasse P1 mit nicht mehr als 4 Stockwerken, Wohn- oder Bürogebäude der Gebäudeklasse P2 mit 3 bis 4 Stockwerken und Institutsgebäude (Krankenhäuser) der Klasse P2 dürfen Baustoffe der Klasse D-s2, d2 für Außenoberflächen von Außenwänden und Außenflächen von Ventilationsöffnungen verwendet werden wenn:*

- das Gebäude mit automatischen Löschanlagen (Sprinkler) ausgestattet ist und*
- die Wand in der Art und Weise konstruiert ist, daß ein Eindringen von Feuer in die Wand durch äußere Entzündung nicht möglich ist.*

#### Darstellung der Bezeichnungen nach EN 13501:

Im Grundlagendokument Brandschutz, das auf das vereinte Europa zurückzuführen ist, werden neue Baustoffklassen vorgestellt. Das als EUROCLASSES bezeichnete Harmonisierungsgerüst differenziert das Brandverhalten von Baustoffen noch stärker als das alte System. In Finnland sind die EUROCLASSES im Rahmen von Harmonisierungsarbeiten in das nationale Bauordnungsrecht übernommen worden.

In den folgenden Tabellen werden die europäischen Kennzeichnungen erörtert.

„Übersetzungstabelle“ für Baustoffklassen:

Die nach EN 13501-1 klassifizierten Eigenschaften zum Brandverhalten von Baustoffen (ausgenommen Bodenbeläge) entsprechen folgenden bauaufsichtlichen Anforderungen in bauaufsichtlichen Verwendungsvorschriften

(ausgenommen Bodenbeläge)

Bauaufsichtliche Benennungen	Zusatzanforderungen		Europäische Klasse nach EN 13501-1	Klasse nach DIN 4102-1
	kein Rauch	kein brenn. Abfallen/ Abtropfen		
Nicht-brennbar	X	X	A1	A1
	X	X	A2 -s1 d0	A2
Schwerentflammbar	X	X	B, C s1 d0	B1 <sup>1)</sup>
		X	B, C s3 d0	
	X		B, C s1 d2	
			B, C s3 d2	
Normalentflammbar		X	D -s3 d0 E	B2 <sup>1)</sup>
			D -s3 d2	
			E -d2	
Leichtentflammbar			F	B3

<sup>1)</sup> Angaben über hohe Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen/ Abfallen im Verwendbarkeitsnachweis und in der Kennzeichnung

Tabelle 4.4.1-8: Europäische Baustoffbezeichnungen

Die nach EN 13501-1 klassifizierten Eigenschaften zum Brandverhalten von Bodenbelägen entsprechen folgenden bauaufsichtlichen Anforderungen in bauaufsichtlichen Verwendungsvorschriften:

(Bodenbeläge)

Bauaufsichtliche Benennungen	Europäische Klasse nach EN 13501-1	Klasse nach DIN 4102-1
Nichtbrennbar	A1 <sub>fl</sub>	A1
	A2 <sub>fl</sub> s1	A2
Schwerentflammbar	C <sub>fl</sub> s1	B1
Normalentflammbar	E <sub>fl</sub>	B2
Leichtentflammbar	F <sub>fl</sub>	B2

Tabelle 4.4.1-9: Baustoffbezeichnungen für Bodenbeläge

Erläuterungen der Zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung des Brandverhaltens von Baustoffen (einschl. Bodenbelägen) nach EN 13501-1:

Herleitung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
S (Smoke)	Rauchentwicklung	Anforderungen an die Raumentwicklung
D (Droplets)	Brennendes Abtropfen/ Abfallen	Anforderungen an das brennende Abtropfen/ Abfallen
....fl (Floorings)		Brandverhaltensklasse für Bodenbeläge

Tabelle 4.4.1-10: Kennzeichnung Europäischer Kurzzeichen

#### 4.4.1.6 Vermeidung der Brandausbreitung auf benachbarte Gebäude

Die Ausbreitung von Feuer von Gebäude zu Gebäude, darf kein leibliches Leben gefährden, Besitztum zerstören oder andere soziale Folgen haben.

Der Abstand zwischen Gebäuden soll so bemessen sein, daß ein Feuerübersprung auf benachbarte Gebäude verhindert werden kann und damit die Gefährdung durch ein regionales Feuer klein bleibt. Wenn der Abstand zwischen Gebäuden kleiner als 8 m ist, ist die Feuerausbreitung durch besondere Konstruktionen und andere Mittel zu verhindern.

##### Brandwände

Wenn Bauwerke in der Nähe oder dicht angrenzend zu anderen Gebäuden stehen, so daß die Ausbreitung von Feuer möglich wäre, sollte eine Brandwand errichtet werden.

Gebäude die sich alle auf einem Grundstück befinden, werden aus brandschutztechnischer Sicht als ein einzelnes Gebäude betrachtet. In diesem Fall ist die Bildung üblicher Brandabschnitte ausreichend, vorausgesetzt die Gebäude gehören zur gleichen Gebäudeklasse. Die Einheit, die auf diese Weise gebildet wurde, fällt unter die Beschränkungen die an einzelne Gebäude dieser Gebäudeklasse gestellt werden.( bezüglich brutto Geschoßfläche und Anzahl der Nutzer). Wenn Außenwände als Brandwände benutzt werden sollen, ist auf den unsymmetrischen Aufbau der Konstruktion und den Effekt der Hitzestrahlung und mögliche Fensteröffnungen zu achten.

Brandwände in Gebäuden der Klasse P1 sind aus Baustoffen der Klasse A1 herzustellen.

CLASS REQUIREMENTS FOR FIRE WALLS					
Fire class of the building					
	P1			P2	P3
Fire load MJ/m <sup>2</sup>					
	Over 1200	600–1200	under 600		
Column	1	2	3	4	5
FIRE WALL	EI-M 240	EI-M 180	EI-M 120	EI-M 120	EI-M 60

Note to the Table:  = building material of class A1 is required

Tabelle 4.4.1-11: Anforderungen an Brandwände

### Vergleich MBO 2002:

Die baulichen Anforderungen, die die Musterbauordnung an Brandwände stellt, unterscheiden sich von denen, die in der finnischen Norm vorgeschrieben sind.

Geht man in der deutschen Bauordnung von Feuerwiderstandszeiten von 60 und 90 Minuten aus, gibt es in Finnland mehr Abstufungen zwischen den einzelnen Gebäudeklassen. Die jeweils vorgeschriebene Feuerwiderstandsdauer ist höher als in der MBO.

So beträgt beispielsweise nach finnischer Forderung die Feuerwiderstandsdauer der Brandwand in Gebäuden der Klasse P2 mit 3-4 Stockwerken 120 Minuten. In der vergleichbaren Gebäudeklasse 4 der deutschen Bauordnung sind hingegen nur 60 Minuten Feuerwiderstand für die Brandwand („brandwandähnlich“) gefordert.

*MBO § 28 (2):*

*(2) <sup>1</sup> Brandwände müssen auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung von außen feuerbeständig mit der Anforderung N sein.*

*<sup>2</sup> Anstelle von Brandwänden nach Satz 1 sind zulässig*

*1. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmende Wände mit der Anforderung G, die im übrigen Anforderungen des Satzes 1 entsprechen,*

*2. in den Gebäudeklassen 2 und 3 hochfeuerhemmende Wände mit der Anforderung G,*

Gemeinsamkeiten gibt es in der Forderung nichtbrennbare Baustoffe in den Gebäudeklassen zu verwenden, die durch ihre Nutzung oder bauliche Höhe ein erhöhtes Risiko darstellen. So sind Brandwände in der Gebäudeklassen 5 der MBO und P1 der finnischen Norm, mit Baustoffen der EN Klasse A1 herzustellen (oder Baustoffanforderung N).

In beiden Vorschriften müssen Brandwände mechanischen Belastungen standhalten.

Die Zulassung brennbarer Materialien in Brandwänden, ist in den vergleichbaren Gebäudeklassen P2, P3 und GK 2, 3, 4 gleichfalls erlaubt.

Allgemein kann man jedoch sagen, daß die Vorschriften für Brandwände in der Musterbauordnung umfangreicher und ausführlicher sind.

In der finnischen Brandschutznorm fehlen im Vergleich zur MBO folgende Angaben:

- minimaler Abstand einer Brandwand als Gebäudeabschlußwand zur Grundstücksgrenze
- maximaler Abstand von Brandwänden zur inneren Unterteilung von Gebäuden (in MBO max. 40 m)
- Regelungen bei Abkapselungen von Betriebsteilen zu Wohnteilen in Gebäuden mit unterschiedlicher Nutzung

- bauliche Ausführung und Anpassung an andere Bauteile

Vergleich MBO § 28 (3):

*(3) <sup>1</sup> Brandwände müssen bis zum Dach durchgehen und in allen Geschossen übereinander angeordnet sein.*

*<sup>2</sup> Abweichend davon dürfen anstelle innerer Brandwände Wände geschoßweise versetzt angeordnet werden, wenn*

*1. die Wände im übrigen Absatz 2 Satz 1 entsprechen,*

*2. die Decken, soweit sie in Verbindung mit diesen Wänden stehen, feuerbeständig mit der Anforderung N sind und keine Öffnungen haben,*

*3. die Bauteile, die diese Wände und Decken unterstützen, feuerbeständig mit der Anforderung N sind,*

*4. die Außenwände in der Breite des Versatzes in dem Geschoß oberhalb oder unterhalb des Versatzes feuerbeständig mit der Anforderung G sind und*

*5. Öffnungen in den Außenwänden im Bereich des Versatzes so angeordnet oder andere Vorkehrungen so getroffen sind, daß eine Brandübertragung in andere Brandabschnitte nicht zu befürchten ist.*

- Regelung von Öffnungen und Verglasungen in Brandwänden
- Brandwände und der Anschluß an das Dach: Vergleich MBO § 28 (4):

*(4) <sup>1</sup> Brandwände sind 30 cm über die Bedachung zu führen oder in Höhe der Dachhaut mit einer beiderseits 50 cm auskragenden Platte abzuschließen, die feuerbeständig mit der Anforderung N ist; darüber dürfen brennbare Teile des Daches nicht hinweggeführt werden.*

*<sup>2</sup> Bei Gebäuden geringer Höhe sind Brandwände mindestens bis unter die Dachhaut zu führen.*

#### **4.4.1.7 Evakuierung im Brandfall**

In diesem Abschnitt der finnischen Brandschutznorm werden alle baulichen Anforderungen von Rettungswegen und Notausgängen erörtert.

*Es muß eine sichere Evakuierung eines Gebäudes im Brandfall ermöglicht werden. Ein Gebäude soll mit einer angemessenen Anzahl geeigneter Ausgänge versehen sein, die genügend Raum bieten und leicht zu passieren sind ; so daß die Evakuierung des Gebäudes in der dafür vorgesehenen Zeit möglich ist.*

*Notausgänge sollen im Brandfall ins Freie zur ebenen Erde oder zu anderen sicheren Plätzen führen.*

*Fahrstühle oder ähnliche Einrichtungen gelten nicht als Notausgänge. Der Transport unbeweglicher oder verletzter Personen auf einer Trage muß von jedem Ort des Gebäudes möglich sein. Gänge in Evakuierungsbereichen, die zu Notausgängen führen, müssen geräumig und leicht zu passieren sein. Gänge die zu Notausgängen führen, können über Treppen in andere Stockwerke führen. Als Rettungsweg ist dieser Gang nur dann zulässig, wenn die verbundenen Stockwerke zum gleichen Evakuierungsbereich gehören.*

*Entfernung zu Notausgängen*

*Die Entfernung zum Notausgang von jedem Ort im Evakuierungsbereich, ergibt sich mit dem kürzesten möglichen Weg. Wenn zwei separate Notausgänge durch Rettungswege erreicht werden sollen und die Rettungswege teilweise die gleiche Wegführung haben, ist der gemeinsamer Teil der Rettungsweglänge durch zwei zu teilen.*

*Die maximal Entfernung zum nächst gelegenen Notausgang:*

MAXIMUM LENGTH OF PASSAGEWAYS

TO EXIT

<i>Use</i>	<i>Length of passageway (m)</i>
<i>Dwellings</i>	
<i>– one exit</i>	30
<i>– several exits</i>	45
<i>Accommodation premises</i>	
	30
<i>Institutions</i>	
	30
<i>Assembly and business premises</i>	
<i>– in general</i>	45
<i>– shops</i>	30
<i>Office premises</i>	
<i>– in general</i>	45
<i>– only one exit</i>	30
<i>Production and storage premises and garages</i>	
<i>– in general</i>	45
<i>– only one exit</i>	30

Tabelle 4.4.1-12: Rettungsweglängen nach finnischer Brandschutznorm

Die Länge der in der Tabelle aufgeführten Rettungswege, darf überschritten werden, wenn:

- die Rettung im Erdgeschoß durch zu öffnende Fenster möglich ist oder
- das Gebäude mit automatischen Löschsystemen (Sprinkler) ausgerüstet ist.

Kürzere Weglängen als in der Tabelle aufgeführt, könne erforderlich sein, wenn die außergewöhnliche Gefahr einer raschen Entzündung und Ausbreitung von Feuer, infolge der speziellen Nutzung von Gebäuden, die sichere Evakuierung gefährdet.

#### Anzahl notwendiger Außgänge (Rettungswege)

Jeder Evakuierungsbereich in dem sich Menschen aufhalten können, soll mit zwei unabhängigen, separaten und entsprechend positionierten Ausgänge ausgerüstet sein.

In Gebäuden mit nicht mehr als 8 Geschossen ist ein Notausgang gestattet, wenn die Evakuierung in den Gebäudekategorien Wohnung , Büro-, Lager- und Produktionsräumen mit nicht mehr als 300 h- m<sup>2</sup> erfolgt.

In diesen Fällen muß der Evakuierungsbereich mit einer Feuerleiter/Feuertreppe (Fire escape) ausgerüstet sein, über die die zu Evakuierenden sich selbst in Sicherheit bringen oder durch Rettungsmannschaften gerettet werden können.

Ein entsprechend positionierter Balkon oder ein zu öffnendes Fenster gilt als Rettungsweg, wenn die Flucht im Brandfall über eine fest angelegte Feuerleiter (fixed ladder) oder über andere Gebäudeteile möglich ist.

Wenn die Absprunghöhe von einem Balkon oder Fenster im Brandfall nicht höher als 3,50 m ist, ist eine befestigte Leiter nicht erforderlich.

Ist die Absprunghöhe von einem Balkon oder Fenster im Brandfall höher als 3,50 m ( besonders in den Gebäudeklassen P2 und P3 mit 2 Geschossen), ist eine befestigte Leiter zur Gewährleistung der Sicherheit im Evakuierungsfall erforderlich.

Soll ein Fenster als Fluchtweg benutzt werden, so muß es leicht zu öffnen sein und mindestens eine Höhe von 600mm und Breite von 500 mm haben, so daß die Summe von Höhe und Breite mindestens 1500 mm beträgt.

In kleineren Räumlichkeiten die zur Unterbringung dienen und kleineren Versammlungs- und Geschäftsräumen, kann ein Notausgang erlaubt werden, wenn die Sicherheit der Nutzer dadurch nicht gefährdet ist. Zusätzlich ist aber in jedem Fall die Evakuierung über eine Feuerleiter zu garantieren.

### Vergleich MBO 2002

Für die Organisation des Löschangriffs der Feuerwehr und für eine sichere Evakuierung der Nutzer von Gebäuden, sind Rettungswege für den Brandfall auch in der Musterbauordnung vorgeschrieben. Das deutsche Bauordnungsrecht unterscheidet dabei zwischen erstem und zweitem Rettungsweg.

§ 17(4) Satz 1:

*(4) <sup>1</sup>Für Nutzungseinheiten mit mindestens einem Aufenthaltsraum, wie Wohnungen, Praxen, selbständige Betriebsstätten, müssen in jedem Geschoß mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege vorhanden sein; beide Rettungswege dürfen jedoch innerhalb eines Geschosses über denselben notwendigen Flur führen.*

Gleiches wird auch in der finnischen Norm gefordert; hier müssen für jeden Evakuierungsbereich zwei unabhängige Ausgänge bereitgestellt werden. Auch die Möglichkeit, daß Teile der unabhängigen Rettungswege über gemeinsame Wegstrecken führen dürfen ist in beiden Bauordnungen gleich.

MBO §17(4):

*<sup>2</sup>Der erste Rettungsweg muß für Nutzungseinheiten, die nicht zu ebener Erde liegen, über mindestens eine notwendige Treppe führen.*

*<sup>3</sup>Der zweite Rettungsweg kann eine weitere notwendige Treppe, eine Außentreppe oder eine mit Rettungsgeräten der Feuerwehr erreichbare Stelle der Nutzungseinheit sein.*

*<sup>5</sup>Gebäude, deren zweiter Rettungsweg über Rettungsgeräte der Feuerwehr führt und bei denen die Oberkante der Brüstung von zum Anleitern bestimmten Fenstern oder Stellen mehr als 8 m über der Geländeoberfläche liegt, dürfen nur errichtet werden, wenn die Feuerwehr über die erforderlichen Rettungsgeräte, wie Hubrettungsfahrzeuge, verfügt.*

Bei mehrgeschossigen Gebäuden ist der erste Rettungsweg immer erforderlich und muß über eine Treppe in eigenem Treppenhaus ins Freie auf ebene Erde führen. Die Möglichkeit, daß nur ein baulicher Rettungsweg erforderlich sein kann, ist auch in Finnland gegeben. Dies hängt von der Gebäudeklasse und der Nutzung des Gebäudes ab. Die Maßnahmen die dann für den Zweiten Rettungsweg notwendig werden, sind mit den in Deutschland angewendeten Methoden vergleichbar.

Auch hier besteht die Möglichkeit ab einer bestimmten Höhe, die Rettung durch Fensteröffnungen mit Feuerwehrleitern durchzuführen. Allerdings unterscheiden sich hier die Rahmenbedingungen voneinander.

In Finnland müssen die Fenster die Mindestmaße 0,6m x 0,5m haben, wohingegen in der Musterbauordnung größere Fenster gefordert werden (0,9m x 1,2m). Auch sind in der finnischen Brandschutzordnung keine Angaben über die maximale Brüstungshöhe

für die „Rettungsfenster“ zu finden. In Deutschland darf laut MBO 1,20 über OK-Fußboden nicht überschritten werden.

In beiden Bauordnungen gibt es die Möglichkeit den zweiten Rettungsweg über außenliegende und fest angebrachte Feuertreppen zu führen.

Die maximale Rettungsweglänge nach MBO beträgt 35m. Dabei ist die Entfernung vom möglichen Aufenthaltsort bis zum Treppenraum oder ins Freie gemeint. Eine detaillierte Differenzierung unterschiedlicher Rettungsweglängen, wie dies in der finnischen Norm geschieht, ist in der Musterbauordnung nicht zu finden. Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß die Musterbauordnung nur empfehlende Weisungen gibt. Die konkrete Durchführung und Festlegung der Rettungsweglängen passiert erst durch die Landesbauordnungen und durch Verordnungen für Sonderbauten und Gebäude besonderer Art und Nutzung.

Vergleich von Rettungsweglängen anhand der Vorschriften des Landes Nordrhein-Westfalen und Finnland:

<u>Bauordnung/Sonderbauverordnung NRW</u>		<u>Brandschutznorm Finnland</u>	
BauO NW:	35m	Dwellings	
		– one exit	30m
		– several exits	45m
		Accommodation premises	30m
Hochhausverordnung:	25m		
Krankenhäuser:	30m	Institutions	30m
Versammlungsräume:		Assembly and business premises	
vom Besucherplatz bis Ausgang	25m	– in general	45m
vom Flur bis Treppenraum	30m	– shops	30m
Verkaufsstätten:			
bis Ausgang, Flur, Treppenraum	25m		
Gaststätten:			
von jedem Platz bis Hauptgang	5m		
bei mehr als 400 Plätze	25m		
Garagen:		Production and storage premises, garages	
unterirdisch	30m	– in general	45m
oberirdisch	50m	– only one exit	30m
Schulen:	25m	Office premises	
		– in general	45m
Sporthallen	35m	– only one exit	30m

Die Rettungsweglängen von Wohnungen und Krankenhäuser unterscheiden sich nur geringfügig. Deutliche Abweichungen sind bei Garagen und Versammlungsstätten vorhanden.

Durch die Unterteilung in allgemeine Regelung (in general) und nur ein baulicher Rettungsweg (only one exit), ist es möglich die Weglängen zu variieren und den vorhandenen Verhältnissen anzupassen. Auch das Vorhandensein von brandschutztechnischen Anlagen und besonderen Gefährdungspotentialen, macht unterschiedliche Weglängen möglich. Diese Regelung ist in Deutschland nicht erlaubt, da der Einsatz von Feuerlöschanlagen keine Minimierung der vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen zulässt. Sie können Teil der Schutzmaßnahmen sein.

#### **4.4.1.8 Rauchmelder, Lösch- und Entrauchungsanlagen**

##### Rauchmelder und automatischer Feueralarm

Rauchmelder sollen in folgenden Räumlichkeiten installiert werden:

- Räumlichkeiten für Unterkünfte für nicht mehr als 50 Personen
- Institute/Anstalten mit nicht mehr als 25 Betten
- Tagespflegeeinrichtungen die für mehr als 25 Personen eingerichtet sind
- Gebäude der Klasse P2 mit 3 bis 4 Stockwerken
- Wohnungen für spezielle Bevölkerungsgruppen, z.B. ältere Menschen

##### Entrauchungsanlagen

Entrauchung durch:

- Ventilatoren
- Ventilation durch leicht zu öffnende Fenster
- Ventilation durch Fenster im oberen Teil eines Raumes

In Gebäuden der Klasse P2 und P3 mit jeweils zwei Stockwerken sollte eine Entrauchung im zweiten Stock über Fenster und sonstigen Öffnungen (mindestens 0,5m<sup>2</sup>) möglich sein.

In Gebäuden mit nicht mehr als acht Stockwerken sollte die Entrauchung über Fenster oder Öffnungen von mindestens 1m<sup>2</sup> Fläche möglich sein.

Wenn eine automatische Entrauchungsanlage in den zu sichernden Brandabschnitten installiert ist und diese im Brandfall auch selbständig Feueralarm gibt, sind Einschränkungen oder Abweichungen hinsichtlich:

- der Regulierungen der Bruttogeschossfläche und Fläche der Brandabschnitte sowie
  - der Regulierungen, die die Konstruktion betreffen (langsamer Temperaturanstieg darf in die Planung einfließen)
- möglich.

### Löschanlagen

*Ein Gebäude soll, wenn erforderlich, mit Feuerlöschgeräten ausgerüstet sein, so daß die Bewohner zu Beginn des Brandes selbständig die Löscharbeiten beginnen können.*

*Bei Gebäuden mit mehr als 8 Stockwerken und bei Gebäuden der Klasse P2, mit 3 und 4 Stockwerken, sollte in jedem Treppenhaus ein Feuerlöscher vorhanden sein.*

*Wenn ein automatisches Feuerlöschsystem im Gebäude oder in den Brandabschnitten installiert ist, sind Einschränkungen hinsichtlich:*

- der Regulierungen der Bruttogeschossfläche und Fläche der Brandabschnitte,*
- der Regulierungen der Fluchtweglänge zu den Ausgängen,*
- der Beurteilung der Brandlasten*
- der Gestaltung und Bemessung der Konstruktion (langsamer Temperaturanstieg und Kühlung der lasttragenden Bauteile)*
- der Verwendung von Baustoffe für Bauteiloberflächen (Brandeigenschaften)*
- der Regulierungen von Rettungswegen (längere Weglängen)*

*möglich.*

### Vergleich mit MBO 2002

Im deutschen Bauordnungsrecht werden technische Brandschutzanlagen in verstärktem Maße in Sonderbauten und in Bauten besonderer Art und Nutzung eingesetzt. Infolge der Nutzung und der Zweckbestimmung dieser Bauwerke besteht ein erhöhtes Brandrisiko (z.B. Geschäftshäuser, Verkaufsstätten, Versammlungsstätten, Industriebauten u.a.). Der bauliche Brandschutz soll hier durch technische Brandschutzanlagen ergänzt werden.

Diese Beschreibung läßt erkennen, daß der Einsatz von Brandschutzanlagen in Deutschland, weitestgehend nur in Verbindung mit Brandschutzkonzeptionen von Sonderbauten gesehen wird. Die Nutzung für Gebäude normaler Art und Nutzung ist nicht vorgeschrieben, kann aber nach entsprechender Einschätzung des Brandschutzplaners erfolgen. So ist es letztendlich auch zu erklären, warum in der Musterbauordnung keine Angaben, Regelungen und Vorschriften für Brandschutzanlagen zu finden sind. Diese sind alle in den entsprechenden Sonderbauverordnungen enthalten.

Beispiel Verkaufsstättenverordnung – VKVO 1997:

*§ 16 Rauchabführung*

*(1) In Verkaufsstätten ohne Sprinkleranlage müssen Verkaufsräume ohne notwendige Fenster (...) sowie Ladenstraßen Rauchabzugsanlagen haben.*

*(2) In Verkaufsstätten mit Sprinkleranlagen müssen Lüftungsanlagen in Verkaufsräumen und Ladenstraßen im Brandfall so betrieben werden können, daß sie nur entlüften (...).*

Nach der Musterbauordnung sind Brandschutzanlagen keine bauordnungsrechtlich geregelten Standards, in der Art wie sie in der finnischen Brandschutznorm vorkommen.

Die Einrichtung von Brandschutzanlagen für Gebäude geringer bis mittlerer Höhe, beginnend beim Einfamilienhaus bis hin zum 5 geschossigen Mehrfamilienhaus, kann im Rahmen eines Brandschutzkonzeptes sinnvoll sein. Im mehrgeschossigen Holzbau ist die Verwendung von Anlagentechnik im europäischen und internationalen Baugeschehen bereits Normalität und bauordnungsrechtlich verankert. Als Beispiel wäre hier eine Forderung der finnischen Brandschutznorm zu nennen, die die Vorhaltung von Handfeuerlöschern in Treppenhäusern von über 8 geschossigen Gebäuden und Gebäuden der Klasse P2 mit 3 bis 4 Stockwerken vorschreibt. Erste wirksame Löschangriffe können schon durch die Nutzer des Gebäudes erfolgen, wenn die Branderkennung rechtzeitig erfolgt.

Es ist daher mehr als sinnvoll, beginnend bei Einfamilienhäusern, Anlagen für den vorbeugenden Brandschutz auch dann vorzusehen, wenn sie bauaufsichtlich nicht gefordert sind. [10]

#### **4.4.1.9 Weitere baurechtliche Anforderungen der finnischen Norm**

Evakuierung

- Konstruktion von Ausgängen
- Kalkulation der Evakuierungszeit

Organisation der Lösch- und Rettungsarbeiten

- Zuwegung zu Grundstücken (für Löschangriff)
- Sicherheitsmaßnahmen

#### 4.4.2 Auswirkungen auf den mehrgeschossigen Holzbau in Finnland

Aus einer Fachzeitschrift der finnischen Holzindustrie:

„Im Jahr 2010 wird Holz in Europa das führende Material bei Systemlösungen im Bereich des Hausbaus und bei Verbraucherprodukten für qualitätsbewußtes Wohnen sein“, so eine Kernaussage der *Vision 2010* der finnischen Holzwarenindustrie. Gemeinsames Ziel ist es, in den wichtigsten Märkten Europas den Prokopf-Verbrauch von Holz nahe an das Niveau Nordamerikas und Japans anzuheben. [23]

„ Die neuen Einfamilienhäuser und mehrstöckigen Wohnhäuser aus Holz bieten einen ganz anderen Wohnkomfort als die Holzhäuser früherer Zeiten. So werden die Wohnungen erheblich besser schallgedämmt. Für *Brandsicherheit* ist durch feuerfeste Oberflächen sowie durch Feuerlöschanlagen und Fluchtwege gesorgt“, erklärt Kuismanen. [23]

Kimmo Kuismanen ist Architekt mit eigenem Büro und Verfechter der *Vision 2010*.

Die Aussagen des finnischen Architekten Kimmo Kuismanen, lassen die grundsätzliche Einstellung zum Holzbau in nordischen Ländern erkennen. Eine lange Holzbautradition, verbunden mit erheblichen Rohstoffquellen und ökologisch- energetische Grundsatz Einstellungen beeinflussen und bewirken diesen Zustand. Kuismanen ist davon überzeugt, daß Holz in den kommenden Jahren auch im Bürohausbau Bedeutung gewinnen wird. Dabei ist eine vorurteilsfreie Anerkennung von Holz als vollwertiges Baumaterial bei den beteiligten Architekten, ausführenden Firmen und letztendlich bei den Verbrauchern eine wichtige Voraussetzung.

In seiner Aussage hat der finnische Architekt drei wichtige und entscheidende Grundsätze des Brandschutzes im mehrgeschossigen Holzbau genannt: Feuerfeste Oberflächen, Feuerlöschanlagen und Fluchtwege sind Voraussetzungen für eine sichere Holzbauweise. In der zuvor beschriebenen finnischen Brandschutznorm finden diese Grundsätze Verwirklichung.

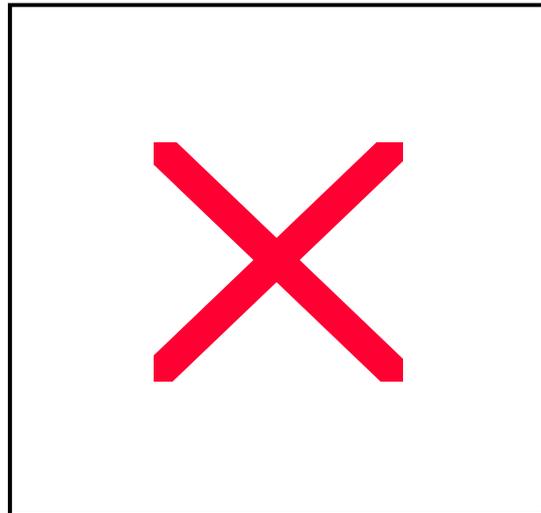


Bild 4.4.2-1: Vier Stockwerke sind im finnischen Holzbau möglich; Wohnanlage in Lahti 1998

In den nächsten Abschnitten sollen wichtige und entscheidende bauliche Anforderungen genannt werden, welche die Bauausführung mehrgeschossiger Holzhäuser beeinflussen .

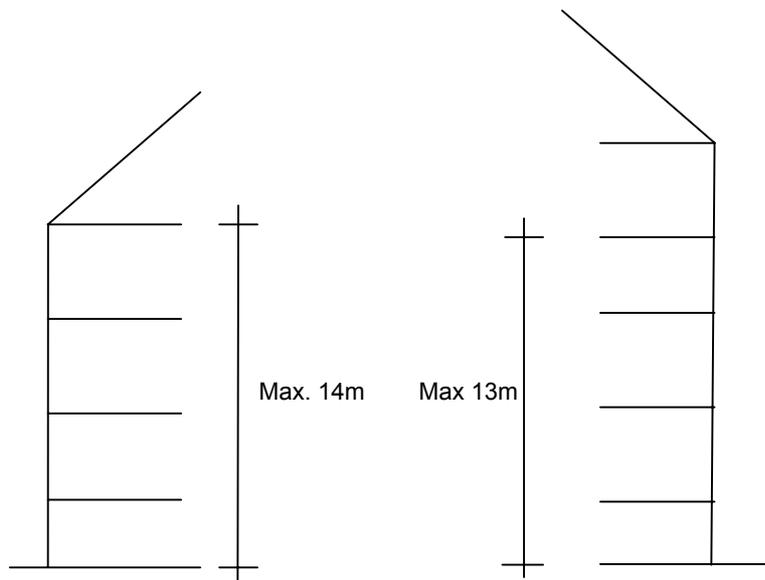
#### 4.4.2.1 Gebäudeklassen

Die für den mehrgeschossigen Holzbau zutreffende Gebäudeklasse ist die Klasse P2. Die bauordnungsrechtlichen Beschränkungen lassen folgende Regelungen zu:

- Anzahl der Geschosse: maximal 4 für Wohn- und Bürogebäude
- Gebäudehöhe: maximal 14m für Wohn- und Bürogebäude
- Anzahl der Nutzer: keine Einschränkungen, da mehr als 2 Geschosse

*Die Gebäudehöhe ist die Distanz zwischen dem Schnittpunkt der Fassade mit dem Traufbereich des Daches und dem Schnittpunkt der Fassade mit dem Erdboden. Wenn erforderlich, ist mit den Höhen der Eckpunkte des Gebäudes zu kalkulieren.*

Diese Regelung unterscheidet sich von der deutschen Definition der Gebäudehöhe, wo die Gebäudehöhe mit der Oberfläche des letzten oberen Fußbodens endet. Es ist so zu erklären, warum trotz einer maximalen Höhe von 14m, in der Gebäudeklasse P2 nur 4 Geschosse möglich sind. Würde man die finnische Regelung in Deutschland anwenden, könnte man bei einer angenommenen Raumhöhe des letzten Geschosses von 2,50m, eine maximale Gebäudehöhe von 15,50m erreichen.



maximale Gebäudehöhe in Finnland  
4 Geschosse in der Klasse P2

maximale Gebäudehöhe in Deutschland  
5 Geschosse in der Klasse 4

- Baurechtlich sind in Finnland 4 Geschosse für Büro- und Wohnhäuser zugelassen. Andere Nutzungszwecke erlauben höchstens zwei Geschosse. Der Mehrgeschossige Holzbau erstreckt sich in Finnland somit auf den Wohn- und Bürobereich.

#### 4.4.2.2 Anforderungen an tragende Bauteile

Für lasttragende Konstruktionen in Gebäuden mit 3-4 Stockwerken der Klasse P2, gelten folgende Anforderungen:

- Stockwerke: **R60** Konstruktionsteile brennbar,  
Dämmung aus Baustoffen der Klasse A2-s1, d0
- Kellergeschoss: **R120** insgesamt aus Baustoffen der Klasse A2-s1, d0

Die Feuerwiderstandszeit lasttragender Bauteile in 3-4 geschossigen Holzbauten, beträgt 60 Minuten. Die lasttragende Funktion darf in dieser Zeit nicht verloren gehen.

Die Verknüpfung mit isolierenden und abschottenden Bauteileigenschaften geschieht hier nicht. Die Anforderung ist, die statische Konstruktion zu erhalten.

Aus finnischer Norm:

*Wenn die lasttragenden Konstruktionen nicht aus Baustoffen der Brennbarkeitsklasse A2-s1, d0 sind, ist das Material der Wärmedämmung in der Klasse A2-s1, d0 auszuführen.*

Diese Richtlinie ermöglicht den Einsatz brennbarer Materialien für tragende Konstruktionsteile. Die Wärmedämmung ist dann aus Baustoffen herzustellen, die kein Beitrag zum Brandverlauf geben. Im Brandfall dürfen sie nicht entflammbar sein, keinen Rauch entwickeln und unter Temperaturentwicklung nicht abtropfen oder abfallen.

- Die Errichtung von mehr als 4 Holzgeschossen in der Gebäudeklasse P1, ist nicht möglich, da die finnische Brandschutznorm für tragende Bauteile dieser Gebäudeklasse, nichtbrennbare Baustoffe verlangt.

#### 4.4.2.3 Anforderungen an isolierende und abschottende Bauteile

Bauteilanforderungen E und I, Raumabschluß und Isolation, für 3-4 Stockwerke in Klasse P2:

- Feuerabschottende Gebäudeelemente in den Stockwerken: **EI 60**
- Feuerabschottende Gebäudeelemente im Dachgeschoß: **EI 30**
- trennende Gebäudeteile: **EI 15**

- Feuerabschottende Gebäudeelemente im Keller: **EI 120**

Die Baustoffe dieser Bauteile müssen den Anforderungen nichtbrennbarer Materialien entsprechen (A2-s1, d0). In Deutschland wird eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung gefordert, die genau diese Anforderungen erfüllt

#### **4.4.2.4 Baustoffanforderungen**

##### Innere Oberflächen

Für Oberflächen von Innenwänden und Decken bei Gebäuden der Klasse P2, sind nichtbrennbare Brandschutzbekleidungen der Baustoffklasse A2-s1, d0 gefordert, wenn die tragende Konstruktion aus brennbaren Materialien der Klasse C-s2, d1 oder aus noch feuerempfindlicheren Baustoffen besteht.

- Tragende Konstruktion: Holz
- Innere Wand- Deckenoberfläche: Brandschutzbekleidung A2-s1, d0

##### Außenwände

- Äußere Oberflächen von Außenwänden: B-s1, d0
- Lüftungsöffnungen: B-s1, d0

In Wohn- oder Bürogebäuden der Gebäudeklasse P2 mit 3 bis 4 Stockwerken dürfen Baustoffe der Klasse D-s2, d2 für Außenoberflächen von Außenwänden und Außenflächen von Ventilationsöffnungen verwendet werden wenn:

- das Gebäude mit automatischen Löschanlagen (Sprinkler) ausgestattet ist und
- die Wand in der Art und Weise konstruiert ist, daß ein Eindringen von Feuer in die Wand durch äußere Entzündung nicht möglich ist.

#### 4.4.3 Gesetzliche Regelungen in Österreich

Gesetzliche und normative Regelungen im Brandschutz sind in Österreich in einer Vielzahl von Vorschriften, Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien festgelegt. Sie haben einen weisen und vorschreibenden Charakter. Dadurch ergibt sich ein vergleichsweise starres Regelwerk, welches neuen Entwicklungen in der Architektur und Bautechnik hemmend entgegensteht und sicherheitstechnische Risiken sogar falsch bewertet oder übersieht.

Brandschutz ist in Österreich Ländersache. Die Gesetzgebung und deren Durchführung im Baurecht unterliegt dem jeweiligen Bundesland. Somit ergeben sich für Österreich 9 verschiedene Bauordnungen bzw. Bautechnikgesetze mit den entsprechenden Verordnungen, die den baulichen Brandschutz regeln. Diese normativen Regelungen sind nicht homogen, so daß in verschiedenen Bundesländern für gleiche Bauvorhaben unterschiedliche Brandschutzforderungen bestehen. Hinzu kommt, daß teilweise Bundesrecht (Arbeitnehmerschutz) höhere Anforderungen an den Brandschutz stellt, als das Land. Durch diese Vielzahl unterschiedlicher Regelungen können bei Bauvorhaben hohe Kosten schon in der Planungsphase entstehen.

Die gesetzlichen Vorschriften regeln die Art und Weise der Ausführung von Gebäuden, derart, daß bekannte und akzeptierte Risiken eingehalten werden. Die Risiken und Ziele, die zum Schutz der Umwelt, der Menschen werden nicht gesondert in den Gesetzen angegeben. Da die Gesetze eine breite Bandbreite an Bauwerken regeln, tritt häufig der Fall auf, daß die geforderten Maßnahmen für viele Gebäude über den tatsächlich geforderten Maßnahmen liegen. Umgekehrt gibt es aber auch Fälle, in denen gesetzliche Maßnahmen den Brandschutz in Gebäuden nicht sicherstellen können.

Somit ergeben sich etliche Ausnahmeregelungen, die den Behörden erlauben von den gesetzlichen Mindestanforderungen abzuweichen. Dies trifft beispielsweise für Sonderbauten in Wien zu. Der § 121(2) der Wiener Bauordnung :

*„Für Sonderbauten können im Einzelfall Erleichterungen insoweit gewährt werden, als die Bestimmungen dieses Gesetzes mit dem Verwendungszweck des Gebäudes unvermeidbar wären oder dieser in unzumutbarer Weise beeinträchtigt würde, doch dürfen durch diese Erleichterung die in diesem Gesetz begründeten subjektiv-öffentlichen Rechte und öffentliche Rücksichten nicht verletzt werden.“*

Andere Bestimmungen erlauben es aber den Behörden weitergehende Maßnahmen als die Bauordnung im Normalfall vorsieht zu fordern. Dies ist im § 121(3) wie folgt formuliert:

*„Soweit dies im Hinblick auf die öffentlichen Gegebenheiten und den Verwendungszweck der Anlage geboten ist, sind diesen Umständen entsprechende zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, um einer Gefährdung des Lebens oder der Gesund*

*heit von Menschen sowie dem Entstehen eines Brandes größeren Umfanges oder eines mit erheblichen Gefahren verbundenen Brandes vorzubeugen.“*

Dieser Paragraph formuliert somit für Wien ein allgemeines Schutzziel für den Brandschutz in baulichen Anlagen. Die Zielvorgaben sind allerdings nicht konkret beschrieben, so daß leicht Forderung nach einem erhöhten Brandschutz entstehen können.

Auf der anderen Seite ist es jedoch auch vorstellbar, daß bei Gewerbe- oder Industrieansiedlungen in Gebieten mit schwacher Wirtschaftsleistung, aufgrund kommerzieller und politischer Interessen, die sicherheitstechnischen Belange des Brandschutzes gar nicht oder nur als notwendiges Übel beachtet werden. Diese Entwicklungen dürfen nicht entstehen, da gerade bei Multi-Media-Parks und industriellen Großanlagen erhebliche Risiken bestehen, welche nur unter der Beachtung neuester technischer Erkenntnisse auf dem Gebiet des Brandschutzes beurteilt werden können.

#### **4.4.4 Mehrgeschossiger Holzbau in der Schweiz**

Im Rahmen der 9. Brandschutztagung der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung in Würzburg 2001 [15], wurden in einem Referat Brandschutzvorschriften und zukünftige Entwicklungen in der Schweiz dargestellt. Anhand dieser Ausführung soll im Folgenden die Situation dargestellt werden, wie sie sich momentan für den mehrgeschossigen Holzbau in der Schweiz ergibt.

##### **4.4.4.1 Holzbautraditionen**

Die Schweiz ist ein Land mit jahrhundertelangen Traditionen im Holzbau. Dörfer in den Bergregionen der Schweizer Alpen, zeigen mit massiven Holzkonstruktionen die hohe handwerkliche Kunst. Aber auch in vielen Städten gab es noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts viele Holzbauten und Wohnhäuser aus Stein mit Holzbalkendecken.

Mit der fortschreitenden Entwicklung von Stahlbeton- und Steinbauten in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, wurde in nur 50 bis 60 Jahren der lange genutzte Baustoff Holz aus der mehrgeschossigen Bauweise verdrängt. Die Brandschutzvorschriften wurden dem nichtbrennbaren Verhalten des Stahlbetons angepaßt; im Holzbau konnte nurmehr zweigeschossig gebaut werden. In Kantonen mit traditionell stark verwurzelten Holzbautraditionen, konnten jedoch regionale Sonderregelungen eine 3 – 4 geschossige Bauweise für Wohngebäude zulassen.

Die Schweiz erlebte in den vergangenen Jahren einen gewissen Holzboom. Zukunftsorientierte Architekten und Bauherren verlangten immer mehr den ökologisch und ökonomisch wertvollen Baustoff Holz. Es waren nun die Brandschutzbehörden gefordert, sich diesem Trend anzupassen und die Vorschriften den neuen technischen Möglichkeiten des Holzbaus anzupassen.

##### **4.4.4.2 Aktuelle Brandschutzvorschriften**

In der Schweiz sind die Kantone für den Erlaß und den Vollzug der Brandschutzvorschriften zuständig. Damit bilden die kantonalen Gesetzgebungen die Grundlage für die Brandsicherheit. Um eine Vereinheitlichung des Brandschutzes in der Schweiz zu erreichen, wurden im Jahre 1993 die Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) überarbeitet. Die neuen Brandschutzvorschriften der VKF sind heute in der Mehrheit der Kantone rechtlich verankert und werden angewandt.

Die Brandschutzanforderungen der VKF gliedern sich in Standardanforderungen und objektbezogene Sonderanforderungen. Die Standardanforderungen gewährleisten für

---

ein- und zweigeschossige Bauten den Einsatz von tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteilen aus Holz.

Standardanforderungen der VKF:

- Für Einfamilienhäuser werden unabhängig von der Geschößzahl keine Anforderungen an den Feuerwiderstand des Tragwerkes gestellt.
- Eingeschossige Bauten und das oberste Geschoß von mehrgeschossigen Bauten können ohne Feuerwiderstandsanforderungen an das Tragwerk erstellt werden.
- Bei zweigeschossigen Bauten bis zu einer Geschoßfläche von 600 m<sup>2</sup> (keine Beherbergungsbauten) kann das Tragwerk in einer ausreichend dimensionierten Holzbauweise mit Mindestkantenabmessungen ausgeführt werden.
- Bei zweigeschossigen Bauten mit einer Geschoßfläche von mehr als 600 m<sup>2</sup> und einer mittleren Brandbelastung ist ein Holztragwerk mit einem Feuerwiderstand von 30 Minuten zu erstellen.
- In Gebieten mit traditioneller Holzbauweise können bei Gebäuden bis zu 4 Geschossen für das Tragwerk auch brennbare Materialien verwendet werden.
- Bei drei- bis achtgeschossigen Gebäuden ist bedingt durch die F60 Anforderung an Tragwerk und Brandabschnitt der Holzbau stark eingeschränkt. (Bauteile mit Feuerwiderstand F60 müssen in der Schweiz per Definition aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen)

#### 4.4.4.3 Zukünftige Brandschutzvorschriften

Infolge allgemeiner Neuerungen und Änderungen der Brandschutzvorschriften im internationalen- und europäischen Ausland, geht man momentan auch in der Schweiz auf neue Trends im Brandschutz ein. Dabei werden schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte vorangestellt. Bis 2003 soll die Muster-Brandschutzvorschrift überarbeitet werden. Die neue VKF-Brandschutzvorschrift verfolgt dann folgendes Hauptziel:

*Die Brandschutzvorschriften bezwecken den Schutz von Personen und Sachen vor den Gefahren und Auswirkungen von Feuer und Explosion.*

Folgende Ziele werden zukünftig verfolgt:

- Personenschutz hat Priorität gegenüber Sachwertschutz
- Brandschutzrichtlinien beinhalten den aktuellen Stand der Technik, bewährte Sicherheitsniveaus bleiben bestehen
- Die Brandschutzrichtlinien sind bezüglich Prüfung und Klassierung von Baustoffen und Bauteilen der neuen EU Norm anzupassen
- materialneutrale Bewertungen

- Kein Aufbau von Handelshemmnissen

Der schweizerische Holzinformationsdienst Lignum erarbeitete in enger Zusammenarbeit mit Behörden und dem Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), „brandschutztechnisch tragfähige Lösungen“ für das mehrgeschossige und brandsichere Bauen mit Holz. Die dabei entstandenen Entwürfe beinhalten die Umsetzung des neuen Brandschutzkonzeptes im Holzbau.

Prüfung und Klassifizierung der Bauteile

Europäische REI – Bauteilklassifizierungen wird es zukünftig auch in der Schweiz geben. Die Entflammbarkeit auf der Brandraumseite ist hier kein Klassierungskriterium mehr. Holzbauteile sind danach in den Klassen R(EI) 30 bis R(EI) 240 prüf- und klassierbar.

Grundsätzlich ist es möglich, die Brandsicherheit in einem Gebäude mit verschiedenen Konzepten zu erreichen. Die VKF-Brandschutzvorschriften 2003 beschrieben zwei Möglichkeiten als Standardkonzepte:

- Bauliche Maßnahmen

Bei Brandschutzkonzepten mit vorwiegend baulichen Maßnahmen, ergeben sich für den mehrgeschossigen Holzbau folgende Konstruktionsmöglichkeiten:

Eingeschossige Gebäude; oberstes Geschoß	R0/EI30	Holzbau
Gebäude bis 2 Geschosse; inkl. Dachgeschossen	R30/EI30	Holzbau
Gebäude bis 4 Geschosse	R60/EI60	Holzbau
Gebäude bis 6 Geschosse	R60/EI60	Holzbau mit nichtbrennbarer EI 30 Verkleidung
Gebäude über 6 Geschosse	nichtbrennbare Bauweise; kein Holz zulässig	

Tabelle 4.4.4-1: Anforderungen an tragende und/oder brandabschnittsbildende Bauteile von Wohn-, Büro und Schulbauten

- Treppenhäuser bei Gebäuden bis 2 Geschosse: REI60 mit nichtbrennbarer Wärmedämmung und beidseitiger Verkleidung EI 30
- Treppenhäuser ab 3 Geschosse: REI 60; nichtbrennbare Bauweise

- Bei Hotels, Heimen, Krankenhäusern, Versammlungsräumen mit großer Personenbelegung, Verkaufsstätten und Gebäuden mit hoher Brandbelastung (über 1000 MJ/m<sup>2</sup>) ist der Einsatz von Holzbauteilen eingeschränkt.

- Technischer Brandschutz

Wird in einem Wohn-, Büro- oder Schulgebäude eine Sprinkleranlage eingebaut, kann der in Tabelle 4.4.4-1 vorgeschriebene Feuerwiderstand für tragende und/oder brandabschnittsbildende Holzbauteile um 30 Minuten reduziert werden. Neben der Erhöhung der Brandsicherheit kann der Einbau einer Sprinkleranlage auch wirtschaftlich interessante Vorteile mit sich bringen.

Ob man sich bei der Erstellung eines Brandschutzkonzeptes nun auf bauliche oder technische Kompensationsmöglichkeiten bezieht, hängt von den baulichen Gegebenheiten und der wirtschaftlichen Situation des Bauherren ab.

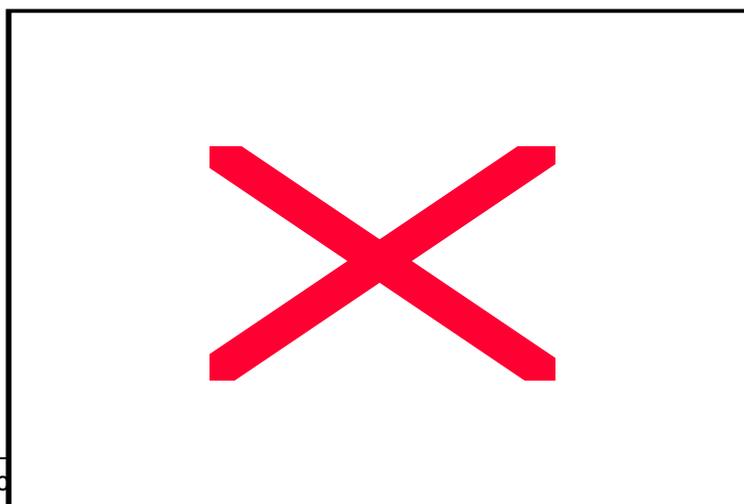
Die Sicherheitsziele dürfen bei der Entscheidung nicht jedoch nicht außer acht gelassen werden.

#### **4.4.4.4 Beispielbauten**

Anhand einer Beschreibung von zwei Beispielbauten, soll die praktische Umsetzung von Brandschutzmaßnahmen für mehrgeschossige Holzbauten in der Schweiz dargestellt werden.

##### Beispiel 1: Schulhaus in Biel

Beim Neubau der Schweizerischen Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft (SISH) in Biel, wurde in den Projektwettbewerben festgehalten, daß mit den geltenden baurechtlichen Regelungen ein mehrgeschossiger Holzbau möglich ist. Dabei soll die Tragkonstruktion auf F30 bemessen werden, daß gesamte Gebäude mit Vollsprinklerschutz versehen und die Rettungswege entsprechend bauordnungsrechtlicher Bestimmungen geplant werden.



Das Gebäude beinhaltet einen doppelbündigen, viergeschossigen Schulhaus – Holzbau mit massiven Treppenhäusern im Mitteltrakt. Die Tragkonstruktion besteht aus einer auf F30 klassifizierten Holztragstruktur mit vorwiegend Hohlkästen als Decken. In sämtlichen Schul- und Flurräumen sind Sprinkleranlagen vorhanden.

#### Beispiel 2: Bürogebäude in Vevey

~~Bild 4.4.4-1: Konstruktionsprinzip des SISH-Schulhauses: Erschließungstrakt in Beton, übrige Tragkonstruktion in Holz.~~  
Bei diesem Objekt handelt es sich um ein Bürogebäude mit sechs Vollgeschossen. Das Erdgeschoß ist in massiver Bauweise ausgeführt; alle Hauptträger der Deckenkonstruktion bestehen aus Brettschichtholz. Sekundärträger bestehen ebenfalls aus Brettschichtholz, doch ist hier zusätzlich eine 8 cm starke, obenaufliegende Betonplatte vorhanden. Dieses Tragwerk garantiert einen Feuerwiderstand von mindestens 30 Minuten.

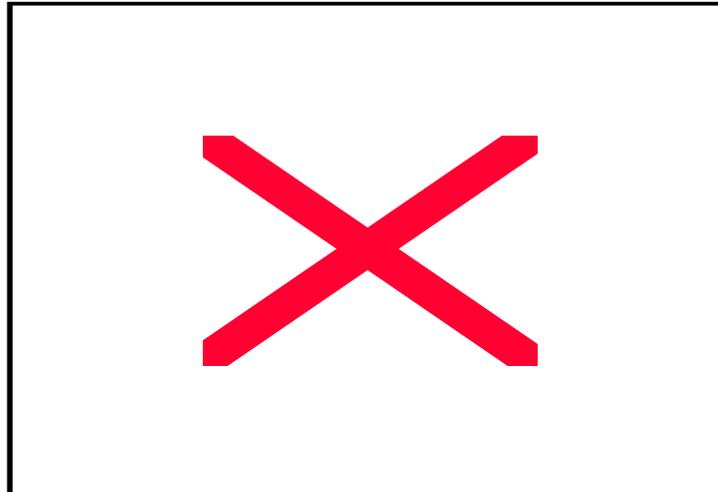


Bild 4.4.4-2: Außenansicht des sechsgeschossigen Bürogebäudes in Vevey

Das ganze Gebäude ist mit Sprinkleranlagen ausgerüstet. Durch die große Anzahl an Balkonen, die sich rund um das Gebäude erstrecken, konnten die notwendigen Treppenhäuser auf ein Haupttreppenhaus und eine äußere Nottreppe beschränkt werden. Die auskragenden Balkone verhindern außerdem eine mögliche Brandausbreitung von Stockwerk zu Stockwerk über die Fassade.

## **4.5 Internationale Brandversuche**

Während der Jahresfachtagung [19] des Vereins zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), wurden in einem Referat unterschiedliche internationale Brandversuche vorgestellt. Es handelt sich hierbei um kanadische, norwegische und japanische Brandversuche an Holzkonstruktionen. Die japanischen Untersuchungen zeigen das Brandverhalten mehrgeschossiger Holzhäuser. Hier wurden im Jahre 1987 und 1991 zwei dreigeschossige Wohnhäuser in Holzrahmenbauweise unter experimenteller Beobachtung in Brand gesetzt. Die Versuche liefern Erkenntnisse über die Ausbreitung und Wirkung von Feuer und Rauch in komplexen Konstruktionen. Vergleichbare Ergebnisse können mit einfachen Bauteilprüfungen nicht erzielt werden. Die kanadischen und norwegischen Brandversuche beschäftigen sich mit Bauteilversuchen. In Norwegen testete man unterschiedliche Deckenaufbauten. Durch unterschiedliche Dämmmaterialien und Beplankungen konnten erstaunliche Ergebnisse festgestellt werden. In Kanada wurden unterschiedliche Wandaufbauten von Holz- und Metallständerwänden getestet.

### **4.5.1 Japanische Brandversuche in mehrgeschossigen Holzgebäuden**

(Die Abbildungen zu diesem Abschnitt befinden sich im Anhang 2)

#### **4.5.1.1 Brandversuch 1987**

Versuchsprogramm

Im November 1987 fand in Japan ein groß angelegter Brandversuch in einem dreigeschossigen Holzhaus statt. Das Gebäude war als Wohnhaus ausgelegt, wobei jedes Geschoss einen ähnlichen Grundriß aufwies. Die Grundfläche des Hauses betrug 77 m<sup>2</sup> und die gesamte Bodenfläche 195m<sup>2</sup>.

Das Ziel des Brandversuches war die Beobachtung der Brandweiterleitung zwischen Räumen, die Beeinflussung durch Öffnungen und die Feuerwiderstandsdauer.

Konstruktion

Die Konstruktion der Wände bestand aus einer Holzrahmenbauweise, mit Holzständern (50x100mm) und einlagiger Bekleidung aus Gipskarton (12mm). Die Außenwände waren an der Außenseite mit 9mm Sperrholz, einer Bitumenbahn und 18 mm zellulosefaserverstärkten Zementleichtbauplatten verkleidet und mit 50 mm Steinwolle gedämmt. Die Wände wurden mit PVC bekleidet. (siehe Anhänge 2-2 bis 2-4) Um die Feuerwiderstandsfähigkeit zu testen, wurden verschiedene Türen eingebaut. Die Geschosdecke bestanden aus Holzträgern (50x100mm) und waren oberseitig mit 15 mm

Sperrholz bekleidet und mit 50 mm Steinwolle gedämmt. Um die Feuerwiderstandsdauer zu verbessern, wurden die Decken in einigen Räumen mit 37 mm Leichtbeton verstärkt. Als Bodenbeläge kamen Teppiche und Reisstrohmatten zum Einsatz. Die Unterseite der Decke wurde mit 12 mm Gipskarton verkleidet, wobei ab dritten Geschoß zwei Lagen von 9mm und 12mm Gipsfaserplatten verwendet wurden. Das Dach war mit 9mm Sperrholz- und 6mm Asbestzementplatten gedeckt. (Anhang 2-3)

#### Brandlast

Die Brandlast, die durch typisch japanische Inneneinrichtungen entstand, betrug 28 kg/m<sup>2</sup> und bestand zum großen Teil aus Möbeln, Kleidung, Bücher u.a. . Der Brandherd befand sich im Erdgeschoß in einer Küche.(Anhang 2-1) Im angrenzenden Raum war ein Fenster geöffnet. Weiterhin waren zwei Türen im 1. Geschoß und eine Tür im 2. Geschoß geöffnet, alle anderen Türen und Fenster waren geschlossen.

#### Brandverlauf

Bei einer Temperatur von 500 °C stand der Brandraum im Vollbrand, entfacht durch einen Flashover. Dies passierte bereits nach 10 Minuten. Der Nachbarraum befand sich nur 2 Minuten später im Vollbrand. Im 1. Geschoß fand ein Flashover nach 50 Minuten statt, wobei die Temperatur im 2. Geschoß lange unterhalb 200°C blieb. Sie stieg dann aber nach dem Flashover im ersten Geschoß schnell an. Der Treppenraum stand nach 61 Minuten im Vollbrand. Nach 64 Minuten gab es einen Flashover im zweiten Geschoß. Das Feuer wurde nach 74 Minuten gelöscht.

#### Ergebnisse

Der Feuerwiderstand der Einzelbauteile unterschied sich vom Feuerwiderstand des gesamten Gebäudes. Dies machen die Zeitmessungen des Flashovereintritts deutlich. Ein erheblicher Beitrag zur Brandausbreitung im ganzen Haus, entstand infolge des Durchbrennens der Türen. Die Feuerwiderstandsdauer der Türen variieren zwischen 5 und 30 Minuten. Überwiegend wurden Sperrholztüren (2.7mm ohne Füllung) verbaut, die dem Feuer nur wenige Minuten standhielten. Die Bauteile Wand und Decke hielten dem Feuer länger stand. Wobei sich aber Teile der Deckenkonstruktion als unzureichend erwiesen. Nach 24 Minuten versagte ein Deckenbereich im Erdgeschoß, so daß sich das Feuer im 1. Obergeschoß ausbreiten konnte. Die Konstruktion mit einer Lage Gipskarton als Bekleidung der Deckenunterseite erwies sich somit als unzureichend. Die Bereiche, in denen die Decke mit Leichtbeton verstärkt worden war, erwiesen sich als standhaft. Die Verglasung der Fenster versagte sehr schnell nach dem Flashover in den Räumen. Infolge dessen schlugen die Flammen mit einer Höhe von bis zu 4m und

einer Breite von nahezu 5m aus den Fenstern. Der Einfluß auf die Feuerausbreitung in den oberen Stockwerken war eher gering, da die Balkone und die Traufkante das Feuer behinderten. Die Entzündungstemperatur wurde bei den Holzständerwänden im Brandraum nach 21 Minuten gemessen. Sie betrug zwischen Gipskartonbeplankung und Holz 260 °C. Annähernd alle Wände im Erdgeschoß errichten die 260 °C Grenze innerhalb von 30 bis 64 Minuten. Im ersten Geschoß wurde die Entzündungstemperatur nach 39 Minuten gemessen. Im zweiten Geschoß entzündeten sich die Holzständer nach 63 Minuten.

An den Deckenkonstruktionen des Erdgeschosses wurde die Entzündungstemperatur nach 24 Minuten im Brandentstehungsraum gemessen, was zum Versagen der Deckenkonstruktion nach 50 Minuten führte. Im 2. Geschoß wurde die kritische 260°C Grenze nie erreicht.

Die Ausbreitung des Feuers vom ersten in den zweiten Stock wurde durch den Deckendurchbrand verursacht. Die angenommene Ausbreitung des Feuers über den Treppenraum fand nicht im erwarteten Maße statt. Entscheidend waren hier die nicht-brennbaren Bekleidungen. Jedoch entstand im Treppenraum erheblich viel Rauch. Bereits nach 17 Minuten trat eine entsprechend gefährliche Gaskonzentration ein, die die Bewohner im zweiten Obergeschoß gefährdet hätte. Der Rauch wurde außerdem über Leckagen und Fugen der Wand- und Deckenkonstruktion verbreitet.

Als allgemeine Schlußfolgerung kann gesagt werden, daß die Wahl und Nutzung der Baustoffe sowie das Verhalten einiger Konstruktionsteile des Gebäudes, nicht den Kriterien einer hochfeuerhemmenden Bauweise mit 60 Minuten Feuerwiderstand (REI60) entsprachen. Im Haus wäre eine Feuerwiderstandszeit von 60 Minuten für alle Konstruktionsteile erforderlich. Die konnte hier nicht erreicht werden.

#### **4.5.1.2 Brandversuch 1991**

##### Versuchsprogramm

Der Brandversuch im Jahre 1991 sollte die Ausbreitung von Feuer und Rauch in einem erdbebengeschädigten Haus untersuchen. Die Bauweise des Hauses unterschied sich von dem 1987 getesteten Haus, da dies bei der Ausbreitung von Feuer und Rauch keine ausreichenden Sicherheiten für mögliche Bewohner garantieren konnte. Es wurde besonders auf Rettungswege geachtet.

Die drei Geschosse des Hauses beinhalteten jeweils zwei Wohnungen von 60 und 30 m<sup>2</sup>. Die Wohnbereiche waren durch eine Wohnungstrennwand getrennt. ( Anhang 2-8) Balkone befanden sich auf der Südseite; Laubengänge auf der Nordseite.

Der Test beinhaltete Drei Phasen:

1. Prüfung der Feuerwiderstandsdauer einzelner Bauteile
2. Durchführung seismischer Tests am Gebäude
3. Durchführung eines Brandtests am Gebäude

#### Konstruktion

Alle Bauteile der Konstruktion des dreigeschossigen Hauses wurden zuvor einer Brandprüfung unterzogen und wiesen eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 60 Minuten auf. (Anhang 2-11 bis 2-12)

- Außenwände: Holzständer (50 x100mm); innen 2 Lagen 12 mm Gipskartonplatten; Glaswolldämmung (50 mm); außen 9mm Sperrholz, Bitumenpapier, zementgebundene Spanplatten (18mm)
- Innenwände: Holzständer (50x150, 50x100); 2 Lagen Gipskarton
- Trennwand: wie Innenwand aber mit 50 mm Glaswolldämmung
- Decken: Holzbalken (50x250); 12 mm Gipsfaserplatten; 50 mm Steinwolldämmung; 2x12mm Sperrholzplatten als Fußbodenaufbau

Alle Wände und Decken wurden tapeziert.

- Treppe: Bekleidung der Holzkonstruktion mit 9mm Sperrholz, Bitumenpapier, 12mm Zementplatten

Verschiedene Türen und Fenster wurden eingebaut; der Laubengang im Erdgeschoß verglast. Als Eingangstüren von den Laubengängen aus wurden selbstschließende Feuerschutztüren eingebaut. Alle anderen Türen hatten keine höheren Widerstände.

#### Brandlast

Als Brandlast wurden 27 kg/m<sup>2</sup> in den Wohnungen eingebracht

#### Brandverlauf

Der Brandherd befand sich wie in der ersten Versuchsreihe in den Küche im Erdgeschoß. In diesem Raum ist ein Fenster geöffnet, alle anderen Fenster und Türen blieben geschlossen. Bereits nach 5 Minuten wurde in der Wohnküche ein Flashover beobachtet, wo der Brandherd lag. Nach einer weiteren Minute wurden 1000°C gemessen, die jedoch sofort wieder absanken, da aufgrund des Flashover alle Scheiben zerbrachen und Frischluft zuströmen konnte. Nach 11 Minuten zerbrach auch die Verglasung in angrenzenden Räumen. Das Feuer breitete sich über die Tür der Wohnküche

in den Wohnflur aus und von dort erreichte es nach 16 Minuten die Schlafzimmertür. Nach 20 Minuten schlugen die Flammen aus den Öffnungen der Wohnküche und des angrenzenden Raumes heraus. Nach 24 Minuten wurde Rauch auf dem notwendigen Flur (Rettungsweg) gesehen. In der Wohnküche fielen nach 30 Minuten Deckenbekleidungen herunter, was eine Temperaturerhöhung der Deckenbalken zur Folge hatte. Die Holzständerwände der Wohnküche brannten nach 40 Minuten. Die Beplankungen der Wand zwischen Wohnküche und „Japanischem Raum“ fielen teilweise ab. Der Boden der Wohnküche war nach 46 Minuten durchgebrannt, so daß das Feuer in den Kellerbereich gelangen konnte. Nach 55 Minuten wurden an einigen Stellen im 1. Obergeschoß kleine Flammen an Fugen des Fußbodens beobachtet, in den Feuerwehrmänner nach einer Stunde ein Loch schlugen. Sie zerstörten auch das Fenster zwischen Schlafzimmer und Laubengang im Erdgeschoß. Zu diesem Zeitpunkt hatte sich das Feuer noch nicht im Schlafzimmer ausgebreitet. Dies geschah erst nach 1 Stunde 13 Minuten. Schwarzer Rauch schlägt aus dem Schlafzimmerfenster. Zugleich fallen in der Wohnküche und im „Japanischen Raum“ weitere Deckenplatten ab und die Temperatur, die sich bei 650 °C eingeepegelt hatte, stieg nochmals an, daß Feuer entfachte sich erneut. Als nach 1 Stunde 30 Minuten kleine Flammen an Fugen der Außenwände zu sehen waren, begannen die Feuerwehrlaute mit den Löscharbeiten, da man befürchtete das die Konstruktion einstürzen könnte.

Die Rauchentwicklung im Erdgeschoß war relativ stark, jedoch blieb das Treppenhaus verhältnismäßig rauchfrei, so daß eine Evakuierung zu keiner Zeit gefährdet war.

### Ergebnisse

Im Vergleich zum Brandversuch von 1987 konnten 1991 wesentlich bessere Ergebnisse festgestellt werden. Die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile war höher und die Sicherheit der Fluchtwege konnte garantiert werden. Zu keiner Zeit war die Rettung über die geplanten Fluchtwege gefährdet. 1987 war dies nicht möglich, da sich der Rauch sehr rasch im gesamten Treppenraum bis ins 1. OG ausbreitete. Mit der letzten Versuchsreihe konnte eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten erreicht werden.

Prinzipiell sind geforderte Sicherheitsstandards mit den entsprechenden Holzkonstruktionen erreichbar. Defizite, die auch noch im Brandversuch 1991 auftraten, sind Abschottungs- und Anschlußprobleme der Bauteile. Durch Fugen und Öffnungen in Bauteilen war die Durchdringung mit Rauchgasen zu beobachten. Die alleinige 60 minütige Feuerwiderstandsdauer ist also nicht ausreichend, will man ein ganzheitliches Konzept garantieren.

#### 4.5.2 Norwegische Normbrandversuche an Holzbalkendecken

Im Rahmen von Normbrandversuchen wurde das Brandverhalten von sechs verschiedenen Deckenaufbauten untersucht. Ziel dieser Untersuchung war es, die Abhängigkeit der Feuerwiderstandsdauer, infolge unterschiedlicher Bekleidung und Dämmung, darzustellen.

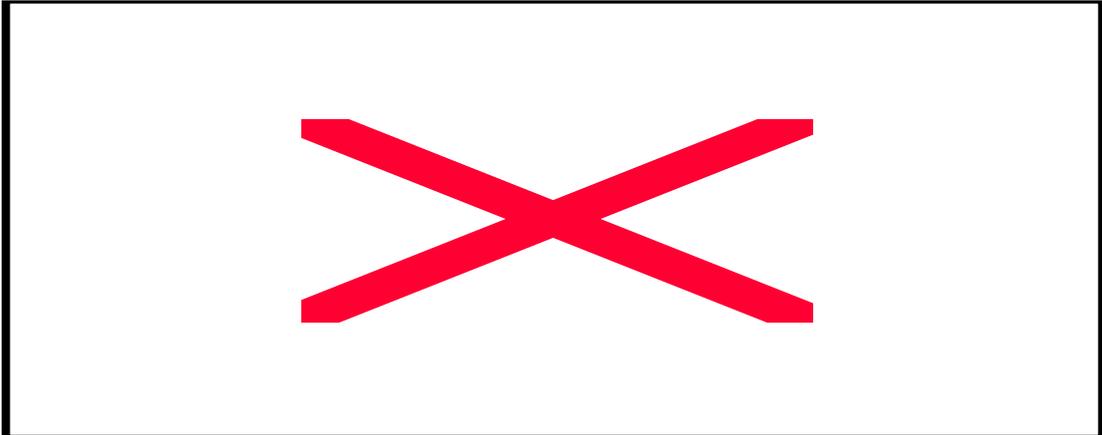


Bild 4.5.2-1: Versuchsaufbau

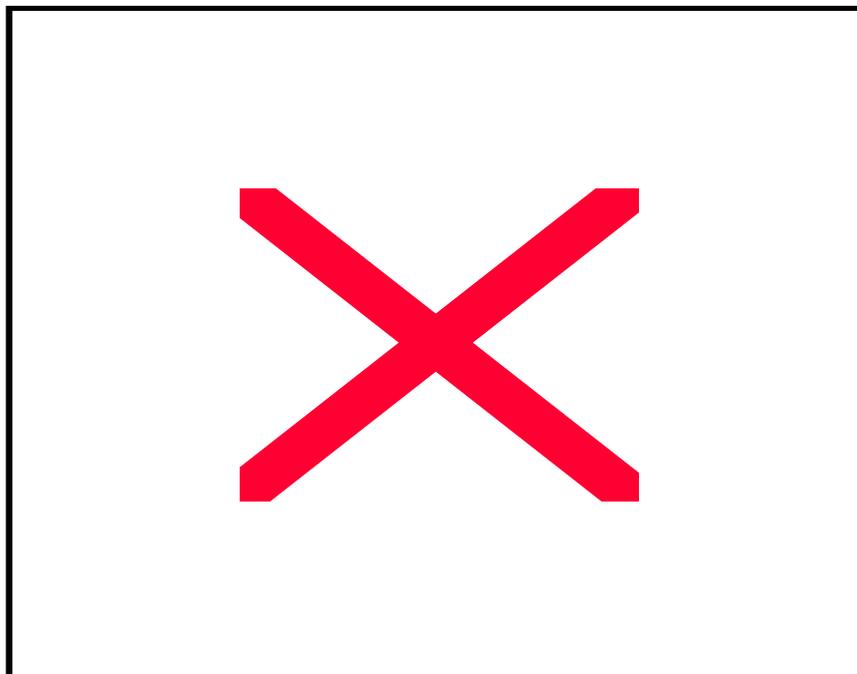


Bild 4.5.2-2: Darstellung der Konstruktion

### Deckenaufbauten

Für die Deckenaufbauten wurden doppel T Träger aus Holz (TJI Träger) verwendet. Sie waren 300mm hoch, hatten einen Steg aus 10mm starker Spanplatte und Flansche aus Fichtenholz (48mmx48mm). Die Stegträger wurden mit 15 mm Gipsbauplatten bekleidet (12,5 kg/m<sup>2</sup>). Diese wurden in jeder Lage gestoßen. Die innere Lage wurde quer zum Trägerverlauf angebracht und die äußere Längs. Zwischen den Plattenstegträgern und der Bekleidung wurden Federschienen (25mm) in 400 mm – Abständen angeordnet. Die Dämmung bestand entweder aus Steinwolle (30 kg/m<sup>3</sup>) oder aus Glaswolle (17 kg/m<sup>3</sup>).

Die Probekörper wurden in einem gasbefeierten Ofen getestet.

Testnummer	Dämmung	Bekleidungslagen	Brandlast q (MJ/m <sup>2</sup> )	Öffnungsrate O (m <sup>2</sup> ·h)
1	Steinwolle	2	170	0,04
2	Glaswolle	2	170	0,04
3	Steinwolle	2+1	170	0,04
4	Glaswolle	2+1	170	0,04
5	Glaswolle	2+1	510	0,12
6	Steinwolle	2	510	0,12

Tabelle 4.5.2-1: Probekörperaufbau

Im Rahmen der Versuche wurden das Dämmmaterial, die Anzahl der Bekleidungslagen, die Brandlasten und die Öffnungsrate verändert. Tabelle 4.5.2-1 Beim dritten und vierten Versuch wurden die Flansche des Plattenstegträgers direkt mit Gipskartonplatten bekleidet. Dies entspricht einer dritten Bekleidungslage. Die Brandlast von 170 MJ/m<sup>2</sup> wird in Schweden für Wohnungen mit zwei Räumen und Küche angenommen. Die Öffnungsrate von 0,04 m<sup>2</sup>·h entspricht einer typischen Fenstergröße. Bei den Versuchen 5 und 6 wurden erhöhte Brandlasten und größere Öffnungsraten angenommen, um die Verhältnisse in einem Brandabschnitt mit holzverkleideten Wänden und guter Wärmedämmung zu simulieren.

## Ergebnisse

Folgende Temperaturen konnten an den einzelnen Bekleidungslagen gemessen werden:

Gipsbauplatte	Lage 1		Lage 2		Lage 3		Versagen
	300	500	300	500	300	500	
Testnummer	min		min		min		min
1	30	75	60	77	*	*	115
2	30	68	62	76	*	*	90
3	30	68	62	86	80	*	nicht eingetreten
4	29	60	60	*	75	*	nicht eingetreten
5	25	38	50	56	55	*	nicht eingetreten
6	25	35	52	56	*	*	77

Tabelle 4.5.2-2: Ergebnisse

Bei den ersten beiden Tests wurden unterschiedliche Dämmstoffe eingebaut. Die Temperaturverläufe, die an den Bekleidungslagen gemessen wurden, waren sehr ähnlich. An den Flanschen traten jedoch Unterschiede im Temperaturverlauf auf. Bei Versuch 1 wurde nach 60 Minuten eine Temperaturerhöhung beobachtet. Die Konstruktion versagte nach 115 Minuten. Auch bei Versuch 2 konnte ein Temperaturanstieg am Flansch nach 60 Minuten gemessen werden. Im weiteren Versuchsverlauf stieg die Temperatur so schnell an, daß ein Versagen des Bauteils nach 90 Minuten eintrat. Die unterschiedliche Versagensdauer kann aber nicht nur auf das unterschiedliche Dämmmaterial zurückgeführt werden. Am Probekörper 2 wurde ein offener Stumpfstoß im Stegbereich festgestellt. Bei beiden Probekörpern verkohlte die Oberfläche der Flansche nach 70 Minuten, nachdem der Flashover eingetreten war. Bei Test 1 sank die Temperatur nach 90 Minuten. Beim 2. Versuch hingegen stieg die Temperatur an, wodurch die Glaswolle schmolz und der Träger entflammte.

Die Oberflächentemperatur von 180 °C wurde bei den Tests 3, 4 und 5 nicht überschritten. Die maximale Temperatur wurde in Test 3 und 4 nach 120 Minuten erreicht; die Temperatur viel danach ab. Bemerkenswert ist, daß in Test 5 mit verschärften Bedingungen, die maximale Temperatur erst nach 105 Minuten eintrat. Dies läßt darauf schließen, daß bei dreilagiger Beplankung keine Verkohlung der Konstruktion stattfindet.

Bei einer starken Brandbelastung und nur zwei Lagen Gipsbauplatten verkohlten die Träger bereits nach 54 Minuten, nach 77 Minuten versagte dann die Konstruktion.

Während der ganzen Testreihe viel bei keinem Probekörper die Bekleidung ab, jedoch versagte die Konstruktion, wenn die Holzkonstruktion wegen zu geringer Bekleidung verkohlte. Die Holzbauteile glimmen auch noch nach der Brandbelastung weiter, bis daß Versagen eintritt.

Alle Konstruktionen erfüllten die Anforderungen der Feuerwiderstandsdauer R60. Einer Normbrandbeanspruchung von 90 Minuten oder einem voll entwickelten Brand hätten die Konstruktionen allerdings nicht standgehalten. Bei den Versuchen bei denen drei Beplankungslagen aufgebracht wurden, ist die kritische Entzündungstemperatur von Holz (300°C) nie erreicht, so daß der Probekörper auch noch in der Abkühlphase standhaft war.

### **4.5.3 Kanadische Normbrandversuche an Holzständerwänden**

#### **4.5.3.1 Allgemeines**

Die Feuerwiderstandsklassen vieler Holzkonstruktionen sind seit 1965 in der Ausgabe des National Building Code of Canada (NBCC) veröffentlicht. Seither wurden nur selten Bauteile und Feuerwiderstandsklassen aktualisiert, Weiterentwicklungen blieben unberücksichtigt. Aus diesem Grund entschied sich die kanadische Kommission für Gebäude- und Brandschutzrichtlinien jede Feuerwiderstandsklasse zu streichen, die nicht durch aktuelle Daten erfaßt werden konnte.

1992 führte der National Research Council Canada (NRCC) ein Forschungsprogramm zur Bestimmung neuer Feuerwiderstandsklassen für Gipskartonplatten und unterstützter Holzständer- und Metallständerwänden durch.

Als ein Ergebnis des Forschungsvorhabens, konnten annähernd 90 verschiedene Entwürfe von gipskartonbeplankten Holzständerwänden in der Ausgabe des NBCC von 1995 veröffentlicht werden. Die Feuerwiderstandsklassen wurden nach einem nordamerikanischen Modell von 30 Minuten bis 2 Stunden unterteilt.

#### **4.5.3.2 Versuchsprogramm**

Die Feuerbeständigkeitstests wurden an 14 Holzständer- und 8 Metallständerwänden durchgeführt. Grundlage war die entsprechende *Normmethode für Feuerbeständigkeitstests von Baukonstruktionen und –materialien*. 13 der Holzständerwände waren tragende Konstruktionen. Alle Metallständerwände und eine Holzständerwand waren nichttragende Konstruktionen.

### 4.5.3.3 Ergebnisse

#### Holzständerwände

In Tabelle 4.5.3-1 sind in einem Auszug Ergebnisse des Feuerwiderstandstests zusammengefaßt.

Während der Brandversuche an tragenden Wänden wurden diese mit der erlaubten Höchstlast pro Ständer belastet, wie es gemäß der CAN Norm vorgeschrieben ist. Die Belastung bei Ständerweiten von 600 mm war um 33% geringer als bei Ständerweiten von 400 mm. Alle Holzständer der Wandquerschnitte erhielten somit eine ungefähr gleich starke Belastung.

Werden die Gipskartonplatten mit Akustikschiene am Ständerwerk befestigt, so entsteht ein Hohlraum zwischen Dämmstoff und raumabschließender Platte sowie ungeschützte Fugen und Verbindungsmittel. Da sich diese Hohlräume über die ganze Wand erstrecken können, wird die Entzündung der Randbereiche der Holzständer in der Wand und die Ausbreitung von Wärme, Rauch und des Feuers über die ganze Wandfläche beschleunigt. Wenn aber mehrere Schichten von Gipskartonplatten an der Wand befestigt werden, ist es möglich die Fugen und Verbindungsmittelreihen in jeder Schicht versetzt anzuordnen, damit keine durchgehenden Fugen auf der Wandebene entstehen. Können die Wände in dieser Weise ausgeführt werden, gibt es keine Reduktion der Feuerbeständigkeit.

Der NBCC fordert in Abhängigkeit von Gebäudegröße, Konstruktion und Funktion der Holzständerwände Feuerwiderstandsklassen von 45 Minuten, 1 Stunde, 1,5 Stunden und bei bestimmten Einsatzbereichen noch höhere Zeiten.

Nachfolgend sind einige Feuerwiderstandszeiten für Holzständerwände aus der Testreihe aufgeführt.

Aufbau Einfachständerwände, Doppelständerwände	Feuerwiderstandsdauer nach NBCC	
	tragend	Nichttragend
2 x 15,9mm Typ X (GKF) Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf jeder Seite (ohne Dämmstoff)	1,5 h	2h
2 x 12,7 mm Typ X (GKF) Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf jeder Seite	1h	1,5h
2 x 15,9 mm Typ X Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf einer Seite und 1 x 15,9 mm Typ X Gipskartonplatten auf der anderen Seite (ohne Dämmung)	1h	1,5h
1 x 15,9 mm Typ X (GKF) Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf jeder Seite (ohne Dämmung)	1h	1h
2 x 12,7 mm „regular“ (GKB) Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf jeder Seite (ohne Dämmung)	45Min	1h
2 x 12,5 mm Typ X Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf einer Seite und 1x12,5 mm Typ X Gipskartonplatten auf der anderen Seite (ohne Dämmung)	45Min	1h
1x12,7 mm Typ X (GKF) Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf jeder Seite (ohne Dämmung)	45Min/	45Min/
1x12,7 mm „regular“ (GKB) Gipskartonplatten im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf jeder Seite (ohne Dämmung, 3 Steinwolle 89 mm/2,8 kg/m <sup>2</sup> )	30Min	30Min/45Min3
2x15,9 mm Typ X Gipskartonplatten mit Akustikschielen im Abstand von 400 mm oder 600 mm auf einer Seite und 2x15,9mm Typ X Gipskartonplatte direkt beplankt auf der anderen Seite	1,5h	2h

Tabelle 4.5.3-1 Ergebnisse der Feuerwiderstandstests (Auszug)

### Metallständerwände

Die kanadische Norm CAN/CSA-A82.27 fordert für Metallständerwände die feuerbeständige Gipskartonplatte Typ X nach folgender Regelung:

*„Eine Stunde für eine Platte mit einer Dicke von 15,9mm bei einlagiger Beplankung auf jeder Seite der nichttragenden galvanisierten Metallständer ..., die mit 25mm langen Schnellbauschrauben im Abstand von 200 mm entlang der Ecken und Enden befestigt werden ...“.*

Bei den Testreihen wurde festgestellt, daß die Feuerwiderstandsdauer von nichttragenden Metallständerwänden mit einer Schicht von 15,9 mm dicken Typ X- Gipskartonplatte auf jeder Seite nur 52 Minuten betrug. Die Befestigung der Platten war nach den baulichen Mindestanforderungen ausgeführt. Der NBCC erlaubt, daß Gipskartonplatten unter Verwendung von Trockenbauschrauben im Abstand von 300 mm entlang der Kanten und Enden befestigt werden können. Als ein Ergebnis der Versuche konnten auch konstruktive Anforderungen an die Verbindungsmittelart, Verbindungsmittelgröße und Verbindungsmittelabstand in Abhängigkeit des Plattenwerkstoffes herausgestellt werden. Vorteilhaft verhalten sich Klammerverbindungen, deren Klammerrücken nachträglich verspachtelt werden. Eine Erhöhung der Feuerwiderstandszeit von 15,9 mm dicken Typ X-Gipskartonplatten ist um 8 -12 Minuten möglich.

#### **4.5.3.4 Schlußfolgerung**

Im kanadischen Forschungsvorhaben wurden Möglichkeiten gefunden, bauordnungsrechtlich geforderte Feuerwiderstandszeiten für Holzständerwände mit Gipskartonplattenbekleidung zu erreichen. Zusätzlich haben die Versuchsergebnisse eine Vielzahl an Ausführungsmöglichkeiten gezeigt, welche die brandschutztechnischen Eigenschaften von Holzständerwänden beeinflussen.

Mit den nun bekannten Testergebnissen ist es Planern und Herstellern möglich, auf einzelne Bauvorhaben abgestimmte neue Aufbauten für Holzständerwände selbst zu wählen. (unter Wahrung der im NBCC definierten Sicherheitsniveaus) So sind Konstruktionen außerhalb der Norm möglich. Dies ermöglicht eine Materialeinsparung und wirtschaftlichere Bauweisen.

Ein weiteres Ergebnis der Brandversuche ist die Feststellung, daß Holzständerwände ohne Probleme die Feuerwiderstandsklassen von Metallständerwänden erreichen können. Hier wurden sogar eine etwas höhere Feuerwiderstandsdauer ermittelt. Ausschlaggebend für die Widerstandsdauer der Konstruktion ist dabei die Anzahl der Bekleidungslagen. Eine doppelagige Bekleidung kann eine Verbesserung um mehr als 50 % bewirken.

Auch das Dämmmaterial hat Einfluß auf die Feuerwiderstandszeit. Steinwolle mit einem hohen Schmelzpunkt (<850°C) kann die Feuerwiderstandsdauer verbessern; Glaswolle und Zellulosedämmstoffe mit geringer Rohdichte verhalten sich nicht positiv.

#### **4.5.4 Allgemeine Schlußfolgerung zu Brandversuchen**

Brandversuche sind auch zukünftig nötig. Die Experimente zeigen, daß man für eine umfassende und nachhaltige brandschutztechnische Beurteilung einfacher und komplexer Konstruktionsstrukturen, praktisch entstandene und somit widerlegbare Ergebnisse benötigt. So gibt es viele Faktoren, die bei einem Brand durch keine Rechen-technik erfüllbar sind. Das Verhalten von Bauteilanschlüssen und das damit verbundene mögliche Eindringen von Gas und Hitze in die Bauteilkonstruktion, ist dabei eines der entscheidensten und wichtigsten Ergebnisse von Brandversuchen. Aber auch das Brandverhalten neuer Baustoffe ist nur durch Praxistests zu erfahren. Brandversuche liefern außerdem nötige Eingabewerte für Rechenprogramme. Diese können dann für vergleichbare Gebäude- und Bauteilstrukturen vorhersagende Berechnungsmodelle erstellen.

## 5 Risikobetrachtung im mehrgeschossigen Holzbau

### 5.1 Allgemeine Grundlagen einer Risikountersuchung

Das Bauordnungsrecht stellt in der Musterbauordnung, den Landesbauordnungen und in Sonderrichtlinien Anforderungen an bauliche Anlagen. Neben der Forderung der ausreichenden Standsicherheit und des Wärme- und Schallschutzes, fordert das Baurecht die Gewährleistung eines ausreichenden und vorbeugenden baulichen Brandschutz für bauliche Anlagen. Diese Forderungen sind Grundlage für die Planung, Errichtung und Nutzung von Bauten.

Das Bauordnungsrecht in Deutschland verlangt in § 17 der Musterbauordnung eine ausreichende Gewährleistung des Brandschutzes:

*(1) 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 vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.*

Die Formulierung der Brandschutzanforderung ist ein allgemeines Schutzziel; es ergeben sich keine konkreten Forderungen. Die Brandsicherheit soll aber ein bestimmtes Sicherheitsniveau einhalten, ähnlich dem der Standsicherheit. Dieses Sicherheitsniveau darf nur eine bestimmte Versagenswahrscheinlichkeit haben. Das sich ergebende Gefahrenpotential darf das Sicherheitsniveau nicht überschreiten. Um den Umfang des Gefahrenpotentials, in Hinblick auf Brandentstehung, Brandausbreitung und Entstehung eines Flashovers beurteilen zu können, müssen die Gefährdungsrisiken, bzw. daß Gesamtrisiko bekannt werden. Nach [20] wird das Risiko  $R$  auf die Wahrscheinlichkeit  $E_s$  (Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses) und den Schadensumfang  $K$  (Anzahl der Verletzten, Todesopfer, materielle Schäden) bezogen.

In [18] wird gleiches durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$rf_i = Fe(t)_i \times D_{Ri}$$

Dabei ergeben sich die Risikofaktoren  $rf_i$  aus dem Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit  $Fe(t)_i$  mit dem Schadensausmaß  $D_{Ri}$ .

Danach ergibt sich das Gesamtrisiko aus der Summe der einzelnen Risikofaktoren:

$$RV = \sum rf_i$$

Vereinfacht gilt nach [20], daß die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Schadens auch dem vorherrschenden Risiko gleichzusetzen ist.

$$R = Fe$$

Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist ein zufallsabhängiger Wert zwischen 0 und 1. Durch sie kann ein *objektspezifischer sicherheitstheoretischer Wert* angegeben werden.

Die Sicherheit ( vorh. S) gilt als vorhanden, wenn das Risiko und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit vergleichbar klein ist. Daraus ergibt sich auch eine minimal erforderliche Sicherheit (erf. S).

$$\text{vorh } S \text{ (} R^{-1} \text{)} = \text{erf } S$$

Ein vorhandenes Risiko kann akzeptiert werden, wenn das Verhältnis zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Einwirkung auf eine bauliche Anlage und einer bestimmten vorhandenen Sicherheit der Anlage nicht größer als eins ist. [20]

### 5.1.1 Prinzipielle Risikobewertung anhand eines Beispiels

Zur prinzipiellen Darstellung einer Risikobewertung soll folgend ein Beispiel aus [18] erörtert werden:

- Hohlraumbrand im Holztafelbau durch elektrischen Kurzschluß

Die resultierende Eintrittswahrscheinlichkeit und damit das Gesamtrisiko ergibt sich aus folgenden Faktoren:

1. in welcher Häufigkeit tritt ein elektrischer Defekt (Kurzschluß) in einem Bauteil einer Hohlraumkonstruktion auf:  $\rightarrow F_{e1}$
2. wie oft führt dieser zu einer weitergehenden Brandentstehung (Kabelbrand / Schmorbrand):  $\rightarrow F_{e2}$
3. in welcher Häufigkeit resultieren daraus reale Konstruktionsentzündungen von Holzbauteilen:  $\rightarrow F_{e3}$
4. in welcher Häufigkeit sind dabei Personenschäden die Folge:  $\rightarrow F_{e4}$

Aus den einzelnen Eintrittswahrscheinlichkeiten  $F_{ei}$ , kann die Gesamteintrittswahrscheinlichkeit berechnet werden.

$$\rightarrow F_{e \text{ res}} = F_{e1} \times F_{e2} \times F_{e3} \times F_{e4}$$

Mit den entsprechenden Eingangsdaten ergibt sich für diesen Schadensfall eine Eintrittswahrscheinlichkeit von  $10^{-9}$  Einwohner / pa.

Zur Beurteilung des Gesamtrisikos müssen ebenfalls die Schadensfaktoren  $D_{Ri}$  beschrieben werden.

- Materieller und immaterieller Wertverlust
- Beschädigung und Verlust von Sachwerten
- Schädigung der Gesundheit
- Gefährdung von Leben

- Schädigung der Umwelt
- Nutzungseinschränkung
- Geruchsbelästigungen

Mit der Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und der Schäden, ergeben sich spezielle Risikofaktoren, die das Gesamtrisiko von Kabelbränden in Wandhohlräumen bewerten. Neben der Erörterung einzelner Konstruktionsrisiken, muß aber im Ganzen das Gesamt-Brandrisikos von Holzhäusern bewertet werden. Dazu werden im Abschnitt 5.3 spezifische Risikofaktoren gezeigt.

### 5.1.2 Risikobewertung in der Schweiz

In der Schweiz wird dieses Vorgehen bereits als eine Methode zur systematischen Risikobewertung und zur Beurteilung der Brandgefährdung praktiziert. Nach der geltenden Vorschrift (SIA 81) wird das vorhandene Gefahrenpotential  $P$  in Relation zu den Brandschutzmaßnahmen  $M$  gestellt. Das errechnete Risiko  $R$  muß dann kleiner als das zulässige Risiko  $R_{zul} = 1$  sein.

## 5.2 Statistik

Um Risikopotentiale richtig bewerten und vergleichen zu können, bedarf es einer statistischen Auswertung eingetretener Risikofälle. In [18] wurden dafür alle tödlichen Unfälle des Jahres 1995 nach unterschiedlichen äußeren Ursachen unterschieden. Verglichen werden tödlich verlaufene Unfälle im Brandfall und tödliche Unfälle durch Stürze. Man erhält so eine Aussage über den Anteil des persönlichen Brandrisikos am allgemeinen Unfallrisiko und kann durch Vergleich die Höhe der Brandrisiken einschätzen.

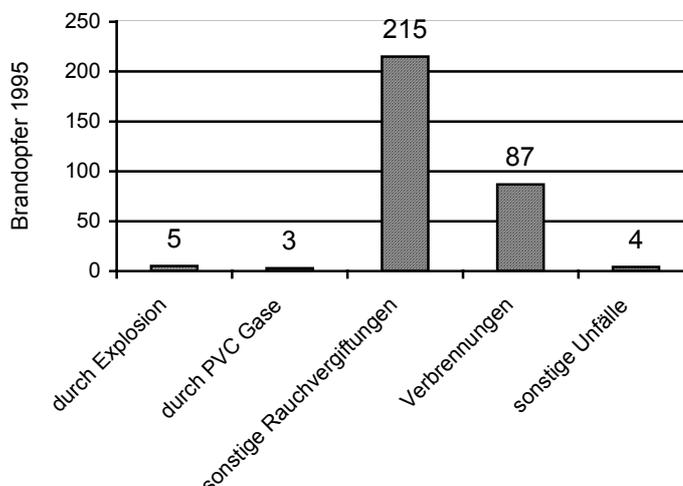


Diagramm 5.2-1: Tödlichen Brandunfälle in Wohnungen im Jahr 1995 ; nach [18]

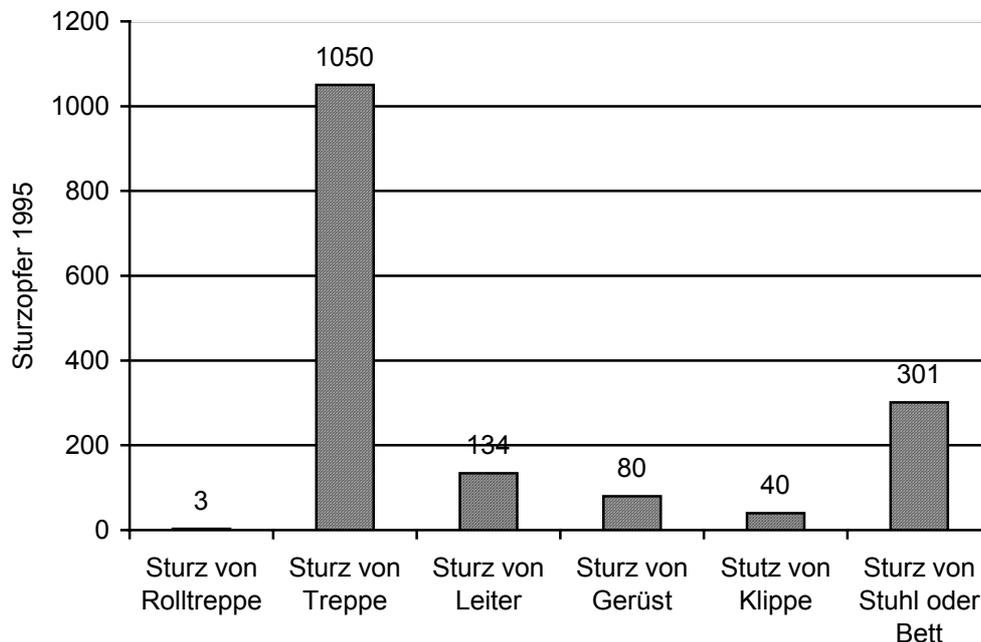


Diagramm 5.2-2 Tödliche Unfälle infolge von Stürzen im Jahre 1995, nach [18]

Die Auswertung der Brandunfälle zeigt, daß Brandtote zu ca. 70% Rauchtote sind. Diese hohe Zahl entsteht durch die toxischen Rauch- und Gasmassen, die sich bei einem Brand in geschlossenen Räumen sehr schnell und sehr dicht bilden. Schon nach wenigen Minuten nachdem die Lunge giftige Bestandteile aufgenommen hat, steigt die Blutkonzentration der Giftstoffe. Eine Studie in [5] zeigt, daß bei ca. 0,5 Vol.-% CO in der Atemluft etwa fünf Minuten, bei 1 Vol.-% CO jedoch nur etwa eine Minute bis zu Erreichen einer tödlichen Blutkonzentration vergehen.

Neben Kohlenmonoxidanteilen in der Atemluft, belastet auch Blausäure (HCN) den menschlichen Körper. Die Kontaktaufnahme passiert über die Atemluft oder oral über feinste verteilte Tröpfchen. Nach [5] ergibt sich ein tödlicher Grenzwert der Blausäurekonzentration bei 1,0 bis 1,5 mg/kg Körpergewicht. Bei Inhalation von HCN können 180 bis 270 ppm in der Atemluft rasch, bei einem Gehalt von 90 ppm nach längerem Einatmen zum Tode führen.

Durch Kombinationen der unterschiedlichen Giftstoffe kann die tödliche Wirkung auch beschleunigt werden.

Der Anteil der direkten Verbrennungsoffer beträgt nach Diagramm 5.3-1 ca. 28 %. Daraus ergeht, daß nahezu jedes dritte Brandopfer durch direkte oder indirekte thermische Belastungen stirbt. Der Mensch verspürt durch direkte Wärmestrahlung oder –leitung, ab einer Hauttemperatur von 44 °C erste Schmerzen. Ein Wärmestrom von 1,7

W/cm<sup>2</sup> (Leistungsabgabe einer Taschenlampenbatterie auf 1cm<sup>2</sup> verteilt), führt nach [5] bereits nach 2 Sekunden zur Rötung der Haut, nach 5 bis 6 Sekunden kommt es zur Blasenbildung. Messungen bei Kraftfahrzeugbränden haben ergeben, daß direkt an der Verbrennungssäule (Fireplume) Wärmeströme von 15 W/cm<sup>2</sup> auftreten.

Indirekte thermische Belastungen entstehen durch heißen Verbrennungsgase, die zu einem Überhitzen des Brandraumes und der darin befindlichen Personen führen. Aufgrund der Überhitzung sinkt die Toleranz gegenüber Kohlenmonoxid in der Atemluft. Lufttemperaturen von 60 bis 70 °C kann vom menschlichen Organismus nur kurze Zeiten ertragen werden. Temperaturen von 100°C führen schon nach wenigen Minuten zu Tod.

Aus den genannten Vorbetrachtungen ergeben sich folgende Risikopotentiale, die im Brandfall zum Personenschaden führen können:

- Sauerstoffmangel infolge der Verbrennung und Verdrängung durch den Rauch
- Entstehung, Eindringung und Einatmung giftiger Verbrennungsbestandteile, besonders Kohlenmonoxid CO und Blausäure HCN
- Thermische Wirkung der Verbrennungswärme durch Strahlung oder Leitung auf den menschliche Körper
- Stresswirkung / Panik

### **Konsequenz:**

#### **1.) Minimierung der Brandraumtemperatur (Sprinkler)**

#### **2.) Abführung der Verbrennungsgase (Ventilation) oder rauchfrei halten**

#### **3.) Einflüsse der Brandlast beachten**

Der Vergleich der tödlichen Brandunfälle mit den tödlich verlaufenden Sturzunfällen, läßt erkennen, daß die Zahl der meisten Sturzunfälle mit 1050 Opfern nahezu fünfmal so hoch ist wie die Anzahl der meisten Brandunfälle mit 218 Opfern infolge Rauchvergiftung. Insgesamt gesehen kamen 1995 mehr Menschen infolge eines Sturzes zu Tode, als durch Brandeinwirkungen.

Anteil der Häufigkeiten in Prozent

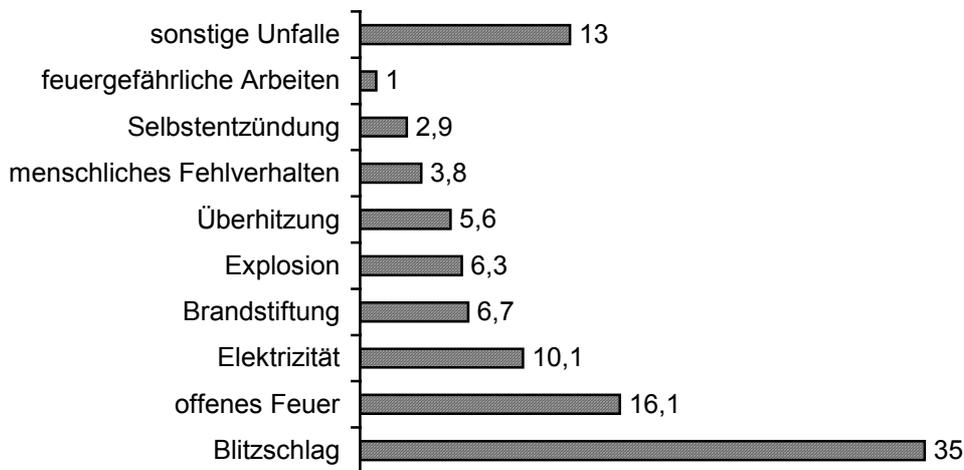


Diagramm 5.3-3: Brandursachen in Wohngebäuden; nach [18]

Diagramm 5.3-3 zeigt die häufigsten Brandursachen in Wohngebäuden. Es wird deutlich, daß die beiden größten Risikoquellen durch den Menschen selber oder durch nicht beeinflussbare äußere Einflüssen verursacht werden. Offenes Feuer, Brandstiftung und Explosionen ergeben mit 26,6 % ein erhebliches Risikopotential, welche allein durch Handlungen des Menschen entstehen. Man kann sagen, daß für nahezu ein Drittel aller Brände in Wohngebäuden der Menschen verantwortlich ist. Die äußeren Einflüsse, die durch Naturgewalten oder technische Defekte einen Brand auslösen können überwiegen jedoch. Nach der Analyse dieser konstruktionsneutralen Risikofaktoren, ergibt sich für eine Reduzierung des Personenrisikos folgende Konsequenz:

**Konsequenz:**

- 1.) brandschutzbewusstes Verhalten der Menschen**
- 2.) technische Ausrüstung der Gebäude (z.B. Blitzableiter)**
- 3.) technisch intakte Geräte verwenden**

## 5.3 Risikofaktoren im mehrgeschossigen Holzbau

Nachfolgend sollen Risikofaktoren erörtert werden, die die Brandsicherheit eines mehrgeschossigen Holztafelbaus beeinflussen können.

### 5.3.1 Allgemeine Risikofaktoren

- Einfluß der Brandlast (Menge und Verteilung)  
Durch Mobilar, EDV-Anlagen, Textil- und Kunststoffbeläge entstehen toxische Brandgase, die erhebliche Risikopotentiale darstellen.
- Anzahl und Art der Zündquellen
- Fehlerfunktion technischer Einrichtungen und Ausstattungen
- Fehlverhalten der Nutzer

### 5.3.2 Bauteilspezifische Risikofaktoren der BA - Bauweise

- Risiko der Brand- und Rauchausbreitung

Die Brand- und Rauchausbreitung in andere Geschoß- bzw. Wohneinheiten ist bei der Elementbauweise in Holz (Holzrahmenbau) kritischer zu bewerten, wo über Hohlräume brennbare Dämmung und Fugen Ausbreitungswege vorgegeben werden. Hier besteht der Risikofaktor durch mögliche Undichtigkeiten. Eine fehlende Rauchdichtigkeit raumabschließender Bauteile im Bereich von Fugen, Anschlüssen (Installationsdurchdringungen) und Hohlräumen kann ein Schwachpunkt sein.

Organische Materialien können sich bei minimaler Luftzufuhr bereits bei Temperaturen von 110°C chemisch zersetzen. Diese selbständig ablaufenden Schwelbrände (Pyrolyse) entwickeln bereits in der Brandentstehung sehr giftige Pyrolysegase (CO, H, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>). Eine Gefährdung für den Menschen tritt bereits zu diesem Zeitpunkt ein (Rauchtod). Gelangt mehr Sauerstoff an den Glimmherd so steigt die Temperatur. Ab 200 °C erfolgt die Selbstentzündung, der Flammpunkt ist erreicht.

Das besondere Risiko im mehrgeschossigen Holzbau liegt neben der Brennbarkeit der Tragkonstruktion auch in der Ausbreitung der Brandgase durch mögliche Undichtigkeit von Bauteilstößen und Durchdringungen. Sind Pyrolysegase infolge eines Schwelbrandes oder undichten Bauteilfugen in einem Raum verteilt, birgt dieser Raum ein erhebliches Risikopotential. Erfolgt nun eine Sauerstoffzufuhr, steigt die Temperatur und am Brandherd kommt es zur Flammenbildung. Zum selben Zeitpunkt kommt es zu einer vollständigen Durchzündung (Flashover) des Brandraumes, da sich mit einer drastischen Temperaturerhöhung die gesamten brennbaren Bestandteile der Pyrolysegase entzünden. Aufgrund der dabei entstehenden Druckwelle, die eine Volumenver

größerung der Gasmassen bewirkt, breitet sich der Brand in hoher Geschwindigkeit aus.

Dichte Bauteilfugen und konstruktive Sicherungsmaßnahmen können die Ausbreitung von Brandgasen und die Entzündung der Tragkonstruktion vermeiden und somit auch die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Flashovers minimieren.

- Risiko von Glutnestern und Nachbrennen

Neben der direkten Schädigung durch Feuer und Rauch, ist die auch die schädigende Wirkung des Löschwassers zu beachten, vor allem, wenn Wasser in Holzkonstruktionen eingedrungen ist und Bekleidung und Dämmung zerstört wird. Weiterhin ist es möglich, das daß Löschwasser brennbare Dämmung verdichtet und damit Glutnester nicht mehr gelöscht werden können und dies zu einem Nachbrennen im Inneren der Wandkonstruktion führt. Das Tragwerk kann dadurch nicht aktuell beurteilt werden, da es zu einem verzögerten Tragwerksversagen kommen kann, bzw. der Durchbrand in andere Nutzungseinheiten eine Brandausbreitung bewirkt.

- Stellt die Brandlast des Tragwerks ein zusätzliches Risiko dar?

In einer Ermittlung holzbauweisenspezifischer Risikofaktoren [18] wurden Gefährdungspotentiale unterschiedlicher Bauweisen verglichen und bewertet. Anhand der Ergebnisse soll das Risiko der Brandlast infolge brennbarer Tragkonstruktion bei BA- Bauteilen dargestellt werden.

Die Gesamtbrandlast eines Gebäudes kann in immobile und mobile Brandlasten eingeteilt werden. Mobile Brandlasten werden durch den Nutzer in das Gebäude eingetragen. Es sind Einrichtungsgegenstände; sie stellen meist erhebliche Brandlasten dar. Immobile Brandlasten sind Teil der Gebäudekonstruktion. Sie können von der Bauart des Gebäudes abhängen (verwendetes Tragwerkssystem) oder neutralen Charakter haben.

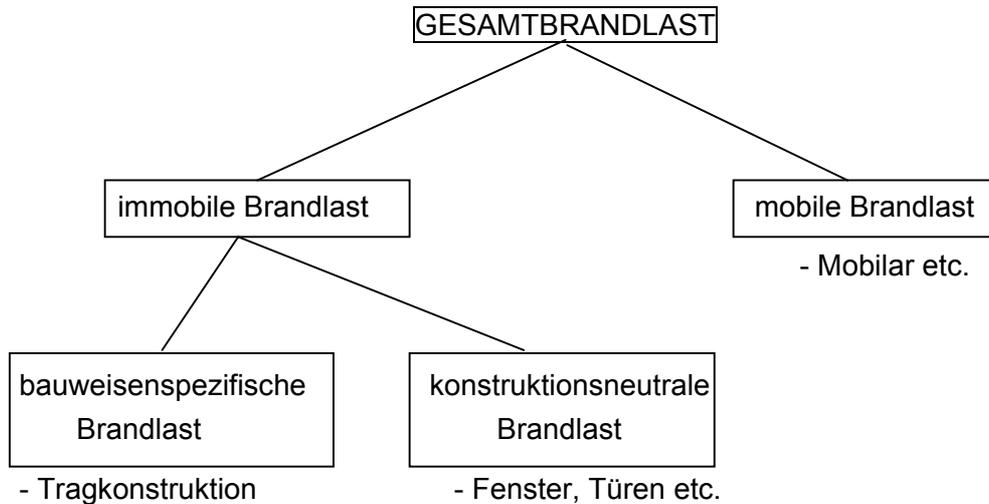


Bild 5.3.2-1: Zusammensetzung der Brandlasten nach [18]

Immobilien Brandlasten sind dann von Bedeutung, wenn

- diese im Brandfall auch thermisch umgesetzt werden können (dem Feuer zugänglich sind)
- diese Brandlasten in einem maßgeblichen Verhältnis zu den Gesamtbrandlasten (mobile und immobile Brandlasten) stehen.

Man geht beim Risikovergleich zunächst von einem normal entfachten Brand aus, der zunächst dem Feuer frei zugängliche Brandlasten (mobile) thermisch umsetzt. Die nichtbrennbaren Oberflächen der BA-Bauteile erfahren eine zeit- und temperaturabhängige Belastung, die zur Zerstörung der Bekleidungen führen kann. Am Anfang der Brandbelastung verhalten sich BA-Bauteile ähnlich reiner nichtbrennbarer A-Bauteile.

Der Zeitpunkt des Versagens der Schutzbekleidung bei BA-Bauteilen, ist von der Brandzeit und von der freigesetzten Energiemenge abhängig. Der Energieanteil resultiert aus der Menge der vorhandenen mobilen und konstruktionsneutralen Brandlast. Durch die Schutzfunktion der Brandschutzbekleidung, wird die Brandlast der Tragkonstruktion sehr stark verzögert freigesetzt. Die Zeitliche Verzögerung ist dabei von den verwendeten Brandschutzbekleidungen abhängig.

Anhand eines mehrgeschossigen Modellgebäudes wurden in [18] die real vorhandenen immobilien Brandlasten der Tragkonstruktion quantifiziert. Weiterhin wird das Risikopotential beurteilt, welches durch die vorhandenen, eingetragenen Brandlasten des Mobils, der Gebäudeausrüstungen und neutraler Konstruktionsteile (Holzfenster und Holz-türen) entsteht.

Untersucht wurden dabei folgende Bauweisen:

- Holzrippenbauweise
- Holztafel- und Holzrahmenbau
- Brettstapelbauweise
- Skelettbauweise

In einem weiteren Schritt wurde eine Minimierung der Brandlasten der einzelnen Holzbauweisen durch die Anwendung und Anordnung brandschutztechnisch wirksamer Bekleidungen (BA-Bauweise) betrachtet und mit der Ausführung in nichtbrennbarer A-Bauweise verglichen.

Ergebnisse:

Als Ergebnis kann gesagt werden, daß ein erhöhtes Risiko durch immobile Brandlasten in Holzhäusern bei Einhaltung der BA-Bauweise nicht besteht. Das Gefährdungspotential brennbarer Tragkonstruktionen kann vernachlässigt werden. Holzkonstruktionen entwickeln bei Anwendung der BA-Bauweise kein Beitrag zur Brandentstehung.

Es wurde festgestellt, das daß eigentliche Risiko immer noch in erheblichem Maße von den mobilen Brandlasten ausgeht. Die Eigenschaften der Entflammbarkeit von Baustoffen verliert in Hinblick auf den Personenschutz an Bedeutung, wenn die Toxizität der Brandgase von Einrichtungsgegenständen mit in die Risikobertrachtung einbezogen wird.

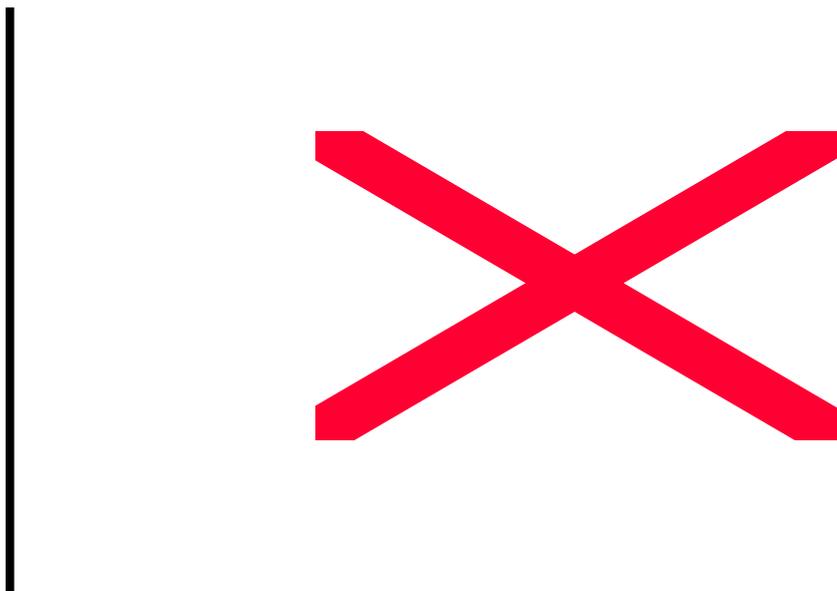


Bild 5.3.2-1: Resultierende Gesamtbrandlast des Modellgebäudes bei Ausführung in verschiedenen Holzbauweisen im Vergleich zur Massivbauweise

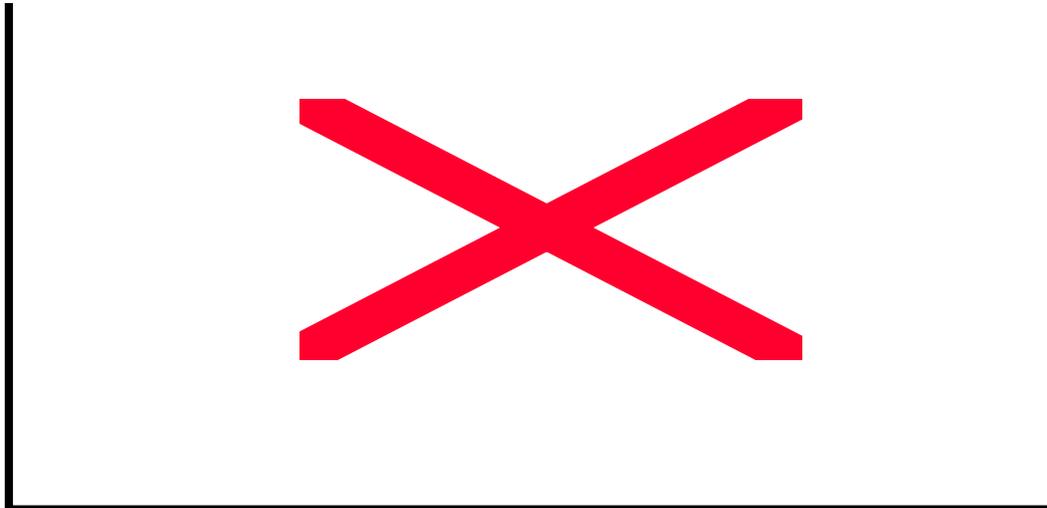


Diagramm 5.3.2.2: Brandlastszenarien eines Modellgebäudes in Holzrippenbauweise

- Toxizität und Haltbarkeit der Brandgase

Die Toxizität der Brandgase ist von den verbrennenden Materialien abhängig. Rauch und Gase dringen in Form von organischen Verbindungen in die äußeren Oberflächen der im Brandraum befindlichen Bauteile ein. Die Haltbarkeit der entstehenden Duftstoffe ist von den betroffenen Baustoffen abhängig. Es konnte festgestellt werden, daß die Festsetzung in Gips- und Kalkmörtelputzen höher ist als in Gipsbauplatten. Sind Putze oder Bekleidungsmaterialien von Brandgasen kontaminiert worden, müssen sie entfernt und durch neue Putzschichten oder Plattenmaterialien ersetzt werden. [15.1]

- Brandweiterleitung durch Installationen

- Brandentstehung innerhalb der Konstruktion

Weitere Brandrisiken entstehen, wenn im Bauteilinneren Entzündungsquellen vorhanden sind (Kabelbrände).

### 5.3.3 Gebäudespezifische Risikofaktoren

Eine Gefährdung für Mensch und Umwelt ergibt sich aus der Art, der Nutzung, der Bauart und der Größe des Gebäudes. Ebenfalls ist die Anzahl der anwesenden Personen entscheidend. Da die Nutzung mehrgeschossiger Holzgebäude verstärkt bei Wohnungs- und Bürobauten erfolgt sind folgende spezifische Risikofaktoren entscheidend.

#### Wohngebäude:

Das Brandrisiko kann hier als sehr hoch eingeschätzt werden. In einem Wohngebäude sind die Aufenthaltsräume überwiegend Wohn- und Schlafräume, Küchen und Bäder. Diese Räumlichkeiten weisen durch den vielseitig vorhandenen Hausrat große Brandlasten auf. Brände entstehen bei Wohngebäuden sehr häufig durch die Unachtsamkeit der Bewohner oder durch schadhafte technische Einrichtungen (siehe Diagramm 5.3-3). Bei einem Brand kann es hier zu hohen Temperatur- und Rauchentwicklungen kommen und damit zu Problemen bei den Lösch- und Rettungsarbeiten der Feuerwehr führen.

- **Geschoßhöhe:**

Ein besonderes Risiko stellt die Höhenlage der Aufenthaltsräume dar. Im mehrgeschossigen Holzbau sind die Gebäude bauordnungsrechtlich auf eine Höhe von 13m beschränkt. Im Hinblick auf die Personenrettung ist bei dieser Höhe der zweite erforderliche Rettungsweg über ein Rettungsgerät der Feuerwehr möglich. Jedoch muß aufgrund der maximal möglichen Gebäudehöhe mit einem größeren Zeitaufwand bei der Rettung und Brandbekämpfung gerechnet werden.

- **Ausdehnung / Größe des Gebäudes:**

Die Risikobewertung bei der Gebäudeausdehnung hängt von der Erreichbarkeit der Fluchtmöglichkeiten ab. Gebäude großer Länge aber geringer Tiefe sind aus brandschutztechnischer Sicht unkritisch, da sich unweit jeder Stelle des Grundrisses Außenwände befinden, durch deren Öffnungen Rauch und Wärme abgeführt sowie Rettungs- und Löscharbeiten durchgeführt werden können. Bei großen Gebäudetiefen ergeben sich jedoch weit von den Außenwänden entfernte, innen liegende Zonen, die nicht natürlich belüftet werden können. Dies bedeutet ein erhebliche Erschwernis der Lösch- und Rettungsarbeiten.

Werden Nutzungseinheiten oder weit ausgedehnte Gebäudeabschnitte nicht von anderen Gebäudeabschnitten getrennt, entsteht ein erhöhtes Gefährdungspotential, was die Ausbreitung von Feuer und Rauch betrifft. Aus diesem Grund sollten Gebäude in Zellenbauweise errichtet werden. Die Nutzungseinheiten sind voneinander zu trennen/abzuschotten. Die Gefahren für Mensch und Umwelt hängen

dann nur noch vom Brandverhalten der verwendeten Baustoffe und dem Feuerwiderstand ab.

#### Bürogebäude:

Das Brandrisiko von Bürogebäuden wird im Vergleich geringer als bei Wohngebäuden eingeschätzt. Die Aufenthaltsräume der Bürogebäude sind in erster Linie Arbeitsräume, die spartanischer eingerichtet sind und daher eine geringere Brandlast beinhalten. Die Belegungsdichte ist in Bürogebäuden mit 1 Pers./10m<sup>2</sup> gegenüber 1 Pers./30m<sup>2</sup> im Wohngebäude höher. Da jedoch oftmals organisatorische Brandschutzmaßnahmen und Fluchtabläufe unter dem betroffenen Personenkreis bekannt sind, wirkt sich die höhere Personenzahl nicht erschwerend aus.

- Gebäude- und bauweisenspezifische Ventilationsbedingungen

Die Flucht- und Rettungswege in einem Gebäude sind Sicherheitsräume und müssen im Brandfall rauchfrei bleiben. Dies sollte in jedem Fall garantiert werden. Die nötige Ventilation muß dafür die Rauch- und Brandgase aus dem Gebäude, bzw. Sicherheitsbereich führen. Dies kann über natürliche Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (Fenster, Rauchklappen) oder über maschinelle Rauchabzüge (Ventilationsanlagen) erfolgen. Können die beiden erst genannten Ventilationsbedingungen nicht erfolgen, muß das Eindringen von Rauch durch Erzeugung eines Überdrucks verhindert werden. Im Brandfall drückt eine Lüftungsanlage (< 50 Pa) Frischluft in den rauchfrei zu haltenden Raum und erzeugt auf diese Weise ein Überdruck, der das Eindringen von Rauch verhindert.

## 5.4 Kompensation der Risikofaktoren

Kompensierende Faktoren, baulicher, anlagentechnische und organisatorischer Brandschutzmaßnahmen:

### Bauliche Maßnahmen

- nichtbrennbare Oberflächen

In Rettungswegen von Holzbauwerken müssen freiliegende, brennbare Baustoffe vermieden werden. A-Bauteile im Bereich von Fluchtwegen (z.B. massive Treppenträume) sind deshalb erforderlich.

- Holzbauteile müssen nach Abbrandgeschwindigkeit und der geforderten Feuerwiderstandsdauer entsprechend dimensioniert sein.

- chemische Brandschutzmaßnahmen

Durch Schutzanstriche (Imprägnierungen mit Feuerschutzsalzen) kann die Gefahr der Entzündung und der schnellen Feuerausbreitung bei Holzbauteilen minimiert werden. Es ergibt sich eine Reduzierung der Entflammbarkeit, jedoch nicht der Brennbarkeit. Brandchutzklassen dürfen nicht reduziert werden. Die Anwendung ist auf den Innenraum begrenzt.

- Brandkapselung der Bauteile von BA - Bauteilen

Die Brand- und Rauchweiterleitung über Hohlräume und Fugen muß durch ein dichtes Zusammenfügen der Bekleidungsmaterialien verhindert werden. Dafür sind die Bauteile mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen zu versehen.

- Ausführung nach Muster-Holzbaurichtlinie

Ausbildung der Anschlüsse von Wänden und Decken entsprechend den Vorgaben der Muster-Holzbaurichtlinie (Stufenfälze, Wahl der Bauteilaufbauten, Ausführung der Anschlußdetails, Ausführung von Installations- und Rohrdurchführung durch raumabschließende Bauteile etc.), um einer Brand- und Rauchweiterleitung in angrenzende Bereiche vorzubeugen.

- Einbauten in Wand- und Deckenkonstruktionen nach Abschottungsprinzip

Durchdringungen bei Installationsführungen und Öffnungen dürfen keine Brandeindeitung in die Bauteile bewirken. Durchgehende Fugen sind nicht zulässig, da sie das Eindringen von heißen Brandgasen nicht verhindern können. Günstig wirken sich Installationsebenen aus, die vor dem eigentlichen BA-Bauteil errichtet werden. Die entsprechende Wand wird nicht durchdrungen, und kann somit eine Bauteilkapselung garantieren. Für die Ausbildung von Laibungen sind Stufenfälze nötig.

Türen und Fenster müssen die gleiche Feuerwiderstandsdauer aufweisen wie die Wand in der sie eingebaut werden. Dies gilt auch für die Glasflächen.

- Zweiter baulicher Rettungsweg

Durch Rettungsgeräte der Feuerwehr oder durch außenliegende, am Gebäude baulich befestigte Not- und Feuertreppen, die aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen müssen, kann der zweite notwendige Rettungsweg realisiert werden.

- Eindeutige und kurze Rettungswege durch Brandabschnittsbildung

Die Nutzungseinheiten im mehrgeschossigen Holzbau sind auf maximal 400 m<sup>2</sup> beschränkt. Alle darüber hinausgehenden Flächen sind durch Trennwände in andere Brandabschnitte einzuteilen. Wohnungseinheiten sind durch „brandwandähnliche“ Wände voneinander zu trennen.

#### Anlagentechnische Maßnahmen

- Rauchmelder/Brandmelder/Sprinkleranlagen

Sind brennbare Baustoffe vorhanden (z.B. Holztreppen), müssen entsprechende Kompensationsmaßnahme (z.B. der Einbau von Brandmeldern) getroffen werden. Durch die nachträgliche Verkleidung von Holztreppen und Podesten mit nichtbrennbaren Baustoffen wird die Sicherheit des Rettungsweges im Brandfall nur wenig verbessert. Die Feuerwiderstandsdauer erhöht sich nur geringfügig.

Der Einbau von ortsfesten Löschanlagen, wie z.B. Srinkleranlagen oder Wassernebellöschanlagen kann schon in der Brandentstehungsphase durch frühzeitiges Auslösen eine wirksame Löschmaßnahme sein. Durch die Ausrüstung der Flucht- und Rettungswege (Treppenräume) mit Handlöschgeräten, kann den Nutzern des Gebäudes ebenfalls die Möglichkeit der Bekämpfung entstehender Brände gegeben werden.

- Einbau von Rauch- und Wärmeabzugseinrichtungen

Kann der Abzug von Rauch und heißen Brandgasen nicht durch natürliche Ventilationsbedingungen (Fenster, Rauchklappen) erfolgen müssen die entsprechenden Brandabschnitte mit speziellen Rauch- und Wärmeabzugsanlagen ausgerüstet werden.

### Organisatorische Maßnahmen

- Angaben zur Qualifizierung der ausführenden Firmen  
Um die geforderten Ausführungsqualitäten der Bauteilfertigung gleichbleibend zu erhalten, müssen Betriebe einer Qualitätsprüfung unterzogen werden.
- Unterrichtung der Gebäudenutzer über Brandschutzvorkehrungen (Alarmplan)
- Beschilderungen, Notbeleuchtungen

## **5.5 Risikovergleich Holzbau – Stahlbau**

Holzbauteile benötigen im Rahmen der Brandschutzertüchtigung keine Bekleidung. Die gewünschte Feuerwiderstandsklasse kann in Abhängigkeit von der Belastung / Spannung, allein durch entsprechend dimensionierte Bauteilabmessungen erreicht werden. Wenn die Feuerwiderstandsklasse nicht durch eine Überdimensionierung erreicht werden kann, ist aber auch eine Feuerschutzbekleidung möglich. Um Stahlbauteile entsprechend der geforderten Feuerwiderstandsklasse auszurüsten, reicht eine Überdimensionierung nicht aus. Stahlbauteile müssen in jedem Fall bekleidet werden. Eine Holzstütze und eine Stahlstütze können durch entsprechende Bekleidungen eine Feuerwiderstandszeit von 90 Minuten erreichen. Beide werden F90 klassifiziert. Die Stahlstütze mit der Bezeichnung F90-A (nach neuer MBO F90-N) und die Holzstütze mit F-90 BA (nach neuer MBO F-90 G (b) ). Fällt während der Brandbelastung ein Teil der Schutzbekleidung ab, oder werden Teile zerstört, so erreicht die Stahlstütze innerhalb weniger Minuten ihre kritische Temperatur. Diese liegt bei ca.500 °C. Die Stahlstütze besitzt dann nur noch 60 % des früheren E-Moduls. Es beginnt der Bereich der plastischen Dehnung; die Stahlstütze beginnt zu versagen. Die Holzstütze wird zu diesem Zeitpunkt zwar an der Oberfläche brennen, da die Entzündungstemperatur von 300 °C überschritten wurde, doch der statisch erforderliche Holzanteil (Kern) der Stütze ist nach wie vor vorhanden und garantiert die Tragfähigkeit. Die sich bildende Holzkohleschicht wirkt außerdem isolierend.

Das Brandrisiko einer Holzstütze F 90 – BA ist wesentlich kleiner als das vergleichbare Risiko einer bekleideten Stahlstütze F 90 – AB.

## 6. Simulation einer Normbrandbelastung

(alle Zeichnungen, Diagramme und Tabellen zu Kapitel 6 sind im Anhang 3 enthalten)

Mit einer rechnerunterstützten Brandsimulation, entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) soll hier das Temperaturverhalten eines Wandanschlusses in Holztafelbauart untersucht werden. Gewählt wurde dafür eine Anschlußsituation zweier Innenwände, wie sie nach Muster-Holzbaurichtlinie gefordert wird (siehe Anhang 1 Bild 5 und Kapitel 3.3). Die Ergebnisse sollen eine Bekleidungsart zeigen, die den Anforderungen der geforderten „brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung“ entspricht, um dann in Kapitel 7 bei der Realisierung eines mehrgeschossigen Holztafelbaus Anwendung zu finden.

### 6.1 Eingangsdaten und Simulationsablauf

Im mehrgeschossigen Holzrahmen- und Holztafelbau fordert die MBO (November 2000) eine hochfeuerhemmende Brandsicherheit für tragende und aussteifende Bauteile. Hochfeuerhemmend bedeutet in diesem Fall eine 60 minütige Aufrechterhaltung der Standsicherheit während der Brandbelastung. Dabei darf es zu keinem verdeckten Weiterbrennen in der Konstruktion kommen, da dies zu einem verzögerten Tragwerksversagen oder einem Weiterbrand in andere Nutzungseinheiten führen kann. Eine Entzündung der Holzbauteile im Inneren der Konstruktion ist daher zu verhindern.

Durch praxisnahe Experimente [15.1] im IBMB der TU Braunschweig, konnte die Entzündungstemperatur von Fichtenholz ermittelt werden. Die Versuche ergaben, daß diese bei Fichtenholz mindestens 300 °C beträgt.

Damit ergeben sich Anforderungen für die Bekleidungen hochfeuerhemmender Bauteile. Wandbekleidungen müssen die Konstruktion so gut gegen die Brandraumtemperatur isolieren, daß die Entzündungstemperatur von 300°C an der Holzoberfläche während der geforderten Sicherheitsdauer von 60 Minuten nicht überschritten wird.

#### 6.1.1 Eingangsdaten

Gesucht werden Plattenmaterialien und ein entsprechender Aufbau der Bekleidungsart, um eine Temperatur von 300°C auf der Holzoberfläche der Wandständer zu verhindern.

Bei dem untersuchten Bauteil handelt es sich um einen Anschlußpunkt zweier Innenwände. Die Wände bestehen aus Holzständern 60 x 120 mm, Mineralwolldämmung 120 mm (Schmelzpunkt > 1000°C) und einer zweilagigen Bekleidung. Die Wände sind mit einer Verschraubung zusammengefügt. Am Stoßpunkt der Wände wurde die Beplankung im Fugenversatz verlegt.

Geprüft wurden zwei Bekleidungsvarianten:

1. Versuch

1 x 16 mm Gipskartonplatte außen und 1 x 13 mm Gipskartonplatte innen

2. Versuch

2 x 15 mm Gipsfaserplatten und am Ständer 1 Streifen 12,5 mm Gipsfaserplatte

(zeichnerische Darstellung siehe Anhang 3)

Die Simulation der Brandbelastung nach normgerechten Temperaturanstieg (ETK), erfolgte mit dem Berechnungsprogramm Heat 2d. Dieses Rechenmodell ist in der Lage stationäre Temperaturentwicklungen an Bauteilen zu simulieren.

Nach der Darstellung der Bauteilgeometrien folgte die Eingabe der Einheitstemperaturzeitkurve. Dafür wurden mehrere Temperatur – Zeitpaare eingegeben, die den Verlauf der ETK in schrittweise linearen Temperaturanstiegen darstellten. Anhand dieser Urdaten kann das Programm nun zeitabhängige Brandabläufe und die Temperaturentwicklungen simulieren.

### 6.1.2 Simulationsablauf

In kurzen Zeitabständen von 10 bis 15 Minuten, wurde an 12 unterschiedlichen Punkten die Temperaturentwicklung gemessen. Die Messpunkte liegen an den Grenzflächen der unterschiedlichen Materialien. Wichtige Messpunkte sind besonders die Punkte 1.1, 3.1, 3.4, 3.5 und 4.1, da hier die Oberflächentemperatur des Holzes gemessen wird. (siehe Diagramme Anhang 3)

## 6.2 Ergebnisse

### Versuch 1

Nach den Berechnungsergebnissen ist die Bekleidungsvariante 1 (2xGipskartonplatten 16/13mm) für eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten nicht geeignet. Die Holzoberfläche am Messpunkt 1.1 hatte nach ca. 40 Minuten die Grenztemperatur von 300°C erreicht. Auch die Punkte 3.1 und 4.1 liegen in diesem Zeitbereich. Die Messpunkte 3.4 und 3.5 versagen erst nach 90 bis 100 Minuten Brandbelastung. Dies liegt an der stärkeren Materialdicke, die zwischen dem Holz und dem Brandraum liegt. Außerdem ist im Eckbereich wesentlich mehr Bauteilmasse vorhanden, die erst erwärmt werden muß, ehe die darunterliegenden Schichten/Punkte von der erhöhten Temperatur belastet werden. Bei den äußeren Ständern ist dies nicht der Fall, hier steigt die

---

Temperatur schneller an. Das Verbindungsmittel zwischen den Wänden, erfuhr während der Simulation keine nennenswerte Temperaturbelastung.

## Versuch 2

Die Bekleidungsvariante 2 (2x15mm Gipsfaserplatten, 1 Streifen 12,5mm Gipsfaserplatte am Ständer) ist nach den Ergebnissen der Simulation für eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten geeignet. Die Holzoberfläche an den Messpunkten 1.1 und 4.1 erreichen erst nach ca. 75 Minuten den kritischen Temperaturbereich der Holzentzündung. Punkt 3.1 hält der Temperaturbelastung sogar 90 Minuten stand. Die Punkte 3.4 und 3.5 erreichen aus vorgenannten Gründen Widerstandszeiten von 120 bis 180 Minuten.

Erst durch den Einbau der 12,5 mm starken Gipsfaserstreifen, konnte eine ausreichende Verzögerung der Oberflächenerwärmung des Holzes erzielt werden.

Die Widerstandszeiten der Messpunkte 3.4 und 3.5 zeigen, daß die Konstruktion der Eckbereiche eine ausreichende Hitzeisolation bietet. So blieb auch in Versuch 2 die Stahltemperatur des Verbindungsmittels unter den kritischen 500 °C. Sie war zu keinem Zeitpunkt höher als 100°C. Die Oberflächentemperatur der nicht brandbelasteten Wände stieg in beiden Versuchen nach 180 Minuten auf maximal 16 °C.

Die Messpunkte, die zwischen den Gipsfaser- oder Gipskartonplatten positioniert sind, weisen teilweise erhebliche Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Gipsbauplatten auf. So erfährt die äußere Gipsfaserplatte im 2. Versuch eine durchschnittliche Differenztemperatur von ca. 200 °C. Nach 60 Minuten Brandeinwirkung beträgt die Differenz zwischen Messpunkt 4.2 und 4.3 193 °C. Zwischen Punkt 4.1 und 4.3 kommt es sogar zu einem Temperaturunterschied von 424 °C.

Es ist daher davon auszugehen, daß im Realversuch Teile der Beplankung aufgrund der massiven Temperaturunterschiede und den daraus folgenden Materialverspannungen abplatzen, und die Sicherheitsdauer der Wand dadurch negativ beeinflusst wird. Die Auswirkung der Abgabe des gespeicherten Wassers im Gipsbaustoff der Beplankungsmaterialien, wirkt sich dagegen positiv auf die Widerstandszeit aus.

Diese Faktoren sind im Programm jedoch nicht berücksichtigt. Die ermittelte Widerstandszeit kann sich vom Realmaßstab unterscheiden.

Nach der Bauteilsimulation mit dem Computermodell Heat 2d kann Wandquerschnitt 2 aufgrund der erfüllten Widerstandszeit von 60 Minuten als hochfeuerhemmendes Bauteil eingestuft werden. Im folgenden Kapitel wird die Konstruktion Anwendung finden.

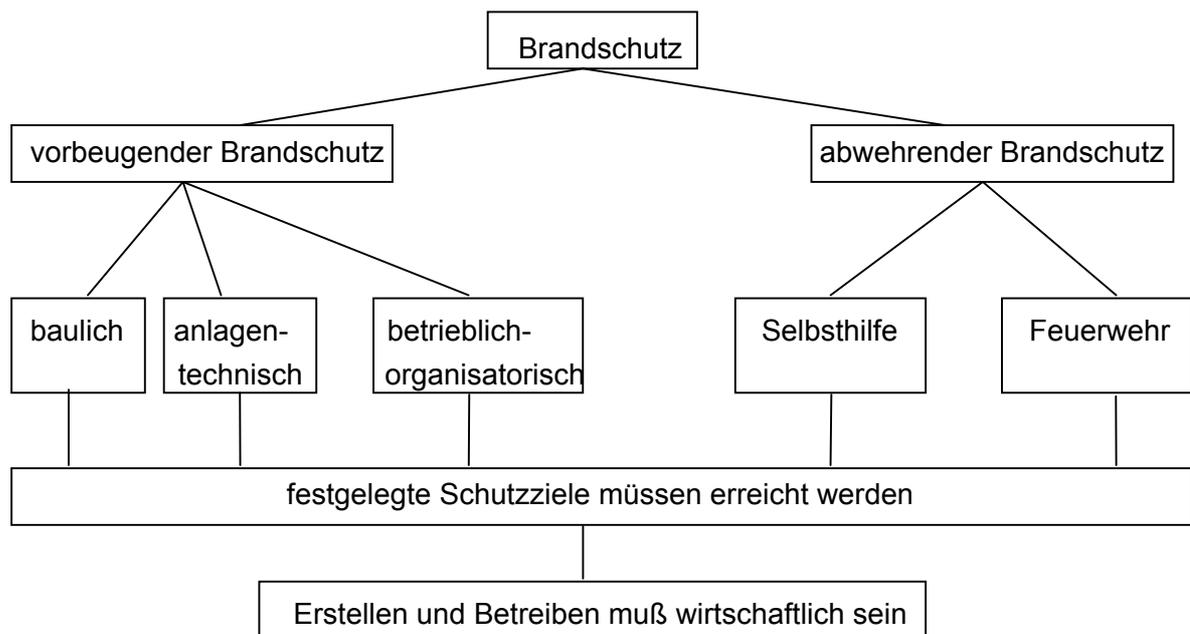
## 7 Machbarkeitsstudie anhand eines fünfgeschossigen Holztafelbaus

(alle Zeichnungen und Pläne dieses Kapitels sind im Anhang 4 enthalten)

Die Erarbeitung eines Brandschutzkonzeptes für ein fünfgeschossiges Wohnhaus der Gebäudeklasse 4, soll in diesem Kapitel die brandschutztechnische Realisierbarkeit mehrgeschossiger Holzbauten darstellen. Mit den Ergebnissen soll auch eine mögliche Machbarkeit in anderen Gebäudeklassen überprüft werden.

### 7.1 Aufbau und Gliederung des Brandschutzkonzeptes

Nach [7] setzt sich der Brandschutz aus dem vorbeugenden Brandschutz und abwehrenden Brandschutz zusammen:



Anhand dieser Grafik kann für das Wohngebäude ein entsprechendes Brandschutzkonzept erstellt werden. Vorbeugende und brandabwehrende Brandschutzmaßnahmen sollen dabei vorher definierte Schutzziele erfüllen.

Für Gebäude normaler Art und Nutzung gelten nach MBO folgende allgemeine Hauptschutzziele:

- der Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen
- Schutz von bestimmten Sachwerten
- Schutz von Leben und Gesundheit von Mensch und Tier
- Objektschutz

- Nachbarschaftsschutz
  - Schutz von benachbarten Gebäuden und der darin befindlichen Personen und Gebäudeinhalte
- Schutz der Umwelt
  - Luft (Brandgase)
  - Wasser (Löschwasser)
  - Erdreich (Löschwasser)
- Denkmalschutz
  - Erhalt der Bausubstanz und Struktur
  - Schutz der Gebäudeinhalte
- Einsatzmöglichkeiten und Sicherheit der Feuerwehr gewährleisten

Für eine Realisierung dieser Schutzziele müssen diese konkretisiert werden, um dann in geeigneten Maßnahmen umgesetzt werden zu können.

Definition konkreter Schutzziele nach [20]:

- zuverlässige Verhinderung der Brandentstehung
- definierte Begrenzung der Rauchausbreitung
- definierte Zuverlässigkeit für die Entdeckung eines Brandes
- definierte Zeit der Tragfähigkeit der Baukonstruktion bei bestimmter Brandeinwirkung
- definierte Hilfsfrist und Stärke der Intervention durch die Feuerwehr

Nachfolgend werden diese Schutzziele in vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzmaßnahmen umgesetzt.

## 7.2 Vorbeugende Brandschutzmaßnahmen

### 7.2.1 Bauliche Maßnahmen

#### 7.2.1.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung

Der Entwurf des Gebäudes entstammt dem Braunschweiger Architekturbüro ARCHITECTEN REICHEL + SAUTER. Die ursprüngliche Planung sieht die Errichtung des Gebäudes in Massivbauweise vor. Anhand der verwendeten Architektenpläne in Anhang 4, kann man Stahlbeton- und Kalksandsteinbauteile erkennen. Diese Angaben gelten für diese Arbeit nicht. Für die Machbarkeitsstudie dieser Arbeit, wird eine Annahme getroffen, die eine Tragwerksausführung in Holztafelbauart vorsieht. Von den Architektenplänen sollen nur die Gebäudegeometrien übernommen werden.

Desweiteren werden keine statischen oder bauphysikalischen Planungsansätze bei der Konzeption in Holzbauweise einbezogen.

Bei der baulichen Anlage handelt es sich um ein 5-geschossiges Mehrfamilienhaus, mit 4 Vollgeschossen und einem Staffelgeschoß. Das rechteckige Gebäude ist freistehend und vollständig unterkellert. Bis zur Oberkante Fertigfußboden im Staffelgeschoß, beträgt die maximale Gebäudehöhe 12,02 m. Damit ist es ein Haus mittlerer Höhe und gehört zur Gebäudeklasse 4, wo die Fußbodenoberkante des letzten Geschosses in dem Aufenthaltsräume möglich sind, nicht höher als 13m über Geländeoberfläche liegen darf (§2 MBO 11/2000). Auf jedem Geschoß befinden sich zwei Wohneinheiten; mit dem Staffelgeschoß entstehen somit 9 Wohnungen. Die Größe der Nutzungseinheiten je Geschoß ergibt sich wie folgt:

Schlafräum	15 m <sup>2</sup>
Kinderzimmer	12 m <sup>2</sup>
WC	4 m <sup>2</sup>
Bad	7 m <sup>2</sup>
Diele	8 m <sup>2</sup>
Flur	6,5 m <sup>2</sup>
Küche	7.5 m <sup>2</sup>
Essen/Wohnen	29 m <sup>2</sup>
Summe	89 m <sup>2</sup>
Nutzfläche je Geschoß	<u>178 m<sup>2</sup></u>

Die maximale Fläche der Nutzungseinheiten je Geschoß beträgt demnach 178 m<sup>2</sup>, da der Grundrissaufbau horizontal und vertikal symmetrisch ist. Die maximal mögliche Fläche der Nutzungseinheiten je Geschoß wäre nach MBO (11/2000) 400 m<sup>2</sup>.

Mit einer Fläche von 123 m<sup>2</sup> im Dach- / Stufengeschoß und mit 712 m<sup>2</sup> der 4 unteren Geschosse ergibt sich eine Gesamtfläche des Mehrfamilienhauses von 835 m<sup>2</sup>.

Alle Geschosse / Wohnungen sind mit einem mittig eingesetzten Treppenhaus verbunden. Außerdem ist im gleichen Treppenhaus ein Aufzug vorhanden. Auf der südwestlichen Gebäudeseite hat jede Wohneinheit einen Balkon; bzw. Terrasse im Erd- und Stufengeschoß. Bis auf die in Massivbauweise erstellten Keller- und Treppenräume sollen alle Bauteile in Holztafelbauweise errichtet werden. Teile der Außenwände des Treppenhauses sind vollflächig verglast. Die Höhe der Aufenthaltsräume beträgt 2,63m. Der obere Gebäudeabschluß wird durch ein Flachdach mit harter Bedachung (Metalldeckung) gebildet.

### **7.2.1.2 Abstandsflächen**

In direkter Nachbarschaft zur Nordwestlichen Außenwand des Wohnhauses, befindet sich ein weiterer Bau. Um einen Feuerüberschlag durch Flugfeuer zu verhindern müssen Abstandsflächen zu Nachbargebäuden und Grundstücksgrenzen eingehalten werden. Nach §6 (4,5) der Musterbauordnung entspricht die Tiefe der Abstandsfläche genau 2/5 der Wandhöhe des Hauses (0,4H). Dabei wird vom Erdboden bis zum Schnittpunkt der Wand mit dem Dach gemessen. Im vorliegenden Fall beträgt die Wandhöhe 14,95 m (Oberkante Rohdecke bei Staffellgeschoß). Damit ergibt sich eine Abstandsfläche zum Nachbarhaus von  $0,4 \times 14,95\text{m} = 5,98\text{m}$ . Dieser Wert wird eingehalten. (siehe Anhang 4-1, 4-2, 4-6)

### **7.2.1.3 Zugänglichkeit zum Grundstück**

Nach §17 MBO sind für jede Nutzungseinheit mit Aufenthaltsräumen zwei voneinander unabhängige Rettungswege einzuplanen. Im vorliegenden Fall ist der erste Rettungsweg der notwendige Treppenraum. Für den zweiten Rettungsweg dienen die Balkone auf der Südwestseite des Gebäudes. Da die obere Brüstungshöhe für Steckleitern zu hoch ist (> 8m), muß hier nach § 5 der MBO, eine Bewegungs- und Stellfläche für ein Hubrettungsfahrzeug der Feuerwehr bereitstehen. Diese soll sich direkt vor der Südwestseite des Gebäudes befinden. Die Aufstellfläche muß mindestens 3,50m breit sein und bei einer Anleiterhöhe von nicht mehr als 18 m zwischen 3 und 9 m vor dem Gebäude angeordnet sein.

### 7.2.1.4 Brandabschnitte

Um die Ausbreitung eines Brandes im Gebäude zu verhindern, beziehungsweise auf nur kleine Teilbereiche zu begrenzen, werden Brandabschnitte gebildet. Aufgrund der vertikal und horizontal symmetrischen Gliederung der Stockwerke, kann jede Wohneinheit einen Brandabschnitt bilden. Nach § 28 MBO (11/2000) gilt folgendes:

*(1) Brandwände sind erforderlich*

*1. zum Abschluß von Gebäuden (Gebäudeabschlußwand), bei denen diese Abschlußwände an der Nachbargrenze oder mit einem Abstand bis zu 2,50 m gegenüber der Nachbargrenze errichtet werden, es sei denn, daß ein Abstand von mindestens 5 m zu bestehenden oder nach den baurechtlichen Vorschriften zulässigen künftigen Gebäuden gesichert ist,*

*2. als innere Brandwand zur Unterteilung ausgedehnter Gebäude in Abständen von nicht mehr als 40m,....*

Da in unserem Fall die Grenzabstände zur Grundstücksgrenze größer als 2,50 m sind und der Abstand zum Nachbarhaus auch größer als 5 m ist, müssen die Außenwände nicht als Brandwand ausgeführt werden. Für die innere Gliederung der Brandabschnitte sind ebenfalls keine Brandwände erforderlich, da es sich nicht um ein ausgedehntes Gebäude mit weitläufigen Flächen handelt. Paragraph 28 kommt nicht zur Anwendung. Die bauordnungsrechtlichen Anforderungen der Brandabschnittsbildung regelt § 27:

*Trennwände (neu)*

*(1) 1 Zwischen Nutzungseinheiten und zwischen Nutzungseinheiten und anders genutzten Räumen sind Trennwände erforderlich, die ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch sind.*

*(2) 1 Trennwände sind*

*1. in der Gebäudeklasse 5 feuerbeständig mit der Anforderung G,*

*2. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmend mit der Anforderung G,... herzustellen.*

*3 Satz 1 gilt nicht für Trennwände gegenüber notwendigen Treppenräumen oder notwendigen Fluren.*

Diese bauordnungsrechtlichen Vorgaben haben folgend Auswirkungen auf die Bildung der Brandabschnitte des Mehrfamilienhauses:

Die Trennung der Wohneinheiten erfolgt durch Trennwände der Feuerwiderstandsklasse **F-60 BA**. In den Obergeschossen 1, 2 und 3 befindet sich die Trennwand genau in der Gebäudesymmetrie und trennt die Wohnungen direkt gegeneinander ab. Dabei muß die Trennwand bis unter die Rohdecke geführt werden. Im Erdgeschoß werden die Wohnungen durch die Trennwände gegen den notwendigen Flur abgetrennt. Das gesamte Dachgeschoß wird durch eine Wohnung gebildet; somit erfolgt keine Abgrenzung zu einer anderen Nutzungseinheit. Hier wird der Brandabschnitt durch die ganze Wohneinheit gebildet. Die Grenzen dieses Brandabschnittes sind die Außenwände des

Stufengeschosses. Horizontal werden die Brandabschnitte durch die Wohnungstrenndecken der Stockwerke unterteilt.

(siehe Anhänge 4-5 bis 4-8))

Nach § 33 MBO (11/2002) müssen Wände notwendiger Flure in der Gebäudeklasse 4, die Feuerwiderstandsklasse **F-30** / feuerhemmend erfüllen. Dies ist mit **F-60 BA** garantiert.

Für die Ausführung der Wohnungstrennwände werden zwei Varianten vorgeschlagen.

(siehe Anhang 4-9 bis 4-10)

#### Variante 1 zweischalig:

Die Trennwände zwischen den Wohnungen bilden sich aus zwei einzelnen **F-60 BA** Wänden, bestehend aus (siehe auch Anhang 4-9):

- Gipskarton-Feuerschutzplatte (d = 12,5mm)
- Spanplatte (d = 13 mm) und eine Dampfsperre
- Holzstiel (d = 60mm) (1. Wandschale)
- Fuge , Breite 2 mm
- Holzstiel (d 0 60 mm) (2. Wandscheibe)
- Spanplatte (d = 13mm) und eine Dampfsperre
- Gipskarton-Feuerschutzplatte (d = 12,5 mm)

In den zwischen der Beplankung der Holzstiele entstandenen Hohlraum (Breite 2x60 mm) werden zwei Mineralfaser-Dämmschichten (Rohdichte 50kg/m<sup>3</sup>), die durch die 2mm breite Fuge getrennt sind eingebaut. Die Stöße der Dämmplatte sind nach M-HbauRL zu versetzen. Weiterhin fordert die Musterholzbaurichtlinie für Dämmmaterialien nichtbrennbare Baustoffe mit einem Schmelzpunkt < 1000°C gemäß DIN 4102-17.

Die Bemessung der Trennwand erfolgte nach DIN 4102-4, Tab.51, Zeile 14.

#### Variante 2 einschalig:

Im Zuge der theoretischen und experimentellen Grundlagenuntersuchung zum Brandschutz mehrgeschossiger Holzhäuser [18] wurde eine Holzständerwand entwickelt, die den Anforderungen einer Brandwand entspricht. Es handelt sich um eine Einfach-Ständerwand mit der Anforderung **F 90-BA** und Brandwandstoßbeanspruchung. Der Wandaufbau gliedert sich in folgende Teile (siehe auch Anhang 4-10):

- 15 mm Gipsfaserplatte
- 38 mm Stahlblechtafel
- 15 mm Gipsfaserplatte
- 12,5 mm Gipsfaserplatte
- Holzstiel z.B. 60 x 160 mm
- gleicher Plattenaufbau wie vor

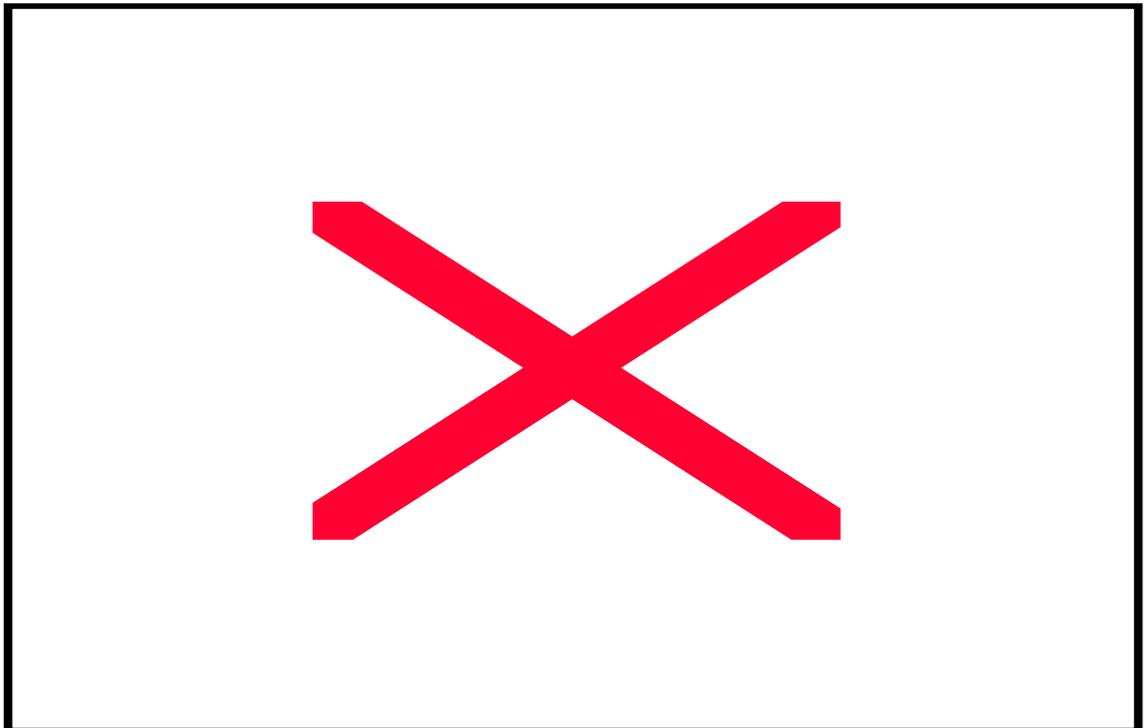


Bild 7.2.1-1: Konstruktionsvariante 2 – „brandwandähnliche“ Holzständerwand

Zwischen den Holzstielen füllt 160 mm starke Mineralwolle den Hohlraum aus. Sie entspricht dabei den Anforderungen der M-HbauRL.

Dieser Wandaufbau wurde eigentlich für Brand- und Gebäudeabschlußwände in Trockenbauweise entwickelt, doch wäre der Einsatz für eine Wohnungstrennwand auch denkbar.

Bei der Bauteilprüfung im IBMB der TU-Braunschweig wurde diese Wandkonstruktion als Brandwand geprüft. Dabei überstand die Konstruktion eine 90 minütige Normbrandbeanspruchung und Stoßbelastungen durch Bleisackstöße nach DIN 4102-3. Zwar ist nach 75 die komplette äußere, dem Feuer zugewandte Beplankungslage abgefallen, doch konnte auf der feuerabgewandten Seite kein Feuerdurchtritt oder Versagen der Ständer beobachtet werden. Erst nach 97 Minuten brach die erste Plattenlage auf der feuerabgewandten Seite und entzündeten sich erste Holzständer. Die Ergebnisse zeigen, daß Brandwände in Holzbauweise möglich wären.

- Für den Einsatz in unserem Beispielhaus wird jedoch die **Trennwand Variante 1** gewählt. Sie erscheint als die wirtschaftlichere Lösung der Brandabschnitttrennung und ist bereits nach DIN 4102-4 klassifiziert.

### 7.2.1.5 Bauteile und Anschlußdetails

Die Anforderungen an die Bauteile werden entsprechend der neuen MBO festgelegt.

- Tragende und aussteifende Wände

Nach § 25 MBO (11/2002) gilt für tragende und aussteifende Wände der Gebäudeklasse 4 die Anforderung Hochfeuerhemmend in Gemischtbauweise. Für Dachräume trifft diese Regelung nicht zu, wenn über diesen Räumen kein weiterer Aufenthaltsraum möglich ist. Dies bedeutet für tragende und aussteifende Wände, Pfeiler und Stützen -

- vom Erdgeschoß bis zum 3. Obergeschoß: hochfeuerhemmend **F-60 G (F-60 BA)**

- im Dachgeschoß: feuerhemmend **F-30 B**

Dies bedeutet, daß alle Bauteile vom EG bis zum 3. OG vollständig mit nichtbrennbaren Gipsbauplatten bekleidet sein müssen und keine sichtbaren Holzbauteile eingesetzt werden dürfen. Im Dachgeschoß dagegen können sichtbare Holzbauteile erlaubt werden. So könnten z.B. sichtbare Brettschichtholzbinder als Dachtragwerk vorgesehen werden.

Mit den Vorgaben aus Kapitel 6 (Versuch 2 mit Bekleidung für F 60 BA) und den Angaben für die Trennwände, ist die Ausführung der Innenwandbeplankungen bekannt.

Für die Trennwände ergibt sich ein Aufbau nach DIN 4102-4:

- Gipskarton-Feuerschutzplatte (d = 12,5mm)
- Spanplatte (d = 13 mm) und eine Dampfsperre
- Holzstiel (d = 60mm) (1. Wandschale)
- Fuge , Breite 2 mm
- 2. Wandscheibe wie vor

Für die übrigen tragenden und aussteifenden Innenwände werden die Ergebnisse aus der Heat – Brandsimulation herangezogen:

- 15 mm Gipsfaserplatte
- 15 mm Gipsfaserplatte
- 12,5 mm Streifen Gipsfaserplatte am Holzständer
- Holzständer 60 x 120 mm

(Wandaufbau symmetrisch, siehe Anhang 3-5)

- Außenwände

§ 26 der MBO (11/2000) fordert für nichttragende Teile tragender Außenwände und für nichttragende Außenwände Baustoffe der Klasse A – nichtbrennbar, oder generell nur feuerhemmende (F 30) Bauteile. Die Oberflächen von Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Unterkonstruktion und der Dämmung aus schwerentflammenden Baustoffen bestehen.

Der gewählte Wandaufbau der Außenwand ergibt sich nach folgendem Schema:

Der Aufbau von der Innenseite erfolgt zunächst mit einer Installationsebene, die vor die eigentliche Wandkonstruktion gesetzt wird. Die äußere Beplankungsschicht der Inst.-Ebene besteht aus einer 15 mm starken Gipsfaserplatte. Danach beginnt die Außenwand mit dem bekannten Beplankungsaufbau: von der Innenseite 2 x 15 mm Gipsfaserplatten + 1 Streifen Gipsfaserplatte am Holzständer. Die Außenseite zeigt den gleichen Beplankungsaufbau. Für die Dämmung wurde ein Faserdämmstoff nach DIN 18165-1 mit einem Schmelzpunkt  $< 1000^{\circ}\text{C}$  vorgesehen. (siehe auch Anhang 4) Der generelle Wandaufbau der Außenwände erfolgt nach dem gleichen Schema, welches auch bei den Innenwänden angewandt wurde.

Die äußere Fassade der Außenwände soll mit 12 mm ETERNIT – Fassadentafeln versehen werden. Die Fassadenbekleidung ist geschoßübergreifend. Nach den Forderungen der MBO, sind dafür schwerentflammende B1 Baustoffe zu verwenden, um das Schutzziel des sich nicht selbständig wesentlich über die Zündquelle hinaus ausbreitenden Brandes zu erreichen. Die Baustoffeigenschaften der Holzcolor Fassadentafeln der Firma ETERNIT erfüllen diese Forderung, da es sich um schwerentflammende Baustoffe (B1) handelt. Die Fassadentafeln werden auf einer senkrecht verlaufenden Traglattung befestigt. Die vertikale Traglattung wird auf der äußeren Beplankungsebene der Außenwand befestigt. Der durch die vertikale Traglattung entstehende Hohlraum wird dicht mit raumbeständigem Dämmstoffstreifen verschlossen. Zuluftöffnungen an der Unterseite der Fassade und an Fenster- und Türöffnungen, werden mit so-

genannten Fugenelementen verschlossen. Ein entsprechendes Produkt liefert die Firma Promat: PROMASEL-PL-Fugenelement. Dieser flexible Kunststoffstreifen hat die

Eigenschaft bei Brandeinwirkung aufzuschäumen und durch die Volumenvergrößerung sämtliche Fugen und Öffnungen zu schließen.

Die zeichnerische Darstellung der Außenwand enthält Anhang 4-11 und 4-12.

- Decken

§ 29 MBO (11/2000) Decken:

*(1) 1 Decken müssen im Brandfall ausreichend lang standsicher und widerstandsfähig gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch sein. 2 Sie müssen*

*1. in der Gebäudeklasse 5 feuerbeständig mit der Anforderung G,*

*2. in der Gebäudeklasse 4 hochfeuerhemmend mit der Anforderung G,*

*3. in den Gebäudeklassen 2 und 3 feuerhemmend sein.*

Die baurechtlich geforderte Feuerwiderstandsklasse für die Deckendauteile beträgt demnach **F-60 BA**.

Die Ausführung der Wohnungstrenndecken erfolgt weitestgehend nach den Vorgaben der Muster-Holzbaurichtlinie. Anschlüsse von Wandflächen an die Deckenbauteile werden ebenfalls nach der Richtlinie ausgeführt.

Nach den Vorgaben der Muster-Holzbaurichtlinie ergibt sich folgender Deckenaufbau (siehe Anhang 4-13):

von unten

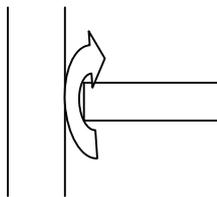
- 25 mm Promat Brandschutzplatte Promatect-L
- 15 mm Gipsfaserplatte
- Unterkonstruktion aus Holz oder Federschielen
- 100 mm Mineralwoll-Dämmung, Schmelzpunkt  $< 1000^{\circ}\text{C}$ , Dichte  $< 30 \text{ kg/m}^3$
- Deckenbalken aus KVH
- 13 mm Spanplatte
- 20 mm Trittschalldämmung
- 30 mm Zementestrich

Die Konstruktion der Anschlüsse der Deckenbauteile an die Wandbauteile erfolgt nach der Muster-Holzbaurichtlinie. (siehe Anhang 1, Bild1 und 3) Dabei ist der Fugenversatz ein wichtiger Konstruktionspunkt. Es dürfen keine durchgehenden Fugen entstehen, da im Brandfall heiße Brandgase und Flammen in das Bauteilinnere gelangen könnten. In Kapitel 5 wurde ausführlich darüber berichtet. Die Fugen sind außerdem mit dem übli-

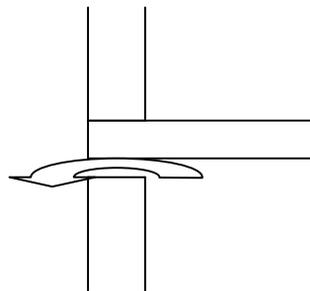
chen Fugenkleber der Gipsfaserplatten luftdicht zu verkleben. Anders als in den Zeichnungen der Muster-Holzbaurichtlinie dargestellt, wird der Anschlußbereich der

Deckenbalken in voller Höhe mit Mineralfaser- Dämmung ausgefüllt. Auch dicht verlegte, nichtbrennbare Dämmstoffe, können ein Brandeintritt in die Konstruktion verhindern.

Die Deckenscheiben liegen jeweils auf den unteren Wandscheiben auf. Damit ist schon konstruktionsbedingt das Risiko der Brand- und Rauchweiterleitung in andere Nutzungseinheiten minimiert. Sollten doch Fugen undicht sein, so können Brandgase nach außen entweichen.



Decke stößt gegen  
Außenwand



Decke liegt auf  
Außenwand

- Dach

Das Dach muß nach bauordnungsrechtlichen Bestimmungen einen ausreichenden Schutz vor Flugfeuer und strahlender Wärme bieten. Dafür wird das Dach mit einer Stehfalzdeckung eingedeckt.

### 7.2.1.7 Flucht- und Rettungswege

Treppen, Treppenraum und notwendiger Flur (siehe Anhang 4-6 bis 4-8)

Der erste Fluchtweg führt über das Treppenhaus und den notwendigen Flur im Erdgeschoß über den Haupteingang des Hauses ins Freie.

Die MBO (11/2000) fordert für notwendige Treppen der Gebäudeklasse 4 nichtbrennbare Baustoffe. Die Treppenraumwände dürfen in hochfeuerhemmender Bauweise errichtet werden. Allerdings nur wenn die Wände einer brandwandtypischen mechanischen Beanspruchung nach §28 (2) standhalten. Da diese Brandwand in Holzbauweise zwar getestet wurde, aber noch nicht klassifiziert ist, werden Treppenraumwände und die notwendige Treppe in nichtbrennbarer Bauweise ausgeführt; beide nach der Feuerwiderstandsklasse **F-90 A** in Stahlbeton. Die Treppenraumwände müssen auch in einer Stahlbetonbauweise der Brandwandbelastung standhalten. Bis auf schwerent-

flammbare Bodenbeläge, dürfen im Treppenhaus und an der Treppe keine brennbaren Oberflächen angebracht werden.

Treppenträume müssen für einen unkomplizierten Rauchabzug belüftet werden können. Dazu werden am Beispielhaus die ins Freie führenden Fenster benutzt, die dementsprechend leicht und unkompliziert zu öffnen sein müssen. Denkbar wäre auch die Entrauchung über eine RWA – Anlage (Rauch-Wärme-Abzugsanlage) zu garantieren. Dafür muß dann an der obersten Stelle im Treppenhaus eine entsprechende Anlage eingerichtet werden. Bei Gebäuden, die baurechtlich höher als 13 m sind, ist die Treppentraumbelüftung über eine Entrauchungsanlage vorgeschrieben. Dies trifft jedoch für das Beispielhaus nicht zu.

§ 32 fordert weiterhin:

*(6) In Geschossen mit mehr als vier Wohnungen oder Nutzungseinheiten vergleichbarer Größe müssen notwendige Flure angeordnet sein.*

Dieser notwendige Flur wird in der Gebäudemitte durch die Wohnungstrennwände der Erdgeschoßwohnungen gebildet. Die MBO fordert für die Wände notwendiger Flure eine feuerhemmende Feuerwiderstandsklasse (F 30). Da die Flurwände aber auch gleichzeitig die Wohnungstrennwände sind und diese eine Feuerwiderstandsklasse von **F-60 BA** aufweisen, werden die baurechtlichen Anforderungen erfüllt.

- Zweiter Rettungsweg (siehe Anhang 4-6 bis 4-8)

Die Rettung über den zweiten Rettungsweg erfolgt durch die Möglichkeit des Anleiterns der Balkone auf der Südwestseite des Hauses. Da die oberste Brüstungshöhe höher als 8m ist, erfolgt die Rettung über ein Hubrettungsfahrzeug der Feuerwehr. Die nötige Stellfläche ist vor dem Gebäude freizuhalten.

### **7.2.1.8 Feuerschutzabschlüsse und Abschottungen**

- Türen

Die Wohnungseingangstüren werden als dichtschießende Türen (DS) ausgeführt. Sie müssen jedoch in ihrer Öffnungsrichtung geändert und zurückgesetzt werden, da sie sonst in den Treppenraum hineinragen und den Fluchtweg behindern und entgegengesetzt der Fluchtrichtung aufschlagen.

Die Öffnungsrichtungen der beiden Haupteingangstüren im Flur des EG, sollten ebenfalls gewechselt werden. So wie sie ursprünglich konzipiert waren, öffnen sie genau entgegengesetzt der Fluchtrichtung. Außerdem sollten diese Türen mit Magnethaltern ausgerüstet werden, um sie im Brandfall immer offen zu halten. Mit dieser Maßnahme

---

wird die Evakuierung erleichtert und die Entrauchung des Flurs und des Treppenhauses durch zusätzliche Luftströmungen unterstützt.

Die Türen zum Kellergeschoss werden als Brandschutztür in der Klassifizierung **T 30** ausgeführt.

- Installationen

Bei der Risikobetrachtung dieser Arbeit wurde auf das Risiko des versteckten Schweißbrandes in der Wandkonstruktion hingewiesen. Häufig können diese Fälle durch schadhafte Elektroinstallationen verursacht werden. Aus diesem Grund sollten generell Installationsleitungen in den Querschnitten der gekapselten F-60 BA Bauteile vermieden werden. Ebenso bergen Bauteildurchdringungen Brandrisiken. Die Muster-Holzbaurichtlinie gibt hier Vorschläge und Maßnahmen bekannt, die zur Minimierung der Gefährdungspotentiale beitragen können.

Für die Umsetzung am Beispielhaus dieser Arbeit, sollen die Maßnahmen der M-HbauRL zu Anwendung kommen.

Elektrische Leitungen:

Die horizontale Verteilung der Elektroleitungen kann durch Vorwandinstallationen (siehe Anhang 4-11) unterhalb der Fenster oder durch Leitungsführungen überhalb einer abgehängten Decke realisiert werden. Dabei sollen die Leitungen in Hüllrohren aus nichtbrennbaren Baustoffen verlegt werden. Maximal drei Kabelführungen sind pro Hüllrohr erlaubt. Einzelne Kabel dürfen auch ohne Hüllrohr verlegt werden.

Die vertikale Verteilung der Elektroleitungen kann in feuerbeständigen Schächten, die durch Deckenöffnungen geführt werden, vorgenommen werden. Dabei sind die Anforderungen von Bauteilöffnungen nach M-HbauRL zu beachten.

Sanitärleitungen für Bad und WC:

In jeder Wohnung sind zwei räumlich voneinander getrennte Sanitäreinrichtungen vorhanden. Für jede Einrichtung ist ein vertikaler Sanitärschacht durch das Gebäude zu ziehen. Somit ergeben sich 4 Sanitärschächte, die die Wasser- und Sanitärinstallationen beinhalten. Um keine die Brandausbreitung über die Vertikalschächte zu riskieren, müssen die Schächte geschoßweise unterteilt werden. In den entsprechenden Räumen (Bad, WC) können die Leitungen dann in üblichen Vorwandinstallationen verteilt werden.

## 7.2.2 Anlagentechnische Maßnahmen

- Brandmeldeanlage

Das Gebäude wird mit einer Brandmeldeanlage mit Aufschaltung zur Feuerwehrleitstelle ausgerüstet. In allen Nutzungseinheiten werden außerdem Alarmierungseinrichtungen zur Warnung der Bewohner angebracht.

- Handlöschgeräte

In jeder Etage wird für die Nutzungseinheit ein Feuerlöscher im Treppenhaus (Treppepodest) bereitgehalten. Damit ist es den Bewohnern möglich Brände schon in der Entstehungsphase zu bekämpfen. In der finnischen Brandschutznorm wird dies sogar gefordert. Entsprechend der zu erwartenden Brandklasse A (Brand fester organischer Stoffe) wären folgende Löschmedien denkbar: Wasserlöscher, Schaumlöscher, Glutbrand – Pulverlöscher.

- Blitzschutzanlage

Nach der Analyse der statistischen Risikobetrachtung (Diagramm 5.3.-3) im Kapitel 5, fällt auf, daß die natürlichen Brandursachen wie z.B. Blitzeinschläge durchaus häufig vorkommen. Da die absolute Gebäudehöhe von 16,52 m ein höheres Gefährdungspotential darstellt, wird auf dem Dach eine Blitzschutzanlage montiert.

## 7.2.3 Organisatorische Maßnahmen

- Flucht- und Rettungswegeplan mit Beschilderung und Rettungswegbeleuchtung
- Anbringen eines Feuerwehreinsatzplanes zur Information für die Feuerwehr während eines Einsatzes
- Installation einer trockenen Steigleitung mit Schlauchanschlusseinrichtungen (Wandhydrant)
- Benennung eines „Brandschutzbeauftragten“ unter den Mietern (dieser kann im Brandfall erste Sicherungsmaßnahmen und mögliche Evakuierungen durchführen)
- Mieter über Rettungs- und Sicherungsmaßnahmen informieren
- Freihalten der Stellfläche für die Feuerwehr

### **7.3 Abwehrender Brandschutz**

- Selbsthilfe
  - Handlöscher aus Treppenhaus benutzen
  - Retten/Evakuieren
- Feuerwehr

### **7.4 Bewertung**

Mit der problemlosen Umsetzung der bauordnungsrechtlichen Anforderungen der MBO (11/200), durch die technischen Vorschlägen der Muster-Holzbaurichtlinie, wird deutlich, daß bei mehrgeschossigen Holzbauten der Gebäudeklasse 4, daß hohe brandschutztechnische Sicherheitsniveau aufrecht erhalten werden kann. Die Risiken der Brand- und Rauchausbreitung oder des versteckten Weiterbrennens, können mit raumabschließenden Bauteilen und entsprechenden Anschlußkonstruktionen beherrscht werden. Die Muster-Holzbaurichtlinie, auf der die technisch - konstruktive Umsetzung beruht, ist allerdings bauordnungsrechtlich noch nicht eingeführt.

### **7.5 Ausblick auf anderen Gebäudeklassen**

Man kann davon ausgehen, daß sich die Neuerungen der MBO (11/2000) im Zuge von Harmonisierungsarbeiten, auch in den Landesbauordnungen durchsetzen werden. Demnach wird es möglich werden, Gebäude bis zu einer Höhe von 13 m in Holzbauweise zu errichten. Diese Neuerungen beschränken sich allerdings nur auf die Muster- und Landesbauordnungen. In den Sonderbauverordnungen (z.B. Gaststätte und Schule) ist eine mehrgeschossige Holzbauweise nicht erlaubt. Holzbauten dürfen hier nur eingeschossig errichtet werden.

#### **7.5.1 Ermessensspielräume**

Wenn der Holzbau durch gesetzliche Regelungen und Sonderverordnungen, in seiner Ausführung beschränkt wird, kann durch Ermessensspielräume ein Kompromiß gefunden werden. Eine allgemeine Formulierung macht dies deutlich: „... sehen auch die Bauordnungen vor, von den „Regelvorschriften“ abzuweichen, wenn die Schutzziele auf andere Weise erreicht werden können“. [10] In der gleichen Schrift werden unterschiedliche Vorgehensweisen beschrieben:

- Ausnahmen als Abweichung von baurechtlichen Vorschriften, die als Regel- oder Sollvorschrift aufgestellt sind und in denen Ausnahmen ausdrücklich zugelassen sind. Ausnahmen werden beantragt und müssen von der entsprechenden Behörde genehmigt werden.
- Befreiungen sind Abweichungen von zwingenden Vorschriften. Sie können erteilt werden, wenn sie keine Grundforderung zur öffentlichen Sicherheit sind. Eine Befreiung ist auch möglich, wenn einer zwingenden technischen Vorschrift durch eine technisch gleichwertige Lösung entsprochen wird.

Sollen Ermessensspielräume ausgenutzt werden, sollten Sachverständige die Verhandlungen mit der Bauaufsichtsbehörde begleiten. Ausnahmen und Befreiungen sollten in ein schlüssiges Brandschutzkonzept integriert werden. [10]

Das Wichtigste ist das Erreichen der definierten Schutzziele.

### **7.5.2 Beispiel eines öffentlichen Schulgebäudes**

Für Schulbauten gelten die bauordnungsrechtlichen Anforderungen der Landesbauordnungen, der erlassenen Schulbaurichtlinie und wenn verabschiedet, auch die Versammlungstättenordnung. Die sorgfältige Planung der Rettungswege und die Gliederung der Brandabschnitte fällt bei diesen Gebäuden besonders ins Gewicht. Für Schulbauten sind auch zwei unabhängige Rettungswege erforderlich. Im Falle eines Brandes soll die Alarmierung selbständig über ein Branderkennungssystem geschehen. Innen liegende und schlecht zu lokalisierende Räume sind zu vermeiden. [10]

Das folgende Beispiel [nach 10] soll anhand eines dreistöckigen Schulgebäudes, die Umsetzung der Schulbauverordnung (BschulR) zeigen. Bei der Errichtung des Gebäudes wurden sowohl eine massive Bauweisen, als auch Holzbauweisen angewandt.

#### Objekt:

Es handelt sich um ein dreigeschossigen Schulbau, dessen Erdgeschoß und Fluchttreppenhäuser in Massivbauweise errichtet wurde. Das 1. OG und das 2. OG sind in Holzbauweise ausgeführt. Das Gebäude wird als bauliche Anlage besonderer Art und Nutzung eingestuft. Nach den Forderungen der Muster-Schulbaurichtlinie wäre die Holzbauweise der oberen beiden Geschosse nicht zulässig. Durch die Verfolgung von Schutzziele konnte bei der Planung des vorbeugenden Brandschutzes ein Konzept erstellt werden, welches den Einsatz von Holz zuläßt.

Baurechtlich gefordert	Bauausführung
Tragende und Aussteifende Wände und Stützen sowie Decken in Gebäuden mit mehr als zwei Geschossen, müssen feuerbeständig (F-90 AB) sein	EG in massiver Ausführung (F-90 A) OG 1, 2 hochfeuerhemmende Bauweise (F-60 BA)
Brand- und Rauchabschnitt erforderlich; Fläche kleiner als 3000 m <sup>2</sup>	Ausführung entsprechender Brand- und Rauchabschnitte
Brandmeldeanlagen mit automatische Brandmeldern bei der vorgesehenen Nutzung aber nicht vorgeschrieben	Einbau einer automatischen und einer manuellen Brandmeldeanlage, sowie Aufschaltung auf die vorhandene Brandmeldezentrale

Tabelle 7.5.2-1: Baurechtliche Anforderungen und realisierte Abweichung

Mit der Kombination von Massivbauweise und Holzbauweise, wurde entsprechen der real vorhandenen Risiken geplant. Dabei standen die vorher definierten Schutzziele immer als Wegweiser fest. Durch Sicherungs- und Kompenationsmaßnahmen (Brandmelder) wurde die Brennbarkeit von Holz beachtet. Da wo die Sicherheit es umgehend fordert, wurde eine massive Bauweise angewandt.

Die praktische Umsetzung dieses Objektes zeigt, daß der Einsatz von Holz auch in höheren Gefährdungsklassen erfolgen kann. Voraussetzung ist dabei die strikte Verfolgung der Schutzziele, mit der entsprechenden Anwendung der Baustoffe. Ein spezielles Brandschutzkonzept, welches nur für den entsprechenden Bau realisiert wird, fügt die Eigenschaften der unterschiedlichen Baustoffe zusammen.

Holzbau und Sonderbau können kombiniert werde; dies aber nur mir einem zugelassenen und nur für das entsprechende Gebäude erstellten Brandschutzkonzept.

## 8 Schlußbetrachtung

Obwohl Holz ein brennbarer Baustoff ist, kann er sich mit nichtbrennbaren Baustoffen konkurrieren. Der Vergleich mit nichtbrennbaren Baustoffen ergibt, daß Holz im Brandfall ein positives Brandverhalten zeigt. Die Kapazitäten der Lastabtragung im Brandfall, sind bei Holzträgern positiver zu bewerten, als zum Beispiel bei Stahlstützen. Durch die Bildung einer Holzkohleschicht in den äußeren Zonen des Holzquerschnittes, bleibt der statisch erforderliche Holzquerschnitt unbeschadet erhalten. Der innere Kern wird durch die isolierende Wirkung der Holzkohleschicht vor Hitzeeinwirkungen geschützt.

Holz als Tragwerk für Rahmenkonstruktionen von Wand- und Deckenscheiben, kann eine sichere Alternative zu üblichen nichtbrennbaren Baustoffen sein. Werden die Wand- und Deckenbauteile mit einer nichtbrennbaren, brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffplatten versehen, kann das Versagen innerhalb einer entsprechend kalkulierten Sicherheitszeit verhindert werden. Die nichtbrennbaren äußeren Bekleidungsmaterialien, verzögern die Temperaturbelastung des inneren Holztragwerkes. Die Entzündung der inneren Holzbauteile erfolgt nicht oder tritt erst mit starker zeitlicher Verzögerung ein. Wenn das Bauteil infolge einer zu starken Temperaturbelastung der Holzständer dann versagen sollte, geschieht das erst nach der eingeplanten Feuerwiderstandszeit.

Obwohl diese Wandkonstruktionen ein durchaus positives Brandverhalten zeigen, gibt es Risiken. In Wandquerschnitten, die mit nichtbrennbaren Baustoffplatten bekleidet sind und im Inneren mit Mineralwolldämmung ausgefüllt sind, können bei nicht sachgerechter Verarbeitung der Dämmung Hohlräume im Inneren der Wand entstehen. In diesen Hohlräumen kann es durch einen Temperaturanstieg zur Selbstentzündung der angrenzenden Holzflächen kommen. Diese Vorgänge dauern meist sehr lange und bleiben daher unbemerkt. Außerdem können Hohlräume zur unbemerkten Ausbreitung von Feuer und Rauch in andere Nutzungseinheiten beitragen.

Ein weiteres Risiko entsteht durch undichte Fugen der Bekleidungsmaterialien, bei Anschlußsituationen von Wänden und Decken. Durch die offenen Fugen kann Feuer und Rauch zerstörend auf das Innere der Konstruktion einwirken.

Betrachtet man die Einsatzmöglichkeiten des Baustoffes Holz, und begegnet man den konstruktionstypischen Risiken mit den entsprechenden Maßnahmen der Muster-Holzbaurichtlinie, kann dieser Baustoff eine Alternative zu nichtbrennbaren Baustoffen sein. Der Einsatz von Holz ist wirtschaftlich, energetisch und ökologisch sinnvoll.

Werden die hochfeuerhemmenden Bauteile nach den bekannten technischen Regeln hergestellt, ist das Risikopotential dieser Bauteile nicht höher als bei vergleichbaren Bauteilen in Massivbauweise.

Die Sicherheit des Menschen ist durch mehrgeschossige Holzbauweisen nicht gefährdet.

Als Schlußfolgerung kann gesagt werden, daß der mehrgeschossige Holzbau Kosten einspart und neue Gestaltungsmöglichkeiten erzeugt, ohne dabei die Brandsicherheit zu vernachlässigen.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] **Böckenförde/Temme/Krebs:** Musterbauordnung für die Bundesrepublik Deutschland, MBO, 5.Auflage (1996), Werner Verlag
- [2] **Wolfgang Müller und Kurt Meyer:** Bauordnungsrecht Niedersachsen, NbauO, 10. Auflage (1997), Schlütersche
- [3] **DIN Deutsches Institut für Normung e.V. :** DIN Taschenbuch 120 Brandschutzmaßnahmen, 5.Auflage (1988), Beuth Bauverlag
- [4] **Lutz/Jenisch/Klopfer/Freymuth/Krampf/Petzold:** Lehrbuch der Bauphysik, 4.Auflage (1997), B.G. Teubner Stuttgart
- [5] **Löbbert/Pohl/Thomas:** Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure, 2.Auflage (1998), Rudolf Müller
- [6] **Bock/Klement :** Brandschutz - Praxis für Architekten und Ingenieure, 1. Auflage (2002) Bauwerk Verlag
- [7] **Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen:** Brandschutzleitfaden für Gebäude besonderer Art oder Nutzung, 2. Auflage (November 1998)
- [8] **Kurt Klingsohr :** Vorbeugender baulicher Brandschutz 5. Auflage (1997) W. Kohlhammer
- [9] **Axel Häger :** Bautechnik und Brandschutz, (1996), W. Kohlhammer
- [10] **Informationsdienst Holz:** Grundlagen des Brandschutzes, Reihe3 Teil4 Folge1 (2001)
- [11] **Informationsdienst Holz:** Feuerhemmende Holzbauteile (F30-B), Reihe3 Teil4 Folge2
- [12] **Informationsdienst Holz:** Brandschutz im Holzbau – gebaute Beispiele, Reihe3 Teil 4 Folge3 (2001)
- [13] **Promat:** Promat – Handbuch Bautechnischer Brandschutz A1, Promat Ratingen
- [14] **Kordina/Meyer–Ottens:** Holz Brandschutz Handbuch, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.(1994)

- [15] **Reinhard Wiederkehr:** Brandschutzkonzepte für Holzbauten in der Schweiz Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, 9.Brandschutztagung 2001 in Würzburg
- [15.1] **DGFH:** Brandschutz im Holzbau, sicher hoch hinaus; 9. Brandschutztagung 2001 in Würzburg
- [16] **Schneider; Lebeda:** Aktuelle Möglichkeiten von Brandschutzkonzepten, Uni Wien, Verein zur Förderung von Ingenieurmethoden im Brandschutz e.V. (VIB)
- [17] **Fire safety of buildings, REGULATIONS AND GUIDELINES 2002:** THE NATIONAL BUILDING CODE OF FINLAND; MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Housing and Building Department
- [18] **Hosser,D.; Dehne,M.;Zehfuß,J.:** Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchung zum Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbaubauweise; Forschungsauftrag der DGfH; Stufe 1: Theoretische Grundlagenuntersuchung, (Juli1997)
- [19] **vfdb:** Jahresfachtagung, 19. Bis 22. Mai 1997 in Hamburg; Verein zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.
- [20] **Schneider:** Grundlagen der Ingenieurmethoden im Brandschutz, Werner Verlag, 1. Auflage (April 2002)
- [21] **IBMB:** Kurzberichte der Braunschweiger Brandschutztagung `99, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 145 , (1999)
- [22] **IBMB:** Kurzberichte, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 158 (2001)
- [23] **Kati Maillot:** Aus welchem Material sind die Häuser von morgen gemacht, Zeitschrift Woodwatch 1/2002 UPM – Kymmene, S. 5-7
- [24] **Birgit Östmann,** Fire safe Timber buildings, Nordic design guide, Trätek Publikation
- [25] **Hosser, Dehne:** Gegen Feuer und Rauch, Zeitschrift Mikado, 7-8 (2001) S. 60-64
- [26] **Wesche, Dehne:** Konzepte des baulichen Brandschutzes für mehrgeschossige Holzbauweisen, Bundesbaublatt, Heft 7 (2000) S. 44-46

**Internet**

- [27] [www.is-argebau.de](http://www.is-argebau.de): Entwurf der Musterbauordnung Deutschland, November 2000
- [28] [www.brandschutzplaner.de](http://www.brandschutzplaner.de): Grundlagen zum Brandschutz

## 10 Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe.  
Es wurden nur die in der Arbeit genannten Quellen und Hilfsmittel benutzt.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Anhänge

### Inhalt

- Anhang 1:           Abbildungen der Muster-Holzbaurichtlinie
- Anhang 2:           Abbildungen der japanischen Brandversuche
- Anhang 3:           Abbildungen, Diagramme und Tabellen der Brandsimulation nach  
Kapitel 6
- Anhang 4:           Pläne und Zeichnungen nach Kapitel 7







