



Brandschutz-Studie

Brandschutztechnische Analyse von Massiv- und Holzbauweisen

o. Univ. Prof. DDr. Ulrich Schneider

Dipl.-Ing. Monika Oswald

Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, TU Wien

INHALTSVERZEICHNIS

1	<i>Einleitung</i>	3
2	<i>Brandlasten in Wohngebäuden</i>	4
3	<i>Beurteilung unterschiedlicher Bauarten und Bauelemente</i>	7
	3.1 Wandbauteile in Massivbauweise	7
	3.2 Wandbauteile in Holzbauweise	8
	3.3 Deckenbauteile in Massivbauweise	12
	3.4 Deckenbauteile in Holzbauweise	13
	3.5 Verbindungen, Anschlüsse und Fugen in der Massivbauweise	16
	3.6 Verbindungen, Anschlüsse und Fugen in der Holzbauweise	17
	3.7 Fassaden in Massivbauweise	20
	3.8 Fassaden in Holzbauweise	21
	3.9 Öffnungen bei der Massivbauweise	23
	3.10 Öffnungen bei der Holzbauweise	24
	3.11 Installationen in der Massivbauweise	25
	3.12 Installationen in der Holzbauweise	25
4	<i>Brandrisiko unterschiedlicher Bauarten</i>	27
	4.1 Grundlagen	28
	4.2 Brandrisikoberechnung	28
	4.3 Berechnung der Brandeintrittswahrscheinlichkeit	29
	4.4 Berechnung des Schadensausmaßes	31
5	<i>Bewertung des Brandrisikos</i>	35
6	<i>Zusammenfassung</i>	36
7	<i>Literatur</i>	38

Einer Feuerwehr wird seitens eines Bauwerbers gerne scherzhaft unterstellt, dass sie maximal eingeschossige Gebäude, ausgestattet mit unbrennbaren Materialien, genehmigt. Tatsächlich zeigt aber die Praxis, wie aus dem Stadtbild ersichtlich, dass es eine Vielzahl von Lösungen und Möglichkeiten gibt.

Prinzipiell kann praktisch jedes Gebäude, jede Wohn- oder Gewerbeimmobilie, in einer Weise errichtet werden, die sowohl den Bauwerber als auch die für den Brandschutz verantwortliche Feuerwehr zufrieden stellt. Bedeutend für die Sicherheit der Menschen in Gebäuden aller Art sind natürlich die bei der Errichtung verwendeten Materialien. Je besser diese einem Brandereignis widerstehen, desto einfacher ist ein hohes Sicherheitsniveau zu erreichen.

Sicherheit ist zudem nicht eindimensional zu sehen, sondern ist das Ergebnis vieler Einflussgrößen. Das beginnt bei einer einwandfreien Bauausführung und endet bei Notfallplänen. Von einer Feuerwehr werden immer Grundsätze hinsichtlich der Fluchtmöglichkeiten der Bewohner eines Gebäudes, der Angriffsmöglichkeiten für die Feuerwehr selbst und der Brandabschnittsbildungen vertreten. Dazu kommen noch Alarmierungsmöglichkeiten im Gebäude sowie organisatorische Maßnahmen. Zwar kann Sicherheit prinzipiell mit jedem Baustoff erzielt werden, massive Bauten haben aber hier sicherlich einen Startvorteil.

1 EINLEITUNG

Jedes Gebäude ist dem Gefahrenfall „Brand“ ausgesetzt. Der Verlauf von Bränden ist durch eine Vielzahl von Einflussgrößen vorgegeben, die hemmend oder begünstigend auf den Brandverlauf wirken bzw. die daraus resultierenden Schäden beeinflussen. Aufgabe des Planers ist es, die Grundsätze des Brandschutzes zu beachten, d. h. das Ereignis „Brand“ muss bereits im Entwurfsstadium als Lastfall berücksichtigt werden. Entsprechend ihrer Wirkung in Bezug auf die Brandsicherheit eines Gebäudes unterscheidet man zwischen potenziellen Gefahren und Schutzmaßnahmen. Die vorzunehmenden Schutzmaßnahmen sind wiederum abhängig vom Brandrisiko und den Vorgaben in Bezug auf die angestrebten Schutzziele.

Um ein bestimmtes Sicherheitsniveau im Brandschutz zu erreichen, stellt der Gesetzgeber dem Planer in Form von Richtlinien und Bestimmungen Instrumentarien zur Seite, die dazu dienen, die grundlegenden Schutzziele im Brandschutz:

- den Schutz von Leben und Gesundheit von Personen im betroffenen Gebäude und dessen Umgebung (**Personenschutz**) und
- den Schutz von Eigentum und die Begrenzung finanzieller Schäden im betroffenen Gebäude und dessen Umgebung (**Sachwertschutz**),

zu erreichen. In Österreich und in der Bundesrepublik Deutschland sind in jüngster Zeit in der

Entwicklung der baurechtlichen Bestimmungen gravierende Änderungen in den Brandschutznormen und Baugesetzen erkennbar, die z. B. Abminderungen bezüglich der Brennbarkeit von Baustoffen und des Brandwiderstands bei den Bauteilen im Wohngeschossbau zur Folge haben. Daraus resultiert offenbar eine Verringerung des bisher allgemein akzeptierten Sicherheitsniveaus. Aus diesem Grund wurde in Deutschland der Entwurf einer Technischen Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile von Wohngebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise vorgelegt, mit dem Ziel, die Einhaltung des bisherigen Brandsicherheitsniveaus bis 13 m Geschosshöhe sicherzustellen. In Österreich wurde bislang keine vergleichbare Richtlinie für den mehrgeschossigen Holzwohnbau entwickelt, d. h. es wird stillschweigend davon ausgegangen, dass sich z. B. die bei zweigeschossigen Wohngebäuden gesammelten Erfahrungen ohne weiteres auf viergeschossige Wohnhausanlagen übertragen lassen. Im Folgenden wird diese Entwicklung anhand neuester Forschungsergebnisse der TU Wien, welche im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte in den zurückliegenden Jahren gewonnen wurden, im Detail dargelegt. Insbesondere werden vergleichende Risikobetrachtungen an mehrgeschossigen Wohngebäuden (> zwei Geschosse) in Holzbau- und Massivbauweise durchgeführt.

2 BRANDLASTEN IN WOHNGEBÄUDEN

Das Brandgeschehen in einer Wohnung entwickelt sich umso kritischer, je größer der Anteil an brennbarem Inventar sowie an brennbaren und ungeschützten Bauteilen im und am Gebäude ist. Die Abb. 1 stellt die grundsätzliche Gliederung der Gesamtbrandlast in einem Gebäude dar (nach [7] und [13]). Danach setzt sich die Gesamtbrandlast aus den mobilen und den konstruktiven Brandlasten zusammen. Der Gebäudeinhalt stellt dabei die mobile Brandlast mit allen im Gebäude vorhandenen Einrichtungsgegenständen, den nutzungsspezifischen Ausstattungen und dem Mobiliar dar. Die mobile Brandlast beschreibt dabei im Wohnbau eine nur sehr schwer zu bestimmende Größe, die nicht allgemein gültig festgelegt werden kann, weil sie auch abhängig ist von den persönlichen Verhältnissen und Lebensgewohnheiten, zeitlichen Modeerscheinungen, dem sozialen Umfeld sowie weiteren sozioökonomischen Faktoren.

Die konstruktive immobile Brandlast hingegen setzt sich aus der bauweisenspezifischen und den konstruktionsneutralen Brandlasten zusammen, Größen, die für unterschiedliche Bauweisen eindeutig festgelegt und bestimmt werden können. Die bauweisenspezifische Brandlast ist abhängig von der Trag- und Ausbaukonstruktion und den dabei verwendeten Materialien. Die konstruktionsneutralen Brandlasten beziehen sich hingegen auf Einbauten im Gebäude, die sowohl bei Massiv- als auch bei Holzbauten Verwendung finden, wie z. B. Fenster, Türen, Installationen, sonstige Gebäudetechniken etc.

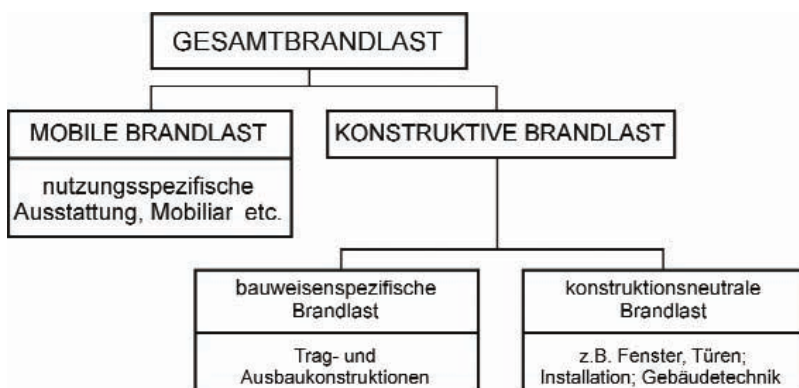


Abb. 1: Zusammensetzung der Brandlastanteile in einem Gebäude nach [7]

Die Abb. 2 zeigt, dass sich die Brandlasten in einem mehrgeschossigen Wohnbau mit einer durchschnittlichen Wohnnutzfläche von ca. 800 m² bei den vier angegebenen Konstruktions-

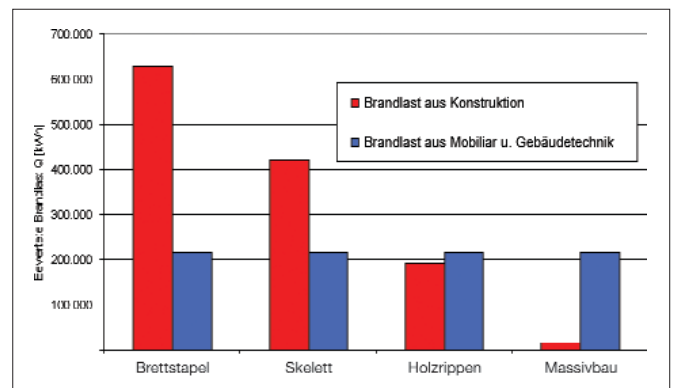


Abb. 2: Gegenüberstellung der konstruktiven und mobilen Brandlasten für unterschiedliche Bauweisen in einem viergeschossigen Wohnbau mit ca. 800 m² Wohnnutzfläche nach [1]

arten insgesamt bis zu einem Faktor 4 unterscheiden; d. h. in einem Holzwohnbau sind die zwei- bis vierfachen Mengen an brennbaren Stoffen vorhanden wie in einem Massivwohnbau [1]. Dementsprechend ist naturgemäß mit einem deutlich höheren Brandrisiko zu rechnen, wie in [7] eindeutig gezeigt ist und auch aufgrund einer über zehn Jahre geführten Brandstatistik von Wohngebäuden [28] eindeutig belegt wurde. Darauf wird später noch eingegangen.

Der Vergleich der bauweisenspezifischen Brandlasten für unterschiedliche Holzbauweisen mit dem Massivbau in der Abb. 2 zeigt weiterhin, dass der Holzrippenbau im Vergleich zum Massivbau in etwa die 9,5fache Menge an konstruktiven Brandlasten aufweist. Der Skelettbau erreicht bereits die 21fache Menge an konstruktiven brennbaren Bestandteilen und die Brettstapelkonstruktion die 31,5fache Menge an konstruktiven Brandlasten gegenüber dem Massivbau. Diese Gegenüberstellung zeigt deutlich, dass die konstruktiven Brandlasten bei Holzkonstruktionen in einem maßgeblichen Verhältnis zu den Gesamtbrandlasten stehen und deshalb

naturgemäß im Brandfall durch die dem Baustoff Holz immanente Eigenschaft der Brennbarkeit wesentlichen Einfluss auf die Brandentstehung und -entwicklung nehmen (vgl. [1]).

Bauteilkonstruktionen, die brennbare Baustoffe z. B. in Form von Vollholz, Holzwerkstoffen oder organischen Dämmstoffen enthalten, weisen nach [1] und [7] grundsätzlich folgende zusätzliche oder erschwerende Gefahrenpotenziale gegenüber nichtbrennbaren Massivbauten auf:

1. Zusätzlicher Eintrag von Brandlasten
2. Erhöhung der Rauchgasentwicklung und Pyrolyseprodukte
3. Zusätzliche Bildung und Ausbreitung von Kohlenmonoxid
4. Brandentstehung innerhalb der Konstruktion
5. Brandeinleitung und Weiterleitung in Konstruktionshohlräumen
6. Gefahr von Nachentzündungen und Bildung von Glutnestern
7. Erhöhung der Flashover-Gefahr

Am bedenklichsten für das Brandgeschehen ist in dieser Auflistung der zusätzliche Eintrag von konstruktiven Brandlasten zu bewerten, da brennbare Baustoffe, wenn sie dem Feuer zugänglich sind, sich im Brandfall vergleichsweise schnell thermisch zersetzen und zusätzliche Energie sowie toxische Brandgase freisetzen.

Die Abb. 3 zeigt qualitativ die zu erwartenden Temperaturentwicklungen bei einem Brand in einem Massivbau und in einem Holzbau. Es zeigt sich, dass bei Wohngebäuden aus nichtbrennbaren Baustoffen (z. B. Mauerwerks- oder Stahlbetonbau) der Brand nach dem Verzehren der mobilen und konstruktionsneutralen Brandlasten im Brandfall schnell erlischt. Bei der Holzbauweise hingegen beteiligen sich zusätzlich zu den mobilen Brandlasten die dem Feuer mittelbar oder unmittelbar zugänglichen Trag- und Bekleidungskonstruktionen am Brandgeschehen. Es ist damit zu rechnen, dass während eines Brandes die durch nichtbrennbare Bekleidungen bis zu einem gewissen Zeitpunkt geschützten immobilien Brandlasten (z. B. Wandständer, Holzbalken in Deckenkonstruktionen etc.) sich zeitlich verzögert ebenfalls am Brandgeschehen beteiligen; d. h. Holzkonstruktionen weisen prinzipiell im Brandfall einen höheren Energieeintrag, eine größere Temperatur- und Brandgasentwicklung und in weiterer Folge einen größeren Zerstörungsgrad am Gebäude auf als Massivbauten.

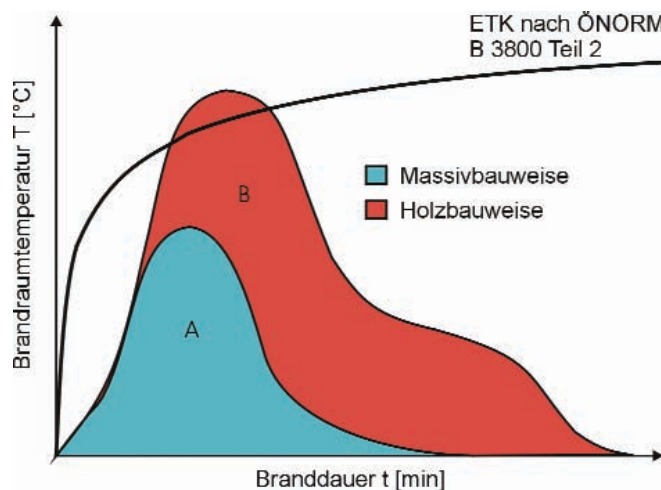


Abb. 3: Einfluss der bauweisenspezifischen Brandlasten auf das Brandszenarium

Im Hinblick auf die Brandgasentwicklung ist anzumerken, dass über zwei Drittel der vorher genannten Brandopfer an Rauchgasen, vor allem an Kohlenmonoxid (CO), sterben. Die nachstehenden Abb. 4 und 5 zeigen die gemessene Entwicklung von CO im Zuge von Brandversuchen nach [11]. Untersucht wurden Brände in einer Brandkammer und die Entwicklung der CO-Konzentrationen in bestimmten Entfernungen vom Kameraustritt. Die Brandkammer war entweder mit brennbaren oder mit nichtbrennbaren Baustoffen ausgekleidet. Die Abb. 4 zeigt die CO-Konzentrationen für einen Versuch ohne Holzverkleidung in der Kammer. Die Abb. 5 zeigt den gleichen Versuch in einer mit Holz ausgekleideten Kammer. Man erkennt unmittelbar, dass die CO-Konzentrationen im zweiten Fall teilweise um mehr als das Dreifache zunehmen, d. h. das Brandrisiko steigt auch außerhalb des Brandraumes erheblich an. Anzumerken wäre hier, dass bereits Einwirkungen von CO-Konzentrationen oberhalb von 0,8 Vol.-% in der Atemluft zum sofortigen Tod führen.

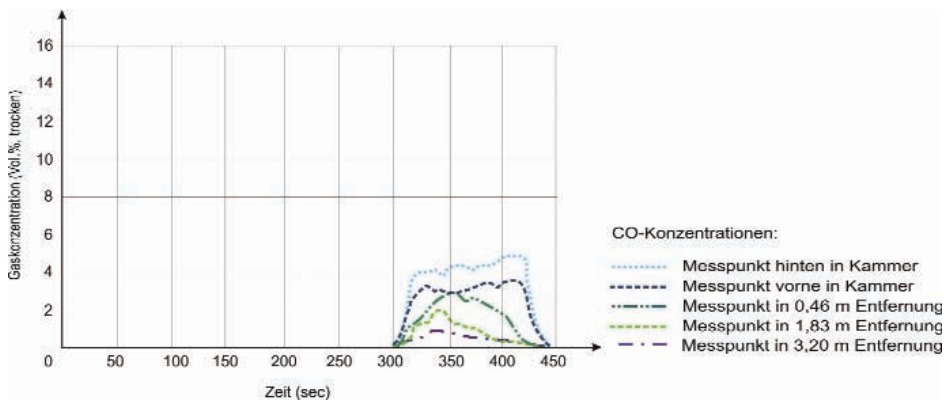


Abb. 4: Messung der CO-Entwicklung außerhalb des Brandraumes nach [11]

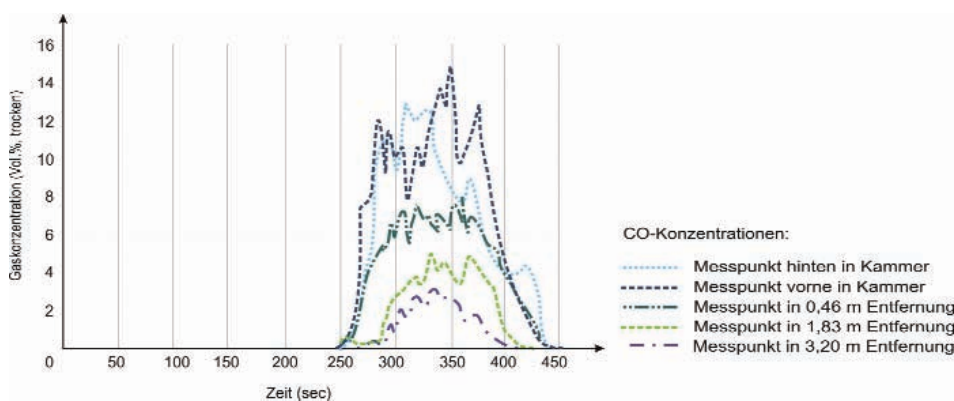


Abb. 5: Messung der CO-Entwicklung außerhalb des Brandraumes nach [11]

Im Rahmen eines zweijährigen Forschungsprojektes hat sich das Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der TU Wien mit Fragen der Sicherheit und des Verhaltens von mehrgeschossigen Wohngebäuden im Falle von Bränden beschäftigt. Dabei hat sich neben der detaillierten Untersuchung des Brandlasteinflusses ergeben, dass die derzeit übliche Brandschutzberechnung einzelner Bauteile im Hinblick auf das Verhalten der Gesamtkonstruktion je nach Bauart zu Risiken führen kann, welche vor allem im Wohngeschossbau zu beachten sind, wenn überwiegend brennbare Baustoffe zur Anwendung kommen [13].

Die konstruktive Untersuchung eines Bauwerks bzw. die Bewertung der Gesamtkonstruktion unter Brandeinwirkung erfordert einerseits die Betrachtung einzelner Bauteile im Hinblick auf die verwendeten Baustoffe und ihre Herstellung sowie der Bauteilfunktion und andererseits die Beurteilung des Zusammenwirkens sämtlicher Konstruktionselemente als Ganzes. Es ist vollkommen klar, dass der Brandwiderstand einzelner tragender Bauteile, z. B. von Stützen, den Brandwiderstand der Gesamtkonstruktion aus-

schlaggebend beeinflussen kann. Für den mehrgeschossigen Wohnbau ist der Einbau von tragenden Einzelstützen allerdings nicht relevant. Hier überwiegt das Zusammenwirken der einzelnen Bauteile unter Berücksichtigung des Verhaltens von Unterstützungen, Anschlüssen und Verbindungen; wobei im Holzbau zusätzlich die Wirksamkeit von Aussteifungen zur Vermeidung eines Stabilitätsversagens zu beachten ist. Die Standsicherheit eines Gebäudes unter den üblichen Gebrauchslasten ist im Falle zusätzlicher Brandeinwirkungen insoweit sehr schwierig zu beurteilen. Die Frage, ob die normgerechte brandschutztechnische Bemessung von Einzelbauteilen zur Erzielung eines adäquaten Brandverhaltens der Gesamtkonstruktion führt, wird im Folgenden für die Massiv- und Holzbauweise anhand einzelner Bauelemente und deren Zusammenwirken untersucht.

Im Detail werden folgende Bauelemente und Konstruktionen des Wohngeschossbaus untersucht und bewertet:

- Wandbauteile
- Deckenbauteile
- Verbindungen, Anschlüsse und Fugen
- Fassaden
- Öffnungen
- Installationen

3

BEURTEILUNG UNTERSCHIEDLICHER BAUARTEN UND BAUELEMENTE

3.1 Wandbauteile in Massivbauweise

Massive tragende Wände müssen bereits aus statischen Gründen derart bemessen sein, dass die Konstruktion in jedem Fall mindestens der Klassifikation F 90 (zukünftig REI 90 nach [27]) entspricht. Mauerwerks- oder Stahlbetonkonstruktionen besitzen somit im Gegensatz zu den Konstruktionsweisen aus Holz im Wohnbau üblicherweise „stille“ Reserven hinsichtlich ihrer Feuerwiderstandsdauer, welche dazu beigetragen haben, dass die Brandsicherheit im Wohngeschossbau bei uns als vergleichsweise hoch eingestuft wurde. Man könnte auch umgekehrt sagen, die übliche Massivbaukonstruktion im Wohnbau ist hinsichtlich des Brandschutzes überbemessen.

In den nachstehenden Abb. 6, 7 und 8 sind einige Beispiele für tragende Wände in ein- und zweischaliger Ausführung dargestellt. In Abhängigkeit vom Baumaterial und der Wandstärke wird bereits bei typischen Wohnbaukonstruktionen eine Einreihung in die Feuerwiderstandsklassen

nach ÖNORM B 3800-4 mit einer F180 (REI 180)-Klassifikation erzielt, obwohl die baurechtlichen Anforderungen typischerweise die Klasse F90 bzw. F60 nicht überschreiten. Für das einschalige Mauerwerk in Abb. 6 ist hierfür eine vollfugig versetzte Mauerziegelwand mit einer Mindestdicke von 25 cm und beidseitigem Verputz mit einer Putzdicke von mindestens 1,5 cm erforderlich. Eine einschalige tragende Wand aus Mantelbetonsteinen erreicht dieselbe brandschutztechnische Klassifikation mit einer Mindestkerndicke von 20 cm und beidseitigem Verputz (siehe Abb. 7).



Abb. 6: Ausführungsbeispiel einer tragenden Wand aus Mauerziegeln

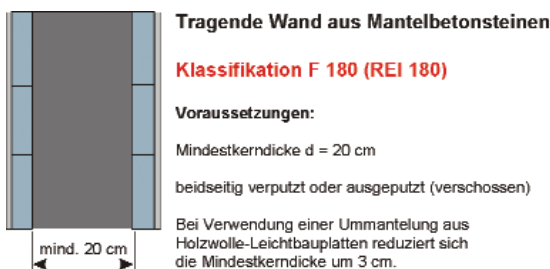


Abb. 7: Ausführungsbeispiel einer tragenden Wand aus Mantelbeton



Abb. 8: Ausführungsbeispiel einer tragenden zweischaligen Wand aus Mauerwerk

Es zeigt sich somit eindeutig, dass massive Wände bereits aufgrund ihrer statischen Ausbildung und den daraus resultierenden Querschnitten eine große Masse, Wärmespeicherefähigkeit und Feuerwiderstandsdauer besitzen. Im mehrgeschossigen Wohnbau in Massivbauweise ist davon auszugehen, dass die massiven Wände während eines Raumbrandes nur einseitig beflammt werden, da es sich in der Regel um die Außenwände des Gebäudes oder Querschnitte zwischen den Wohneinheiten handelt.

Die innenseitige Brandschutzbekleidung der Außenwand wird darin mit einer Lage Gipsfaserplatte in 10 mm Dicke als ausreichend angegeben. Eine einlagige Gipskartonbeplankung hat sich jedoch aus der Sicht des Brandschutzes generell als ungenügend herausgestellt, d. h. eine derartige Verkleidung kann die Holzkonstruktion nicht über einen längeren Zeitraum vor der Brandeinwirkung schützen. Des Weiteren wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch den fehlenden Versatz der Brandschutzbekleidungen im Eckbereich eine vorzeitige Entzündung der Tragkonstruktion im Brandfall begünstigt.

Demgegenüber stellt die Abb. 11 eine Lösungsvariante gemäß den Anforderungen der in Deutschland entwickelten Muster-Holzbaurichtlinie [19] dar. Für die Brandschutzbekleidung dürfen hierbei nur nichtbrennbare Verkleidungsmaterialien verwendet werden. Die Herstellung der Verkleidung der tragenden Konstruktion muss mindestens aus zwei Plattenlagen mit annähernd gleichem Temperatur- und Verformungsverhalten erfolgen, wobei die Fugen bei allen Wand- und Deckenanschlüssen versetzt angeordnet sein

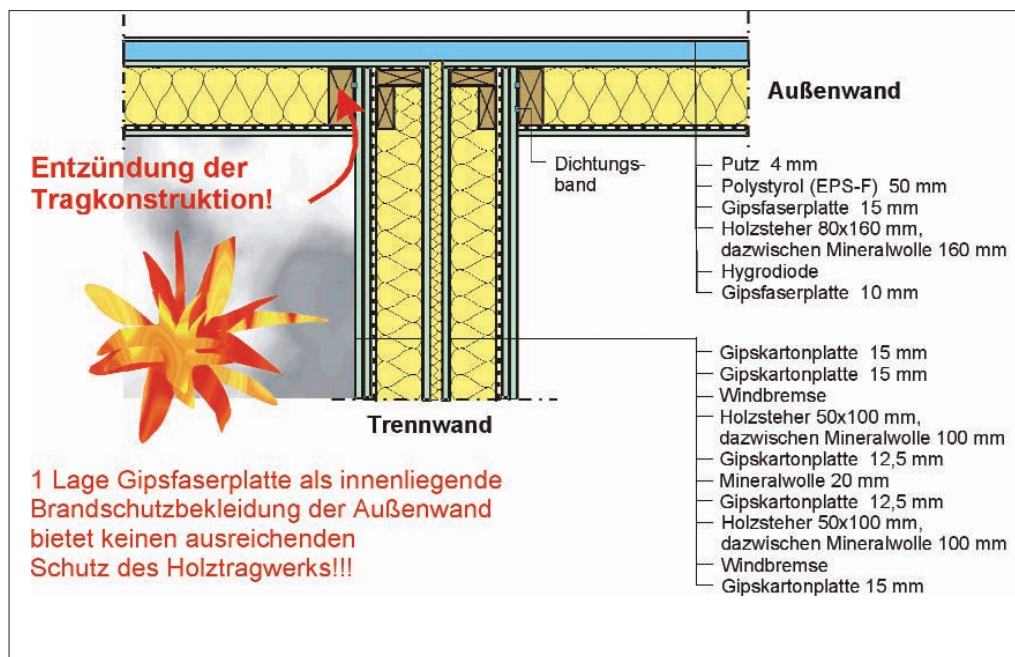


Abb. 10: Lösungsvariante eines Anschlusses Außenwand – Trennwand nach PROHOLZ-Österreich [24]

müssen. Des Weiteren werden die Holzsteher der beiden Wandelemente im Stoßbereich miteinander verschraubt. Die Konstruktion hat zwar den Nachteil, dass bei Wohngebäuden in Holzkonstruktion das Holz optisch verschwindet, sie hat jedoch den Vorteil einer vergleichsweise brand-sicheren Bauweise. In Österreich ist man derzeit noch von der Realisierung derartiger Konstruktionen weit entfernt, d. h. es gibt keine Holzbaurichtlinie für den Brandschutz.

Auch bei einer zweilagigen Beplankung ist der Brandschutz des Holztragsystems nur unter der Einhaltung aller in weiterer Folge angeführten Kriterien gegeben. Wie sich bei Versuchen gezeigt hat [18], reicht z. B. eine zweilagige Gipskartonverkleidung mit je 15 mm Stärke möglicherweise nicht aus, um das Tragwerk wirksam vor einer Brandbelastung zu schützen. Selbst wenn die Gipskartonbeplankung unter Brandeinwirkung intakt bleibt bzw. nicht abfällt, kann es bei unzureichender Ausbildung der Plattenstöße zu einer thermischen Zersetzung der darunter liegenden Holzkonstruktion kommen.

In diesem Zusammenhang ist es auch nicht vertretbar, Feuermauern an den Grundstücksgrenzen bzw. Brandwände zwischen einzelnen Nutzungseinheiten oder Brandabschnitten aus brennbaren Baustoffen zuzulassen. Bauteile, welche Baugrenzen, Brandabschnitte und Nutzungseinheiten in ihrer Funktion als Feuermauern oder Brandwände begrenzen und für

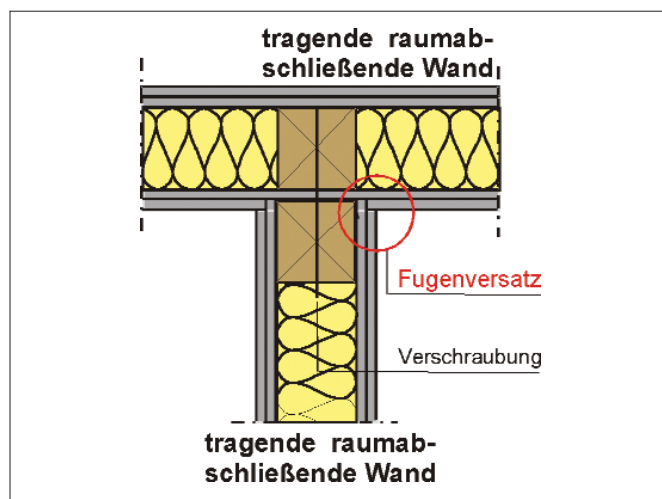


Abb. 11: Lösungsvariante eines Anschlusses tragender raumabschließender Wände nach Muster-Holzbaurichtlinie [19]

eine ausreichende bauliche Trennung sorgen müssen, beugen nicht nur dem Übergreifen eines Brandes vor, sondern sie

- sind standsicher und in der Regel als Tragkonstruktionen ausgeführt,
- verhindern den Feuer- und Rauchdurchtritt
- und widerstehen mechanischen – insbesondere auch horizontalen – Einwirkungen,

d. h. sie verhindern den Einsturz der Konstruktion im Falle eines Brandes für den vorgegebenen Prüfzeitraum.

Im Zuge der Forschungsarbeiten wurden auch Versuche zum Zündverhalten von Holzkonstruktionen am Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der TU Wien durchgeführt [38]. Ausgangspunkt der Überlegungen waren Brandfälle aus der Praxis, bei denen Holzkonstruktionen durch einen Glimmbrand zerstört wurden. Diese Brände ereigneten sich, ohne dass die Wärmequelle die gemeinhin als zum Anzünden von Holz genannten Zündtemperaturen erreicht hatte und obwohl die vorgeschriebenen Brandschutzverkleidungen in direkter Umgebung der Wärmequellen vorgesehen waren. Dieses Phänomen wird in der Literatur als Holzselbstentzündung bezeichnet. Dabei kann Holz unter bestimmten Bedingungen und bei einer Umgebungstemperatur, die weit unter der Zündtemperatur von Holz liegt, zünden und verglimmen. Ziel der darauf folgenden Untersuchungen war es, die Bedingungen, unter denen dieses Phänomen auftreten kann, festzustellen und einen Temperaturbereich für diese Entwicklung einzugrenzen. Zu diesem Zweck wurden Holzproben in einem Ofen über einen längeren Zeitraum von allen Seiten verschiedenen isothermen Temperaturen ausgesetzt. Ziel war es, durch Untersuchung des Temperaturanstiegs im Inneren der Proben den Beginn einer exothermen Reaktion zu beweisen und den Ablauf eines Glimmvorganges zu definieren.

Als Probekörper dienten Fichtenholzwürfel in der Größe $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$. Die Proben waren vor den Versuchen mindestens sechs Monate bei Raumtemperatur gelagert worden. Die Temperaturerfassung erfolgte mittels NiCr-Ni-Thermoelemente an verschiedenen Stellen in und am Probekörper. Ein weiteres Thermoelement im Luftraum des Ofens diente der Regelung der Versuchstemperatur. Die Versuchstemperaturen wurden über definierte Zeiträume beibehalten, und die

Aufzeichnung aller Temperaturen erfolgte mittels eines Datenloggers alle 30 Sekunden. Die Abb. 12 zeigt den Versuchsaufbau mit dem allseitig in 2,5 cm Steinwolle eingepackten Versuchswürfel. Die nachfolgende Abb. 13 zeigt die beim Versuch

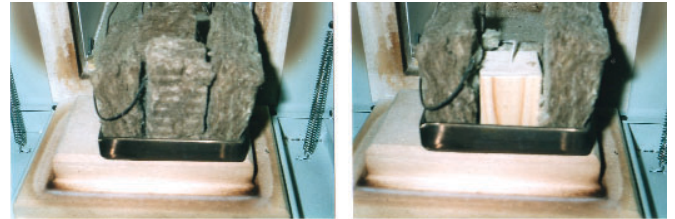


Abb. 12: Versuchsaufbau für Glimmbrandversuche mit in Steinwolle eingepackten Probekörpern

gemessenen Temperaturen im Kammerofen und die Temperaturen innerhalb sowie an der Oberfläche der Holzprobe. Im vorliegenden Beispiel wurde die maximale Ofentemperatur für den Glimmbrandversuch mit 250 °C festgelegt. Hinsichtlich des Temperaturanstiegs erfolgt die Erwärmung der Probe in parallelem Verlauf zum Anstieg der Ofentemperatur. Aufgrund der Dämmung des Fichtenwürfels (2,5 cm Steinwolle) wird die Versuchstemperatur von 250 °C in der Probe selbst jedoch erst eine Stunde später als im Ofen erreicht. Wie auf der Abb. 13 erkennbar ist, nähern sich die Holztemperaturen jedoch nicht den Ofentemperaturen an, sondern steigen deutlich über diese hinaus, d. h. etwa ab der 160. Minute des Brandversuches sind exotherme Vorgänge zu verzeichnen, die darauf schließen lassen, dass der Probekörper glimmt. Diese Annahme wird dadurch untermauert, dass sogar ein leichter Anstieg der Ofentemperatur infolge des Glimmvorganges am Holzwürfel und der daraus resultierenden zusätzlichen Wärmequelle zu verzeichnen ist (siehe Abb. 13); d. h. die exothermen Reaktionen sind dermaßen intensiv, dass sogar Rückwirkungen auf die Ofentemperatur (siehe Channel 2 in der Abb. 13) ersichtlich sind. Die maximal erreichten Temperaturen in der Holzprobe liegen bei ca. 500 °C .

Bei dem untersuchten Phänomen beginnt der Glimmbrand praktisch im Inneren des Probekörpers, wie aus den gemessenen Temperaturverläufen hervorgeht. Durch die Hitze schrumpft das Holz, es entstehen Verformungen und Risse. Da im Zentrum der Probe die Wärmeverluste am geringsten sind, bildet sich dort ein Wärmestau. Die exothermen Reaktionen setzen Wärme frei,

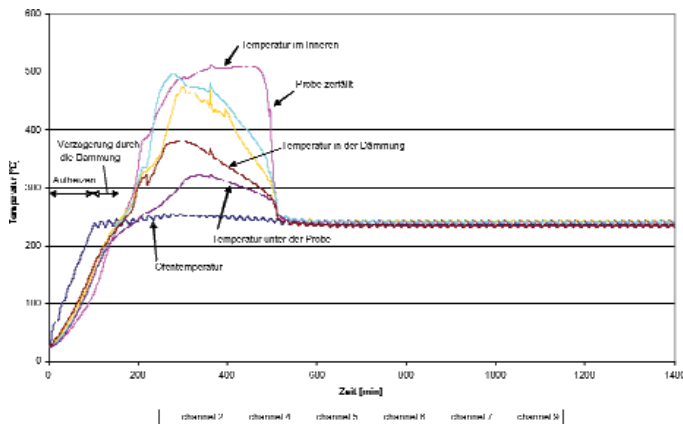


Abb. 13: Glimmbrandversuch an einer isolierten Holzprobe bei einer isothermen Umgebungsbedingung von 250 °C

welche nicht rasch genug abgeführt werden kann, d. h. die Temperatur steigt. Dadurch werden die Reaktionen, gemäß Arrheniusgesetz, beschleunigt, sodass ein zusätzlicher Temperaturanstieg eintritt. So steigt die Temperatur im Inneren immer weiter, bis ein Glimmbrand einsetzt. Nach insgesamt 500 Minuten (8 Stunden und 20 Minuten) ist beinahe die gesamte Probe zu Asche zerfallen, es bleiben nur geringfügige Reste von den Eckbereichen des Probewürfels übrig (siehe Abb. 14).



Abb. 14: Probekörper nach dem Glimmbrandversuch bei 250 °C Ofentemperatur

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse belegen somit eindeutig, dass die Möglichkeit der Selbstentzündung von Holz bei niedrigen Temperaturbereichen gegeben ist. Die äußere Dämmung des Probekörpers hat dabei einen erheblichen Einfluss auf diese Entwicklung. So konnte bei einem Versuchsaufbau ohne Dämmung erst ab 270 °C Umgebungstemperatur ein Glimmbrand im Inneren von Holzproben eingeleitet werden.

Dieses Phänomen stellt ein bauweisenimmanentes Risiko dar, wobei sich erschwerend auswirkt, dass von außen kaum erkennbar ist, ob sich das unter der Beplankung befindliche brennbare Tragwerk entzündet hat. Die Holzelemente können glimmend abbrennen, was dann in weiterer Folge zu einem Versagen der Konstruktion führen

kann. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass das in der Holzbaurichtlinie [25] gewählte 300 °C-Kriterium offenbar sehr empfindlich von dem konstruktiven Aufbau, der Aufheizgeschwindigkeit und der Branddauer abhängt, wobei der Wärmestau innerhalb der Konstruktion zu berücksichtigen ist. Es ist deshalb erforderlich, jede einzelne Konstruktion separat im Brandofen zu prüfen, um das Nachglimmen an der Tragkonstruktion sicher beurteilen zu können. Das 300 °C-Kriterium enthält nach den vorliegenden Ergebnissen keinerlei Sicherheitsreserven.

Nur zweilagige Beplankungen tragender Holzkonstruktionen, praxisgerechte Ausführung und eine brandschutztechnisch wirksame Kombination der Werkstoffe sind Voraussetzungen, um die Anforderungen an den Brandschutz zu erfüllen. Eine solche Kombination von Werkstoffen stellt z. B. die bei Brandversuchen in Deutschland [18] getestete Bekleidung aus einer brandseitig liegenden, 20 mm starken speziellen Gipskarton-Feuerschutzplatte in Kombination mit einer 15 mm starken speziellen Gipsfaserplatte dar. Das in der Feuerschutzplatte enthaltene Glasvlies verhindert eine frühzeitige Rissbildung, und somit kann während der gesamten Brandbeanspruchungsdauer keine Entzündung der brennbaren Tragkonstruktion stattfinden. Diese beiden genannten Plattentypen weisen zudem ein ähnliches Dehnungsverhalten auf, um die Rissbildung nicht zusätzlich zu verstärken. Nach dem Entwurf der deutschen „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise“ [25] müssen die Konstruktionshohlräume des Weiteren mit nichtbrennbarem Dämmmaterial (Schmelzpunkt > 1.000 °C) vollständig ausgefüllt werden. In Österreich sind derartige Lösungen nicht vorgeschrieben, weil es keine Holzbaurichtlinie gibt, d. h. es zählt nur das Ergebnis der Brandprüfung einzelner Bauelemente, die Anschlüsse und Fugen zu anderen Elementen werden im Allgemeinen nicht geprüft. Es muss davon ausgegangen werden, dass derartige Konstruktionen (selbst wenn sie nicht verbrannt sind) nach einem Brandfall nicht mehr tragfähig sind. In der Massivbauweise kann ein Wandbauteil auch in Verbindung mit angrenzenden Wandbauteilen im Gegensatz dazu grundsätzlich sehr viel länger dem Feuer Widerstand leisten, d. h. die Konstruktion ist auch nach einem Wohnungsbrand praktisch noch voll tragfähig.

Aus statischen Gründen sind grundsätzlich bei fast allen Gebäuden in Massivbauweise zusätzliche Tragreserven der Geschossdecken vorhanden. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass im Gegensatz zu den statischen Annahmen die Querbewehrung im Brandfall mitträgt und außerdem die brandschutztechnisch maßgeblichen Stützweiten infolge der Randeinspannung kleiner sind als die statischen (rechnerischen) Stützweiten. In der Praxis kommt es im Brandfall daher auch zu Umlagerungen in der Lastverteilung, so dass sich die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile mehr als verdoppeln kann. Bei Geschossdecken in Massivbauweisen erfolgen die Lastabtragungen darüber hinaus meist linienförmig und zwei- bzw. vierseitig, d. h. ein Einsturz der Gesamtkonstruktion kann aufgrund der mehrseitigen Auflagerung ausgeschlossen werden.

Die Durchwärmungsgeschwindigkeit bei den heute im Wohnbau üblicherweise verwendeten Stahlbetondecken oder Ziegeldecken ist unter Brandeinwirkung relativ gering, d. h. Zerstörungen treten erst nach einer längeren Zeitspanne und zuerst in den äußeren Schichten auf. Dabei wirkt sich der Innenwandverputz des Deckenbauteils positiv auf die Durchwärmungsgeschwindigkeit des Stahlbetons aus. Versuchserfahrungen haben gezeigt, dass ausreichend haftende Putzverkleidungen in Verbindung mit Stahlbetonbauteilen die Feuerwiderstandsdauer einer Stahlbetonplatte je nach Putzzusammensetzung bis zu 600 % vergrößern können [21].

Die Ergebnisse der Naturbrandversuche in Lehrte [15] haben in Bezug auf das Zusammenwirken der Decken- und Wandbauteile gezeigt, dass sich aufgrund der Dehnungen von Stahlbetondecken geringfügige Verschiebungen im darüber und darunter stehenden Mauerwerk ergeben können. Es wurde jedoch weder bei einer Brandbelastung der Stahlbetondecken nach der Einheitstemperaturkurve (ETK) von über 120 Minuten Dauer noch durch einen Realbrand mit der sehr hoch angesetzten mobilen Brandlast von 90 kg Holz/m^2 (die mittleren mobilen Brandlasten im Wohnbau liegen zwischen 240 und 260 kWh/m^2 , d. h. im Mittel bei etwa 52 kg Holz/m^2) ein Tragfähigkeitsverlust der Decke festgestellt. Des Weiteren blieb die raumabschließende Funktion in allen Fällen gänzlich erhalten, d. h. im derzeit üblichen massiven

Geschosswohnbau ist aufgrund der ausreichenden Sicherheit der Gesamtkonstruktion kein Versagen im Brandfall zu erwarten.

Anhand des folgenden Fallbeispiels kann der Unterschied zwischen Massiv- und Holzbauweise besonders anschaulich dargestellt werden. Bei dem untersuchten Objekt handelt es sich um ein Einfamilienhaus in Massivbauweise, wobei die massiv ausgebildeten Deckenbauteile im Wohnbereich nachträglich mit einer Holzverkleidung versehen wurden. Die nachfolgenden Abb. 15 und 16 zeigen die Auswirkungen eines Zimmerbrandes auf das Tragverhalten der Wände und Decken.



Abb. 15: Schadenbild eines Zimmerbrandes in einem Massivbau mit nachträglich angebrachter dekorativer Holzverkleidung [14]



Abb. 16: Detailaufnahme der massiv ausgeführten Decke nach dem Verbrennen und Abfallen der Holzverkleidung [14]

Anhand des Schadensbildes lässt sich erkennen, dass sich die Holzverkleidung im Brandverlauf entzündete und mit zunehmender Brandintensität und -dauer größtenteils abfiel. Die darunter liegende massive Ziegeldecke blieb hingegen so gut wie unversehrt und verlor ihre Tragfähigkeit nicht. Wenn unter der dekorativen Verkleidung eine brennbare Tragkonstruktion angebracht gewesen wäre, hätte ein derartiger Zimmerbrand vermutlich den Einsturz der Deckenkonstruktion herbeigeführt, sodass das darüber liegende Geschoss vom Brand erfasst worden wäre.

Tatsächlich blieb das Dachgeschoss vom Brand vollkommen unberührt. Die Abb. 17 zeigt Außenansichten des Einfamilienhauses nach dem Zimmerbrand. Trotz des relativ heftigen Brandereignisses im Inneren des Gebäudes sind die wahrnehmbaren Zerstörungen im Außenbereich mäßig. Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion sind nicht zu verzeichnen.



Abb. 17: Außenansichten des Brandobjektes nach dem Zimmerbrand

3.4 Deckenbauteile in Holzbauweise

Im Holzwohnbau werden heutzutage meist massive Holzbauweisen in Form von Brettstapeldecken eingesetzt. Aus brandschutztechnischer Sicht ist dieses System eher von Nachteil, weil die verleimten Holzbauteile im Feuer auseinanderreißen und eine Feuerausbreitung in der Konstruktion ermöglichen, d. h. Brettstapeldecken führen prinzipiell zu einer Erhöhung der Brandlast aus der Konstruktion selbst und verhalten sich im Brandfall wie Vollholz. Dieser Umstand erschwert auch das Ablöschen des Brandes (Glutnester).

Die Tragkonstruktion einer Brettstapeldecke besteht aus Vollholzplatten, die als Brettstapel ausgeführt sind. Meist wird die Unterseite sichtbar gelassen und an der Oberseite mit einem entsprechenden Deckenaufbau versehen, um den bauphysikalischen Anforderungen zu genügen. Die kostengünstigste Deckenvariante ergibt sich, wenn die Brettstapeldecken auch auf der Oberseite sichtbar belassen und nach der Montage

abgeschliffen und versiegelt werden. In die einzelnen Bretter kann beim Hobeln noch ein zusätzliches Profil eingefräst werden, sodass die Eigenschaften einer Akustikdecke erreicht werden. Durch die Profilierung der Unterseite, welche eine Vergrößerung der Oberfläche und somit einen größeren Beitrag zum Brand und eine raschere Brandausbreitung mit sich bringt, verschlechtern sich die brandschutztechnischen Eigenschaften des Bauteils noch zusätzlich. Vorrangig ist hierbei die erhöhte CO-Produktion im Brandfall zu erwähnen. Detaillierte Ausführungen über die Auswirkungen von brennbaren Holzbauteilen auf die CO-Konzentration in den Rauchgasen sind dem Abschnitt 2 zu entnehmen.

Während Geschossdecken in Massivbauweise aus statischen Gründen bei fast allen Gebäuden zusätzliche Tragreserven beinhalten, d. h. dass ein Brand in der Regel kein Versagen der Konstruktion zur Folge hat, kann eine Decke in Holzbau-

weise nur unter Einhaltung einer Reihe spezieller Anforderungen, wie z. B. durch eine zweilagige Brandschutzbekleidung und die brandgeschützte Verschraubung der Deckenbalken mit den Holzstehern, die geforderte Brandwiderstandsdauer erreichen. Ein Deckenbauteil in Holzbauweise beinhaltet üblicherweise keinerlei Tragreserven, d. h. es ist davon auszugehen, dass sie im Höchstfall maximal die vorgegebene Klassifikation erfüllt. Da bei Wohnungsbränden bei Vernachlässigung von Löschmaßnahmen durchwegs Brandwirkungen von über 30 Minuten Branddauer auftreten, hat eine auf brandhemmend (F30) bemessene Decke praktisch keine Chance, die Brandweiterleitung zu verhindern.

Bei Holzbauweisen kann im Falle eines nicht rechtzeitig gelöschten Brandes somit nicht davon ausgegangen werden, dass der Raumabschluss über einen längeren Zeitraum (z. B. > 30 Minuten) erhalten bleibt sowie wesentliche Teile des Tragwerks bzw. das gesamte Tragwerk tragfähig und standsicher bleiben, weil die Elemente selbst bzw. deren Verbindungen und eventuell auch Anschlüsse zwischen den Elementen und den Wandbauteilen versagen. Im Vergleich dazu ist festzustellen, dass Einzelbauteile und deren Verbindungen sowie Anschlüsse in der praktisch monolithischen Massivbauweise, bezogen auf den Wohnbau, ohne zusätzliche Maßnahmen praktisch immer ausreichend feuerwiderstandsfähig ausgebildet werden, um auch die an ein Gesamtsystem zu stellenden Brandschutzanforderungen zu erfüllen (siehe [12] und [13]).

Die nachfolgenden Abb. 18 und 19 zeigen Anschlussvarianten von Decken an Wände in Holzbauweise, wie sie in Deutschland gemäß Muster-Holzbaurichtlinie und in Österreich nach Standardlösungen der PROHOLZ [24] vorgeschlagen und auch ausgeführt werden.

Im deutschen Entwurf „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise“ [25] wird gefordert, dass die Brandschutzbekleidungen im Anschlussbereich von Decken an Wandbauteilen so auszuführen sind, dass keine durchgehenden Fugen entstehen. Außerdem ist auf eine Ausbildung der Anschlüsse zu achten, die geeignet ist, das Aufreißen der Brandschutzbekleidung aufgrund von Verformungen im Brandfall zu verhindern. Dazu sind die tragenden Holzelemente im Anschlussbereich mit Schrauben im Bereich der Balken sowie in der Mitte durch Verblockung zu verbinden. Der Abstand der Verbindungs-

mittel zueinander darf maximal 500 mm betragen, wobei die Einschraubtiefe zur Herstellung einer zugfesten Verbindung mindestens dem

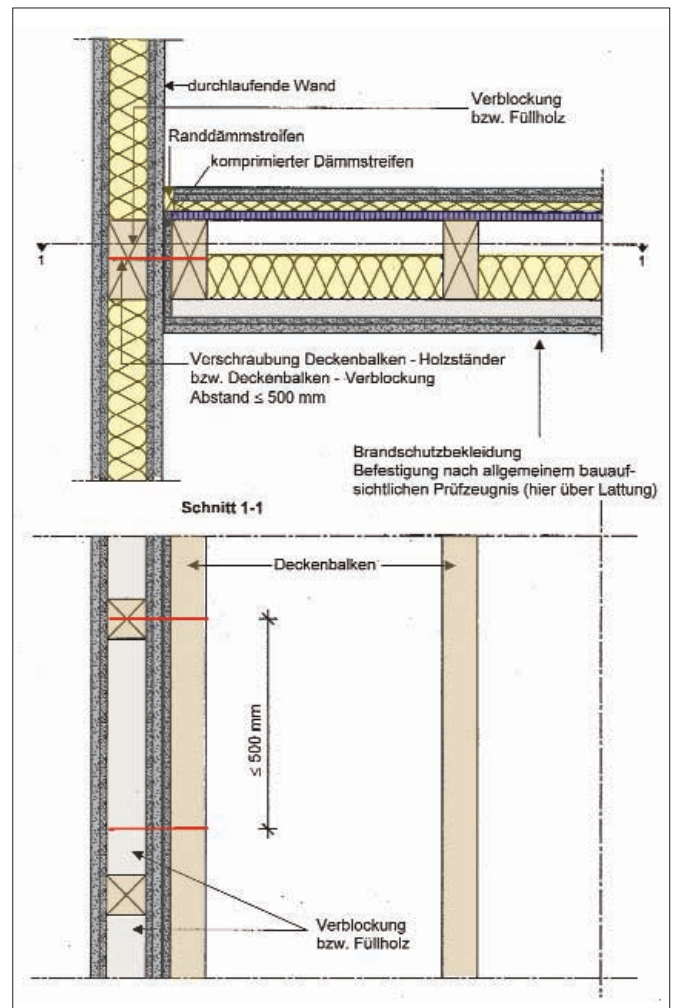


Abb. 18: Anschluss eines Deckenbauteils an eine durchlaufende, raumabschließende Wand nach [25]

12fachen Schraubendurchmesser entsprechen muss [19].

Die Abb. 18 zeigt eine aus brandschutztechnischer Sicht korrekte Ausbildung eines Anschlusses der Decke an eine durchlaufende Wand gemäß der Holzbaurichtlinie, nach der eine Entzündung von tragenden und aussteifenden Teilen des Deckenbauteils, unentdeckte Brandherde, ein Nachbrennen der Konstruktion mit der Gefahr des verzögerten Tragfähigkeitsverlustes oder die Brandweiterleitung in benachbarte Nutzungseinheiten verhindert werden. Auf zerstörende Glimmphänomene durch exotherme Holzzersetzungen, welche bereits bei $T < 300 \text{ °C}$ nachweisbar sind, wurde bereits in Abschnitt 3.2 hingewiesen.

Vergleichbare Forderungen an Holzkonstruktionen gemäß diesen in Deutschland gestellten Anforderungen [25] fehlen in Österreich völlig. Die Abb. 19 zeigt eine in der Informationsmappe „Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich“ [24] vorgeschlagene Lösung für den Bauteilanschluss einer Decke an die Wand. Diese Mappe dient als Leitfaden für österreichische Architekten, Bauherren und Bauträger, d.h. es wird nach diesen Detail-

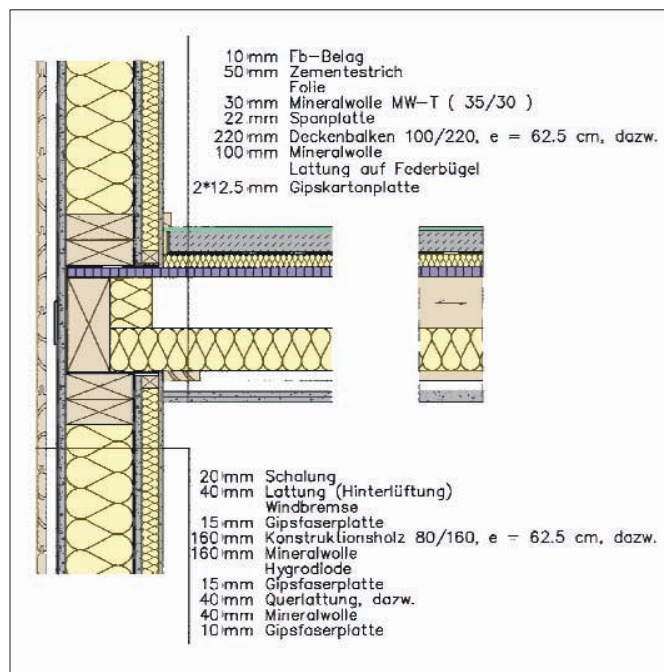


Abb. 19: Anschluss eines Deckenbauteils an eine raumabschließende Wand nach [24]

lösungen (mehrgeschossig) gebaut.

Die Abb. 19 zeigt die derzeitigen Defizite dieser Konstruktion auf. Die Brandschutzbekleidung weist durchgehende Fugen auf, d. h. es ist im Brandfall im Anschlussbereich des Deckenbauteils an das Wandbauteil mit einer Brandeinleitung in die Konstruktion zu rechnen. Des Weiteren ist keine Verschraubung bzw. Verblockung der tragenden Holzelemente vorgeschrieben.

Solange ähnliche Forderungen, wie sie in Deutschland erhoben werden in Österreich nicht verpflichtend sind, wird die Verschraubung der Elemente alleine aus Kostengründen vermutlich nicht durchgeführt werden. Somit kann im Brandfall nicht verhindert werden, dass das Feuer infolge von Verformungen und Verschiebungen der Holztragelemente durch aufreißende Fugen in die Konstruktion eindringt, diese entzündet und somit in weiterer Folge einen Einsturz wesentlicher Teile der Gesamtkonstruktion verursacht.

Der mögliche Einsturz der Gesamtkonstruktion wird in der Holzbauweise durch die punktförmige Einleitung der Lasten aus der Geschosdecke über die tragenden vertikalen Holzsteher in die Wandkonstruktion noch begünstigt, da bereits das Versagen eines einzelnen Holzstehers bzw. eines einzigen Verbindungselements zwischen dem tragenden Deckensystem und dem Holzsteher das Versagen wesentlicher Teile der Gesamtkonstruktion zur Folge haben kann. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn es sich bei diesem Knotenpunkt um einen wesentlichen und kritischen Bestandteil der Holzkonstruktion in Bezug auf die Tragfähigkeit des Gesamtverbandes handelt.

Die enormen Tragreserven des Massivbaues, die weit über die bauaufsichtlichen Anforderungen hinausgehen und welche in der Vergangenheit zu dem hohen Sicherheitsniveau im Wohnungsbau geführt haben, sind bei den zukünftig zu erwartenden mehrgeschossigen Holzbauten (stillschweigend) verschwunden. Der Architekt und auch der Nutzer merken dies naturgemäß nicht, weil es „selten“ brennt und der Planer im Allgemeinen nur geringe brandschutztechnische Kenntnisse hat, weil das Fachgebiet Brandschutz im Rahmen der Ausbildung praktisch nicht vertreten ist.

Bei der Planung und dem Einbau von Tragelementen aus Holzwerkstoffen ist darüber hinaus besonders auf die fachgemäße Planung und den entsprechenden Einbauzustand zu achten. Dass davon nicht allgemein auszugehen ist, zeigt die nachstehende Abb. 20, welche eine exakte Analyse der Fehlerquellen bei der Trockenbauweise nach [29] zeigt. Das Diagramm verdeutlicht, dass es sich bei den Mängeln in 60 % der Fälle um Planungsfehler, in 30 % um Ausführungsfehler und in 10 % um Produktfehler handelt.

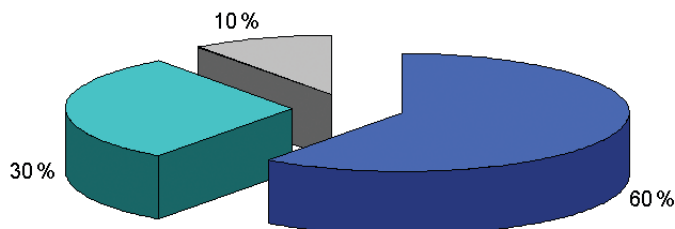


Abb. 20: Fehlerquellen bei der Trockenbauweise nach [29]

Der mit 60 % extrem große Anteil an Planungsfehlern liegt in der Regel im Verantwortungsbereich des Architekten, d. h. es fehlt in der Architekturszene nach wie vor eine Bewusstseinsbildung bezüglich der bauweisenspezifischen Risiken und Gefahrenpotenziale in der Holzbauweise. Angesichts der fehlenden Brandschutz-Ausbildung an fast allen Architekturfakultäten in Österreich und Deutschland ist dieses nicht

weiter verwunderlich. Des Weiteren zeigen diese Untersuchungen deutlich, dass die fachgerechte Ausführung nicht vorausgesetzt werden kann, denn die durch Ausführungsfehler verursachten Mängel liegen in einer Größenordnung von 30 %.

Verhältnismäßig gering liegen im Vergleich zu den beiden genannten Fehlerquellen die Produktfehler mit einem Anteil von nur 10 %.

3.5 Verbindungen, Anschlüsse und Fugen in der Massivbauweise

Grundsätzlich gilt für alle Gebäude, dass die tragenden und nichttragenden Bauteile, einschließlich Anschlüsse, Auflager, Aussteifungen, Fugen etc., die gleiche Feuerwiderstandsdauer aufweisen müssen. Diese ganz allgemeine Anforderung ergibt sich nicht nur aus der Logik der MBO, sondern auch aus den Prüfbedingungen nach DIN 4102-2 und -3. Somit sind auch bei Gebäuden in Massivbauweise hinsichtlich der Anschluss- und Fugenproblematik diesbezüglich gewisse Regeln und Vorschriften zu beachten. Die Detailausführungen bei monolithischen Bauweisen sind in Bezug auf das Brandverhalten allerdings weit weniger kritisch zu beurteilen als bei der Holzbauweise und darüber hinaus relativ problemlos herstellbar. So werden z. B. im Wohnbau die Deckenbauteile oft als Stahlbetonfertigteile oder vor Ort betoniert ausgeführt, bei denen aufgrund des hohen Eigengewichtes der Stahlbetonplatten grundsätzlich nur mit minimalen und aus der Sicht des Brandschutzes risikolosen Fugen zu rechnen ist.

Die Ableitung der Lasten der Geschossdecken in das tragende Mauerwerk erfolgt grundsätzlich linienförmig sowie zwei- oder vierseitig. Die Abb. 21 zeigt eine praxisübliche Ausbildung eines Deckenanschlusses an eine zweischalige massive Außenwand. Dabei werden die Lasten aus der plattenförmigen Stahlbetongeschossdecke linienförmig in die tragende Schale des Mauerwerks abgetragen. Die als Ausgleichsschicht verwendete Bitumenpappe ist brandschutztechnisch absolut unbedenklich, so dass im Brandfall der Raumabschluss in diesem Bereich mit Sicherheit erhalten bleibt.

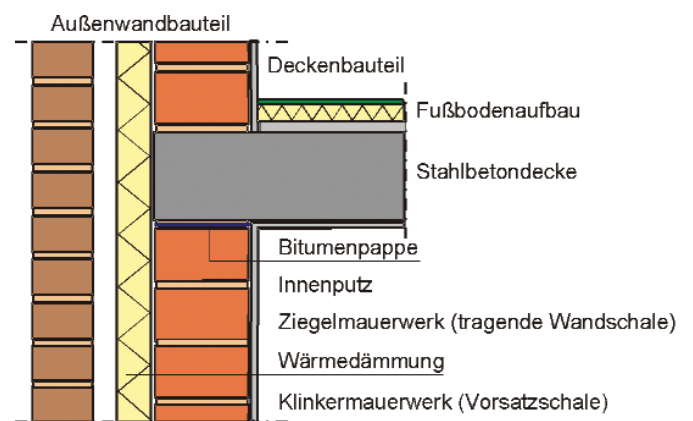


Abb. 21: Möglichkeit eines Anschlusses der Stahlbetondecke an eine zweischalige massive Außenwand aus Ziegelmauerwerk nach [16]

Die Anschlusspunkte werden aufgrund dieser durchgehenden Ausführung der Auflagerung im Brandfall nicht versagen. Eine partielle Zerstörung des Fugenmörtels kann infolge von Spannungsverlagerungen zwar im schlimmsten Fall zu einer geringen Verformung einer Wand führen, ein Einsturz der Deckenkonstruktion ist aufgrund der mehrseitigen Auflagerung jedoch praktisch ausgeschlossen.

3.6 Verbindungen, Anschlüsse und Fugen in der Holzbauweise

Bei der Holzbauweise verhalten sich Verbindungen und Anschlüsse bezüglich ihrer Feuerwiderstandsdauer im Vergleich zu den Bauteilkonstruktionen, d. h. zu Innen- und Außenwänden, Stützen, Balken und Decken, am kritischsten. Die Abb. 22 zeigt den Einfluss der Detailausführung der Anschluss- und Verbindungsbereiche auf die Gesamtkonstruktion nach [20]. In der dargestellten Untersuchung wurde das Brandverhalten von 36 verschiedenen Gebäudetypen analysiert, die zum Großteil der Holztafelbauweise zuzuordnen sind.

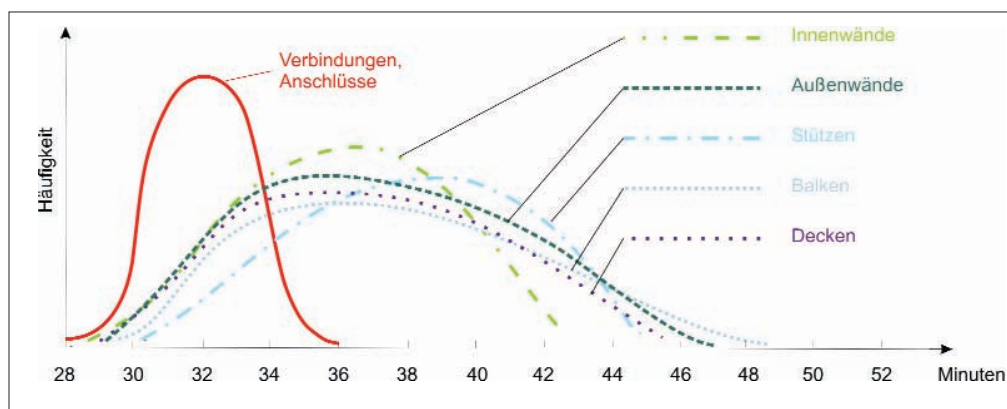


Abb. 22: Vergleich der tatsächlich erreichten Feuerwiderstandsdauer verschiedener Bauteile mit der geforderten Feuerwiderstandsklasse F 30 (zukünftig REI 30 nach [27]) bei 36 unterschiedlichen Gebäudetypen nach [20]

Anhand der Abbildung ist ersichtlich, dass die Feuerwiderstandsdauern verschiedener Bauteile bei diesen Untersuchungen im Schnitt zwischen 28 und 48 Minuten (Mittelwert 38 Minuten) lag, während bei Verbindungen und Anschlüssen bereits zwischen der 28. und 36. Minute (Mittelwert 32 Minuten) das Versagen eintrat, d. h. die Gesamtkonstruktion kann die Qualifikation F 30 (zukünftig REI 30 nach [27]) in vielen Fällen nicht erreichen, weil die Verbindungen oder Anschlüsse vorher versagen. Die Problematik der metallischen Verbindungsmittel liegt darin, dass sie unter Brandeinwirkung „weich“ werden und ihre Festigkeit verlieren. Im ungünstigsten Fall tritt das sofortige und plötzliche Versagen der Gesamtkonstruktion ein.

Des Weiteren führt eine Erwärmung der metallischen Verbindungsmittel zur Weiterleitung der hohen Temperaturen in das Innere des Holzquerschnittes. Daraus resultieren das Herausbrennen von metallischen Verbindungsmitteln sowie der

Verlust der Zugkraft der Verbindung, was möglicherweise ein Versagen der Gesamtkonstruktion zur Folge hat. Das Versagen von Holzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln wurde erst kürzlich im Rahmen einer Dissertation an der TU Berlin untersucht [35]. Als maßgebende Einflüsse auf die im Brandfall auftretende Tragfähigkeitsreduzierung gegenüber der Tragfähigkeit einer Verbindung bei Normaltemperatur wurden neben der Branddauer die Seitenholzdicken sowie die Stabdübellängen und Stabdübelndurchmesser festgestellt. Die folgende Abb. 23 zeigt auszugsweise ein Ergebnis nach [35].

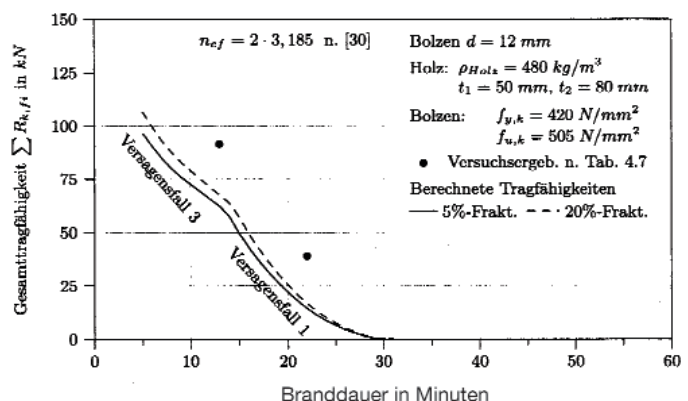


Abb. 23: Vergleich der berechneten Gesamttragfähigkeit $\sum R_{k,fi}$ einer zweischnittigen Holz-Holz-Verbindung mit einem Bolzendurchmesser $d = 12$ mm mit französischen Versuchsergebnissen nach der Einheits-temperaturkurve (ETK)

Aus der Abb. 23 geht hervor, dass der Stabdübel in den Brandversuchen bereits nach 13 Minuten Branddauer (Belastung 91,5 kN) bzw. 22 Minuten Branddauer (Belastung 39 kN) versagt hat. Die rechnerischen Untersuchungen haben ergeben, dass die 5 %-Fraktile der Tragfähigkeit noch deutlich unter den Messwerten liegt und ab 30 Minuten Branddauer die Tragfähigkeit sowohl für die 5 %-Fraktile als auch für eine 20 %-Fraktile praktisch null ist. Für einen Stabdübel mit $d = 20$ mm wurden in [35] vergleichbare Ergebnisse gefunden, d. h. auch hier ist die Tragfähigkeit nach 30 Minuten erschöpft.

In Australien wurde bereits 1979 eine Testserie zur Überprüfung der Feuerwiderstandsdauern von verschiedenen Verbindungsmitteln aus Metall durchgeführt [30]. Die Abb. 24 zeigt die drei durch genagelte bzw. geschraubte Zuglaschen verbundenen Holzstäbe, die unter der zulässigen Belastung Brandversuchen nach der Einheitstemperaturkurve (ETK) ausgesetzt waren.

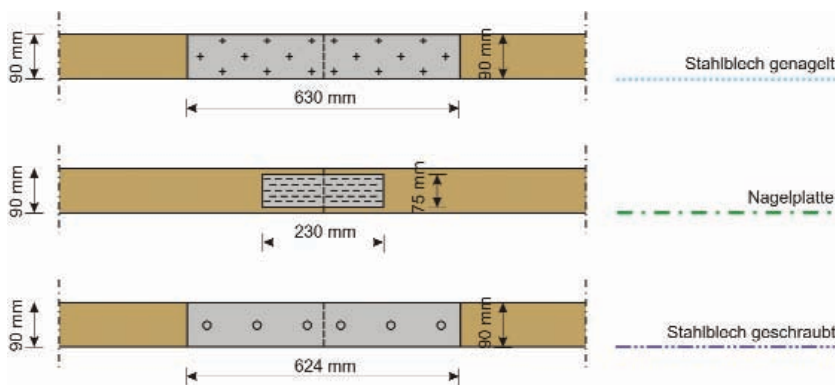


Abb. 24: Genagelte und geschraubte Zuglaschen nach [24]

Die Abb. 25 zeigt das Verhalten der verschiedenen Zuglaschen unter Brandbelastung nach der Einheitstemperaturkurve (ETK). Die Versuchsergebnisse belegen, dass die Nagelplattenverbindung durch die rasche Erhitzung des Stahls bereits nach fünf Minuten versagt. Das geschraubte Stahlblech hält der Brandbeanspruchung etwa 17 Minuten, das genagelte Stahlblech ca. 38 Minuten lang stand. Die Tatsache, dass die Nagelplatte bereits nach fünf Minuten versagt, ist hier als besonders negatives Versuchsergebnis hervorzuheben, weil solche Nagelplatten in Holzverbindungen eine übliche und generell auch gut geeignete Verbindungsart darstellen.

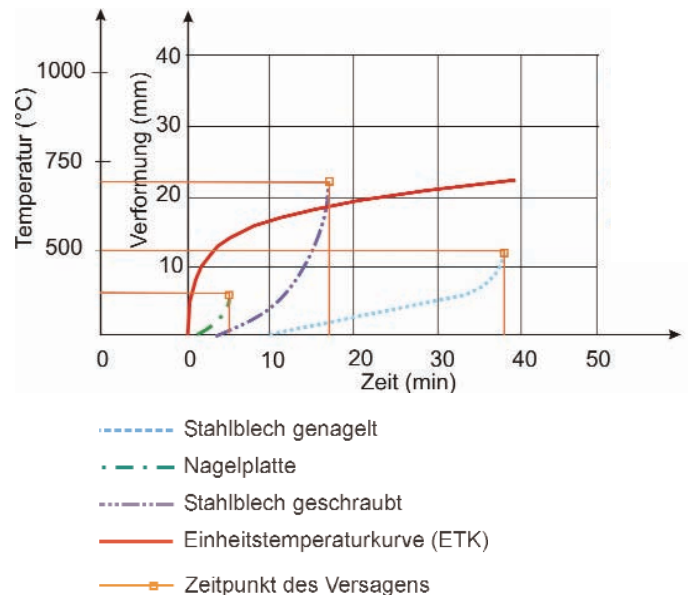


Abb. 25: Verhalten der Zuglaschen bei Belastung nach der Einheitstemperaturkurve (ETK) nach [24]

Die Abb. 26 untermauert die allgemeine Erkenntnis, dass metallische Verbindungsmittel unter Brandbeanspruchung „weich“ werden und so ein Versagen der Gesamtkonstruktion zur Folge haben können. Die Fotos zeigen jeweils einen Balkenschuh zur Verbindung des Trägers mit der Stütze. Das linke Foto wurde dabei kurz vor dem Versagen aufgenommen, und das rechte Foto zeigt den infolge der Temperaturbeanspruchung aufgerissenen Balkenschuh. Durch die Verformung des Stahlteils rutscht der Träger aus dem Bal-

kenschuh und das gesamte Tragsystem versagt, obwohl die Holzquerschnitte erst vergleichsweise geringe Verkohlungstiefen zeigen, d. h. die in Diskussionen über die Brandsicherheit von Holzbauten häufig hervorgehobene und zweifellos auch vorhandene „Schutzwirkung“ der Holzkohle (im Sinne eines Isolationsschutzes an der Holzoberfläche) trägt nicht wesentlich dazu bei, die gut wärmeleitenden Stahlverbindungen vor dem „Erweichen“ zu schützen.

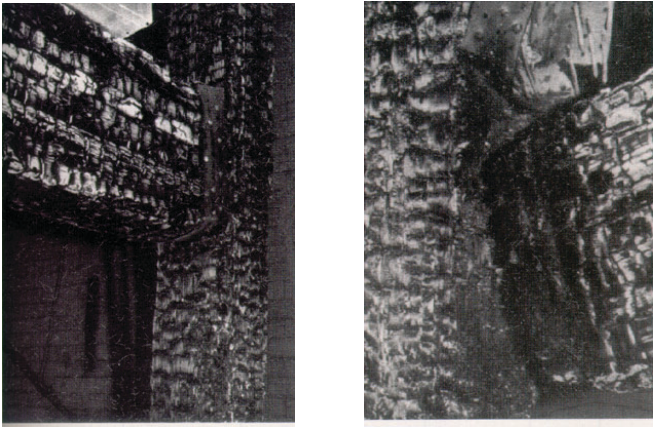


Abb. 26: Ingenieurmäßiges Verbindungsmittel in Form eines Balkenschuhs vor und nach dem Versagen [20]

Stahlverbindungsmittel können nur dann einen hohen Feuerwiderstand erreichen, wenn sie zusätzlich vor dem Feuer geschützt werden. Wenn dies nicht gewährleistet ist, wird die Wärme über die Verbindungsmittel rasch in das Bauteilinnere geleitet. Dies führt dazu, dass Nägel „weich“ werden und die Festigkeit verlieren oder kraftübertragende Bolzen oder Dübel rasch hohe Temperaturen erreichen und versagen. Beispiele dazu sind in [20] zu finden.

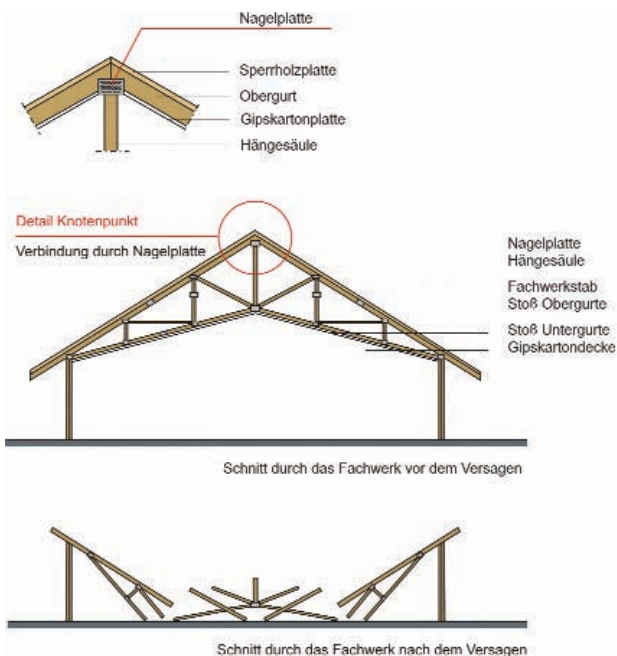


Abb. 27: Schnitt durch das Fachwerk vor und nach dem Versagen nach [26]

Ein Bericht der United States Fire Administration aus dem Jahr 1992 untermauert die aufgezeigte Problematik der Verbindungen bei Holzbaukonstruktionen. Das nachfolgende Fallbeispiel bezieht sich allerdings nicht auf einen Wohnbau, sondern auf eine Kirche. Es zeigt eindrucksvoll, wie die Zerstörung einer einzelnen Holzverbindung im Brand zum schlagartigen Versagen eines zusammenwirkenden Holztragsystems und Einsturz der Gesamtkonstruktion führen kann. Es handelt sich dabei um das plötzliche Versagen der Dachkonstruktion einer Kirche in Memphis, Tennessee, durch das zwei Feuerwehrmänner im Einsatz ums Leben kamen [26].

Die Kirche wurde nach den geltenden amerikanischen Normen errichtet und als ein einziger Brandabschnitt ausgebildet. Die Wände des Gebäudes waren innenseitig mit einer Holzbekleidung versehen, die am Anschlusspunkt zur Decke einen folgenschweren Beitrag zur weiteren Brandausbreitung lieferte. Das Dachtragwerk bzw. die Kirchendecke war unterseitig mit Gipskartonplatten beplankt (siehe Abb. 27).

Die Abb. 27 zeigt einen Schnitt durch den Fachwerkbinder sowie ein Detail des Knotenpunktes der Obergurte und der Hängesäule. Die obere Verbindung der Dachsparren stellt grundsätzlich in jedem Dachtragwerk den kritischen Punkt dar, weil das Versagen dieses Knotenpunktes in jedem Fall das Versagen des gesamten Tragwerkes zur Folge hat.

Der Brandherd lag in einem Nebenraum, wo sich das Feuer nach Eintritt des Flashover, vorerst unbemerkt, über die Fugen im Anschlussbereich der Gipskartonverkleidung des Fachwerkbinders an der Außenwand in den Dachraum der Kirche fortsetzen konnte. Der Brand der Dachkonstruktion wurde erst durch herabfallende Teile der Gipskartonbeplankung festgestellt, worauf die Feuerwehrleute begannen, sich vom Brandobjekt zurückzuziehen. Das Dach versagte allerdings derart rasch, dass zwei Feuerwehrmänner unter den brennenden Teilen eingeschlossen wurden und kurze Zeit später den Folgen ihrer Verbrennungen erlagen. Das plötzliche Versagen des Fachwerkbinders konnte nach einer Analyse der USFA in diesem Fall einzig und allein dem Versagen der Nagelplatte im Firstbereich zugeschrieben werden [26]. Anhand dieses Vorfalls ist erkennbar, dass ein Fachwerkbinder mit Hängesäulen seine Tragfähigkeit im Brandfall eventuell nur sehr kurz aufrechterhalten und in Folge ohne jegliche Vorwarnung versagen kann.

3.7 Fassaden in Massivbauweise

Aus der Sicht des Brandschutzes stellt die Fassade eines Gebäudes immer dann ein Problem dar, wenn diese einen nennenswerten Beitrag zur Brandlast liefert bzw. wenn diese zur Brandweiterleitung beiträgt. Fassaden in Massivbauweise sind daher grundsätzlich unbedenklich. Dabei ist es nicht relevant, ob es sich um eine ein- oder zweischalige Wandkonstruktion handelt. Sowohl die Mauerziegel als auch der Außenputz liefern keinen Beitrag zur Brandlast und tragen nicht zur Brandweiterleitung über die Fassade bei. Ein besonderes Gefahrenpotenzial bildet eine brennbare Fassadenverkleidung, sobald sie im Brandfall an der Fassade verbleibt und nicht abfällt. Hierbei ist neben der Befestigung der Verkleidung vor allem auch die Geometrie des Gebäudes relevant.

Die Brandvorgänge an der Fassade hängen in der Regel unmittelbar von der Entwicklung des Brandes im Gebäudeinneren ab. Die höchsten Wärmestromdichten vor der Fassade treten im Fall von aus den Fensteröffnungen herausschlagenden Flammen etwas oberhalb des Fenstersturzes auf und sind somit für die Tragfähigkeit des Sturzes und die Brandweiterleitung zum nächsten Geschoss von großer Bedeutung. Die Abb. 28 zeigt die im Heißgasstrom auftretenden Temperaturen vor der Fassade anhand von drei unterschiedlichen Versuchsanordnungen bei Realbrandversuchen in Lehrte [15].

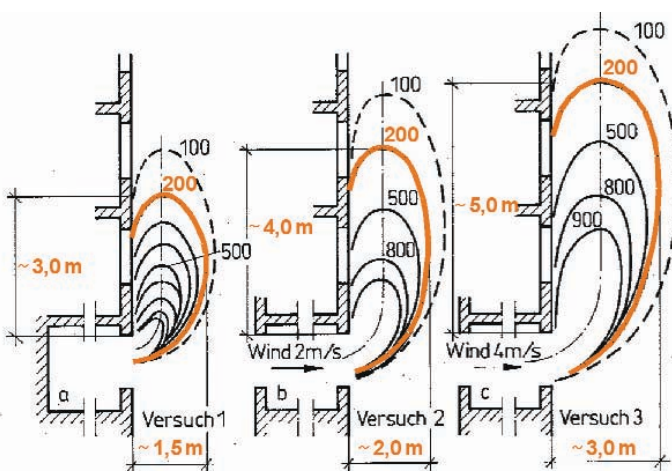


Abb. 28: Isothermenbild des Temperaturfeldes vor der Fassade nach [15]

Die in der Abb. 28 dargestellten drei Isothermenbilder zeigen, dass das Temperaturfeld eine Achse hat, welche ab einer gewissen Entfernung zum Sturz etwa parallel zur Außenwand verläuft. Maßgebend für die Ausdehnung des Heißgasstromes vor der Fassade ist die Horizontalgeschwindigkeit, mit der die Rauchgase die Brandraumöffnung verlassen. Diese bestimmt die Länge der horizontalen Strecke, nach deren Durchlaufen die Rauchgase infolge des Auftriebs in eine vertikale Bahn umgelenkt werden. Die Höhe des Feuerplumes vor der Fassade wird durch die Brandleistung im Brandraum und die Brandleistung der Verbrennung vor der Fassade bestimmt.

Anhand der Abb. 28 ist ersichtlich, dass ohne Wind vom Innenraum nach außen in etwa 1,5 m horizontaler und 3,0 m vertikaler Entfernung von der Fenstersturzkante eine Temperatur von 200 °C gemessen werden konnte. Bei einer Windgeschwindigkeit von 2 m/s stieg die horizontale Entfernung auf ca. 2 m und der vertikale Weg auf etwas 4 m an. Die Temperatur von 200 °C wurde bei einer Geschwindigkeit von 4 m/s schließlich in ungefähr 3,0 m horizontalem und 5,0 m vertikalem Abstand von der Fenstersturzkante gemessen. Mit zunehmendem Abstand von der Brandraumöffnung kühlen die Heißgase sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung rasch ab, wobei die Gase in vertikaler Richtung einen etwa doppelt so langen Weg benötigen, um auf die gleiche Temperatur zu kommen wie bei einer horizontalen Abkühlung.

Massivwohnbauten werden heute aus Gründen des Wärmeschutzes u. a. als einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystemen ausgeführt. Dabei kommen in der Regel Wärmedämmplatten aus schwerbrennbarem Polystyrol-Hartschaum (Baustoffklasse B1) zum Einsatz, die fassadenseitig auf die massive Wandkonstruktion aufgebracht werden. Diese Wärmedämmplatten erweichen bei einer Temperatur von etwa 110 °C, schrumpfen und schmelzen in weiterer Folge bei einer Temperatur von ca. 200 °C. Anhand der gezeigten Darstellung der Isothermenbilder des Temperaturfeldes an der Fassade (siehe Abb. 28) ist erkennbar, wie weit sich das Temperaturfeld von 200 °C entlang der Fassade in vertikaler Richtung ausbreitet. Die Gefährlichkeit dieser Reaktion ist in Summe stark von den jeweiligen

Randbedingungen wie z. B. der Gebäudegeometrie, den Brandlasten, der Brandschutzausrüstung des Polystyrols etc. abhängig. Wärmedämmverbundsysteme sind unter anderem aus diesem Grunde zulassungspflichtige Bauprodukte.

Die Brandbelastung eines 10 cm dicken PS-Wärmedämmverbundsystems ergibt sich zu:

$$q = d_{PS} \cdot \rho_{PS} \cdot H_{uPS} = 0,1 \cdot 30,0 \cdot 11,1 = 33,3 \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

Darin sind:

q	Brandbelastung in [kWh/m ²]
d_{PS}	Dicke des PS-Wärmedämmverbundsystems in [m]
ρ_{PS}	Dichte für Polystyrol in [kg/m ³]
H_{uPS}	Heizwert für Polystyrol in [kWh/kg]

Dieser Wert von 33,3 kWh/m² entspricht gemäß nachfolgender Berechnung einer 12 mm dicken Holzbekleidung aus Lärchenholz ohne Einrechnung des zur Befestigung erforderlichen Lattengerüsts.

$$d_H = q / (\rho_H \cdot H_{uH}) = 33,3 / (590 \cdot 4,8) = 0,012 \text{ [m]}$$

Für Holzfassaden werden üblicherweise Bekleidungsstärken von 18 bis 28 mm eingesetzt, d. h. derartige Fassaden (normalbrennbar, Baustoffklasse B2) haben ein deutlich höheres Brandpotenzial als WDVS und nehmen aufgrund ihrer guten Brennbarkeit einen weitaus größeren Einfluss auf den Brandverlauf als die schwerbrennbaren WDVS (Baustoffklasse B1).

3.8 Fassaden in Holzbauweise

Die Fassade eines Gebäudes in Holzbauweise stellt im mehrgeschossigen Holzwohnbau aufgrund der Erhöhung der konstruktiven Brandlast, des direkten Feuerangriffs auf die darüber angeordnete Tragkonstruktion und der Brandweiterleitung über die Fassade ein großes Gefahrenpotenzial dar. Eine besondere Problematik bildet die Flammenausbreitung über den Luftraum von hinterlüfteten Fassaden, die sehr rasch erfolgen und die Entzündung der innenliegenden tragenden Holzkonstruktion beschleunigen kann. Insbesondere ist auch zu beachten, dass durch die Verwendung normalbrennbarer Baustoffe an der Fassade die Anleiterbarkeit der Feuerwehr im Gefahrenfall nicht mehr gegeben ist, d. h. der notwendige zweite Rettungsweg über die Feuerwehrleiter ist nicht mehr vorhanden. Wenn also ein mehrgeschossiges Gebäude mit einer normalbrennbaren Fassade (Baustoffklasse B2) errichtet wird, welche in ihrer Höhe über die nach Baurecht bisher üblichen zwei Geschosse hinausgeht, dann gibt es keinen zweiten Rettungsweg über die Feuerwehrleiter, d. h. es müsste über Ersatzmaßnahmen nachgedacht werden. In der Wiener Bauordnung ist diesbezüglich eine generelle Forderung enthalten, dass ein zweiter baulicher Rettungsweg verlangt werden kann, wenn dieser aufgrund der vorliegenden Bauweise bzw. Bauausführung nicht anderweitig sichergestellt werden kann.

Der Aspekt der Brandweiterleitung wirkt sich somit besonders kritisch auf die Verschlechterung der Flucht- und Rettungssituation im Brandfall für die Gebäudenutzer, aber auch in Bezug auf die Möglichkeiten eines Angriffes durch die Feuerwehr aus. Je nach Zeitpunkt des Beginns eines Löschangriffes kann bei Holzkonstruktionen die Situation eintreten, dass aufgrund der Beteiligung der brennbaren Baustoffe das Brandgeschehen eine so große Intensität erreicht, dass ein Innenangriff für die Einsatzkräfte zu gefährlich ist und somit ein Löscherfolg von innen nicht mehr erzielt werden kann. Durch die Beteiligung brennbarer Konstruktionsmaterialien am Brandgeschehen stellen sich generell ungünstigere Verhältnisse in Bezug auf die Kohlenmonoxidkonzentration, CO-Ausbreitung und Temperaturentwicklung im Gebäude ein als bei nicht brennbaren Baustoffen; das bedeutet im Einzelnen, dass einerseits eine relativ kurze Zeitspanne von Brandbeginn an für die Flucht und Rettung zur Verfügung steht und andererseits nach kurzer Zeit das brandschutztechnische Versagen von Gebäudeteilen zu beachten ist, d. h. auch dass die Benutzung der Fluchtwege bedeutend erschwert wird.

Die hohen Temperaturen, die vor allem nach einem Flashover bei Raumbränden auftreten, führen auch sehr rasch zum Versagen von

Verglasungen. Das Anordnen von auskragenden Balkonen aus nichtbrennbaren Baustoffen bzw. die Ausbildung einer brandschutztechnisch geschützten Traufkante kann die Brandweiterleitung über die Fassade und in weiterer Folge zum Dach des Gebäudes zwar nicht verhindern, aber zumindest verzögern und somit die Personensicherheit erhöhen. Dabei ist allerdings die auf den Balkonen eventuell gelagerte Brandlast von großer Bedeutung. Prinzipiell können nur massive Balkonplatten über dem Brandraum ohne darauf gelagerter Brandlast einen Feuerübersprung auf das über dem Brandraum liegende Geschoss zeitlich verzögern. Es ist jedoch grundsätzlich davon auszugehen, dass in der Praxis sowohl immobile Brandlasten, z. B. in Form von Geländern, als auch mobile Brandlasten, d. h. Möbel, Wäscheständer etc., auf Balkonen vorzufinden sind. Somit ist eine Brandweiterleitung in die über dem Brandraum situierten Bereiche auch in diesen Fällen nicht prinzipiell auszuschließen.

Eine verzögernde Wirkung auf die Brandweiterleitung über die Fassade wird ausschließlich durch auskragende Balkone, nicht aber durch Loggien erreicht, die nur einseitig offen sind. Loggien sind zwar den Balkonen konstruktiv verwandt, sie liegen in der Regel jedoch innerhalb des Baukörpers und bieten somit durch die fehlende horizontale Barrierewirkung keinen Schutz gegen den raschen Feuerüberschlag. Der Brand der Wohnhausanlage „Boucle de Gilamont“ in der Schweiz [22] hat u. a. gezeigt, dass Loggien grundsätzlich keine positive Wirkung auf die Brandweiterleitung haben. Bei dieser Anlage setzte sich der Brand über die fünfgeschossige Fassade binnen ca. 60 Sekunden ungehindert fort.

Abschließend soll der Einfluss von brennbaren bzw. nichtbrennbaren Materialien auf die Brandentwicklung und -fortleitung im Fassadenbereich anhand eines Fallbeispiels qualitativ aufgezeigt werden. Die Abb. 29 zeigt den Brand eines Zweifamilienhauses in Vorarlberg. Bei dem Gebäude handelt es sich um einen Massivbau mit einem Anbau in Holzbauweise. Der Massivbau ist im angrenzenden Teil zum Holzbau mit einer Holzlattung verkleidet.



Abb. 29: Brand eines Zweifamilienhauses in Massivbauweise mit einem Anbau in Holzbauweise [17]

Die Abb. 29 zeigt deutlich das Verhalten der Konstruktionen im fortgeschrittenen Brandstadium. Während die gesamte Holzkonstruktion schon vom Feuer erfasst ist, brennen am Massivbau lediglich die holzverkleidete Fassade sowie das an den Holzbau angrenzende Dachgeschoss. Am übrigen Gebäudeteil brennen zu diesem Zeitpunkt nur die dekorativen Elemente aus Holz, d. h. die Fensterläden und die hölzernen Gesimse oberhalb der Fenster brannten, während der in Holz ausgeführte Gebäudeteil vom Feuer bereits völlig zerstört war.

Bedingt durch den starken Föhn wurde der Löschangriff der Feuerwehr deutlich erschwert, und so konnte schlussendlich nicht verhindert werden, dass das Feuer auch auf den Dachstuhl des Massivbauteiles übergriff und sich auf diesen ausbreitete. Das Dachgeschoss des massiven Gebäudeteils brannte in weiterer Folge zwar aus, der Massivbau blieb aber im Gegensatz zum Holzbau erhalten.

3.9 Öffnungen bei der Massivbauweise

Bei Massivbauten ist grundsätzlich die Anwesenheit zusätzlicher mobiler Brandlasten erforderlich, um eine Brandweiterleitung über Öffnungen zu ermöglichen. Weiterhin sind für die Ausbildung der Öffnungen keine komplizierten Detaillösungen erforderlich, um eine Brandeinleitung in die Konstruktion zu verhindern. In der Massivbauweise wird im Wesentlichen der Wandverputz bis zum Türstock geführt. Diese Anschlussausbildung ist aus brandschutztechnischer Sicht ausreichend, da eine Entzündung der Tragkonstruktion keine bauweisenimmanente Problematik darstellt.

Ein Schwachpunkt im Geschossbau ist lediglich die Wohnungseingangstür, welche im Falle eines Brandes gegebenenfalls von den flüchtenden Bewohnern nicht verschlossen wird, sodass der angrenzende Treppenraum eventuell verraucht. Andere Bewohner müssen dann über die Feuerwehrelleiter gerettet werden.

Dasselbe Prinzip gilt auch für die Ausbildung der Fensteröffnungen in der Massivbauweise. Der Putz endet beim Fensterstock, und die Fuge hinter dem Rahmen stellt somit keinen zusätzlichen Schwachpunkt dar. Problematisch wird in Bezug auf die Fensteröffnungen das Erreichen sehr hoher Temperaturen, bei denen mit einem Zerspringen der Scheiben zu rechnen ist. Dieses ist beim Massivbau etwas weniger kritisch als beim Holzbau, weil die Brandintensität beim Ersteren etwas geringer ist. Allerdings hat das Herausschlagen der Flammen aus der Fensteröffnung im Allgemeinen keine Auswirkungen im Hinblick auf die Brandweiterleitung über die nichtbrennbare Fassade.

Diese Feststellung wird durch den im Folgenden beschriebene Brandversuch an einem Wohnobjekt eindrucksvoll bestätigt. Es handelt sich dabei um einen Realbrandversuch an einem Abrissobjekt in einer Wohnsiedlung in Wimpassing, Niederösterreich, der in Kooperation mit der Berufsfeuerwehr Wien, der Freiwilligen Feuerwehr Wimpassing und dem Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der TU Wien im Jahre 2001 durchgeführt wurde.

Die Abb. 30 zeigt die Entwicklung des Brandgeschehens außerhalb des Brandraumes, nachdem infolge der hohen Temperatureinwirkungen die Fensterscheiben im Brandraum bereits geborsten sind. Auf der linken Darstellung ist eindeutig zu erkennen, dass die Holzfensterrahmen bereits brennen und somit einen Beitrag zum Brandgeschehen und der Brandintensität leisten. Gleichzeitig sind an den die Öffnungen umschließenden Wänden, abgesehen von der Verrußung im Bereich des Flammenkranzes, keinerlei Auswirkungen auf das Wandbauteil vor allem in Bezug auf die Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion auszumachen. Ebenso ist eindeutig erkennbar, dass trotz der mehrere Meter hohen Flammen keine Brandweiterleitung über die Fassade erfolgt.



Abb. 30: Brandentwicklung an den Öffnungen bei einem Zimmerbrand in einem Massivhaus

3.10 Öffnungen bei der Holzbauweise

Öffnungen für Fenster, Türen und sonstige Einbauten stellen aus der Sicht des Brandschutzes besondere Schwachpunkte in der Gesamtkonstruktion eines Holzbauwerks dar. Bei einem Holzbau können die aus den Fenster- und Türöffnungen tretenden Flammen rasch über die Fassade weitergeleitet werden, während bei Bränden nahe den Öffnungen, wie im vorangegangenen Abschnitt gezeigt wurde, bei einem normalen Massivbau mit Außenputz zusätzliche mobile Brandlasten erforderlich sind, um eine Brandweiterleitung über die Fassade zu ermöglichen. Es ist jedoch zu beachten, dass auch dort ein Brandübertritt durch Fensteröffnungen theoretisch möglich ist, d. h. es sind entsprechende Feuerüberschlagswege durch nichtbrennbare Bauteile sicherzustellen. Aus diesem Grund sollten brennbare Fassadenbaustoffe der Klasse B2 nur bei maximal zweigeschossigen Bauwerken zugelassen werden.

Eine im Brandfall offen gebliebene Wohnungstür im Geschossbau hat gegenüber den in Abschnitt 3.9 bei Massivbauten dargestellten Schwachpunkten eventuell noch zusätzliche negative Auswirkungen. Zunächst ist nicht auszuschließen, dass der gesamte Treppenraum zu brennen beginnt, wenn dieser vollständig aus B2-Baustoffen besteht. Der Treppenraum ist insoweit selbst dann nicht mehr nutzbar, wenn der Feuerwehr eine Entrauchung gelingt, d. h. die Rettung muss in diesem Fall ausschließlich über die Fassade erfolgen. Es stellt sich hier somit die Frage, ob im Mehrgeschossbau eine Gleichzeitigkeit von brennbarer Fassade und Treppenraum in der Klasse B2 zulässig sein kann bzw. sollte. Unter Einbeziehung bisheriger Bauvorschriften, die in Bezug auf Flucht und Rettung gelten, wäre die Frage zu verneinen, wenn der Personenschutz auf dem bisherigen Sicherheitsniveau beibehalten werden soll.

Zusätzlich stellen Öffnungen im Holzbau aber auch ein Gefährdungspotenzial hinsichtlich der Eintragung des Brandes in die Konstruktion dar. Die Abb. 31 zeigt die nach [25] geforderte Ausführung von Öffnungen für Einbauten, wie Fenster, Türen, Verteiler, Lampenkästen etc., in hochfeuerhemmenden Bauteilen. Die Öffnungen der Wandelemente werden umlaufend mit auf F 60 (zukünftig REI 60 nach [27]) geprüften Brandschutzbekleidungen verschlossen. Darüber hinaus

wird ein Fugenversatz in der Brandschutzbekleidung ausgebildet. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Brandweiterleitung in Richtung der Tragkonstruktion (Riegel, Stützen im Öffnungsbereich) zu verzögern. Im derzeitigen Holzbau wird diese Maßnahme nicht verlangt bzw. angewandt, d. h. die Öffnungen sind signifikante Schwachpunkte im Hinblick auf die Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion.

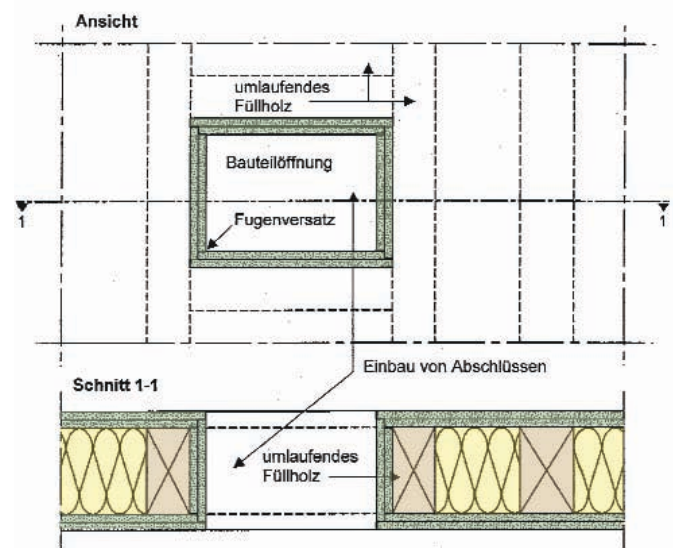


Abb. 31: Darstellung der Ausführung des Fugenversatzes bei Öffnungen mit Brandschutzbekleidung nach [25]

Das folgende Fallbeispiel in Abb. 32 zeigt den Brand eines Bauernhauses in St. Veit, Salzburg. Es handelt sich dabei um ein Gebäude in Blockbauweise.



Abb. 32: Brandweiterleitung über die Fassade bei einem Bauernhaus in Holzbauweise

Wie auf dem Foto ersichtlich, wurden die aus den Fenster- und Türöffnungen tretenden Flammen aufgrund ihrer Höhe sehr rasch über die Fassade weitergeleitet, griffen schließlich auf den Dachstuhl über und entzündeten diesen. Die Feuerwehr hatte einen sehr langen Anfahrtsweg zu

dem in 1.100 m Seehöhe gelegene Bauernhaus zurückzulegen. Somit war das Haus bereits vor Eintreffen der Löschmannschaften vollständig ausgebrannt, die in Massivholzbauweise errichtete tragende Außenwandkonstruktion blieb jedoch bis zu diesem Zeitpunkt erhalten.

3.11 Installationen in der Massivbauweise

Aus brandschutztechnischer Sicht stellen Installationen der Haustechnik bei Massivbauweisen grundsätzlich kein Problem dar. Bei Massivwänden mit einer Gesamtdicke von mindestens 140 mm (einschließlich Putzbekleidung) dürfen Steckdosen, Schaltdosen, Verteilerdosen etc. an jeder beliebigen Stelle eingebaut werden. Die durch den Einbau der Installationen entstehenden Löcher oder Kabelfugen haben keinen Einfluss auf die Feuerwiderstandsdauer der F 90-Bauteile. Dieser Punkt stellt einen wesentlichen Vorteil der Massivbauweise gegenüber der Holzbauweise dar. Bei Wänden mit einer Wanddicke < 140 mm ist darauf zu achten, dass die Einbauten nicht unmittelbar gegenüber angeordnet werden [21].

Weiters ist zu beachten, dass einseitig brandbeanspruchte Wände das „E“-Kriterium, d. h. die Gewährleistung des Raumabschlusses, nur dann erfüllen, wenn alle elektrischen Leitungen und Rohre in eigens hergestellten Aussparungen

geführt werden. Bei den Wohnbauten in Massivbauweise werden Vertikalleitungen der Haustechnik häufig in ausgesparten Mauerwerksschlitzen der tragenden Wände untergebracht. Einzelne Kabel dürfen nach Eurocode 6, Teil 1–2 [5], durch Löcher geführt werden, wenn diese mit Mörtel verschlossen werden. Nichtbrennbare Rohre dürfen durch mit Mörtel verschlossene Löcher durchgeführt werden, wenn die Wärmeleitung der Rohre nicht ausreicht, um das Temperaturkriterium I nach Eurocode zu übertreten.

Grundsätzlich kann vorausgesetzt werden, dass es bei Wohngebäuden in Massivbauweise durch Installationen zu keiner Entzündung innerhalb der Konstruktion kommen kann. Die Gefahr der Brandweiterleitung innerhalb der Konstruktion in Richtung anderer Wohneinheiten oder Geschosse besteht jedoch im Gegensatz zur Holzbauweise nicht, da sowohl die Wohnungstrennwände als auch die Geschossdecken in Mauerwerk bzw. Stahlbeton ausgeführt sind.

3.12 Installationen in der Holzbauweise

Installationsführungen in Holzbauteilen stellen potenzielle Schwachpunkte dar, sofern keine geeigneten Maßnahmen getroffen werden. Durchdringungen für oder von Installationen können bei der Holzbauweise zu einer raschen Feuerausbreitung im gesamten Gebäude führen. So implementieren brennbare Leitungen eine Reihe von Brandrisiken, wozu insbesondere die Weiterleitung des Brandes über tragende Wände und Decken bzw. in Installationsschächte oder Kabelkanäle zählt. Vor allem Kabel und Kunststoffrohre tragen zur Brandweiterleitung bei, weil es keinerlei Schot-

tungen gibt. Die bisher zugelassenen Kabel- und Rohrabschottungen sind grundsätzlich nur für den Einbau in Wänden und Decken aus nichtbrennbaren Baustoffen zugelassen. Ein Brand in Holzbauteilen führt im Bereich von Durchführungen somit stets zum Verlust des Raumabschlusses.

Aber auch nichtbrennbare Rohrdurchführungen durch Wand- und Deckenbauteile tragen zur Steigerung des Brandrisikos in Gebäuden in Holzbauweise bei. Dabei ist vor allem die Gefahr der

Brandübertragung durch Rohrleitungen zu beachten, wobei aufgrund mangelhafter oder fehlender Abschottungen die Aufheizung bzw. die daraus resultierende Wärmeabstrahlung der Rohre zu einer Entzündung der brennbaren Tragkonstruktion führen kann. Weiters kann die thermische Längenänderung der Rohre zur Zerstörung der Wand- und Deckenbauteile bzw. deren Anschlüsse beitragen.

Die Gefahr der elektrischen Leitungen bei Gebäuden in Holzbauweise besteht jedoch nicht nur in der Brandweiterleitung, sondern auch in der Wärmeentwicklung im elektrischen Leiter selbst bzw. durch die Bildung von Zündquellen durch das Auftreten von elektrischen Lichtbögen. Diese können in weiterer Folge zur Entzündung des Holztragsystems innerhalb der Konstruktion führen.

Wackelkontakte in Schaltern, Steckdosen, elektrischen Verbrauchsmitteln etc. können prinzipiell in jedem Stromkreis unzulässige Erwärmungen verursachen, die in Gebäuden in Holzbauweise rasch zur Entzündung der brennbaren Tragkonstruktion führen. Diese zusätzlichen Zündquellen zählen somit zu den bauweisenimmanenten Risiken.

Um zu gewährleisten, dass die Einleitung von Bränden in die Wand- und Deckenbauteile über Installationen und eine Brandweiterleitung innerhalb der Bauteile verhindert wird, muss eine Reihe von Anforderungen unbedingt eingehalten werden. Diese Anforderungen werden Bestandteil der zukünftigen „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise“ [25] sein. In Österreich fehlen derartige Anforderungen bis dato jedoch gänzlich!

Alle Installationen sind grundsätzlich in Schächten oder Kanälen, in Vorwandkonstruktionen oder Deckeninstallationsebenen zu führen. Während Kabelbündel innerhalb der Konstruktion unzulässig sind, dürfen einzelne Kabel innerhalb der Konstruktion geführt werden. Unter dem Begriff „einzelne Kabel“ sind nach [24] bis zu drei Kabel zu verstehen, die durch geeignete konstruktive Maßnahmen, d. h. beispielsweise durch Führung in einem nichtbrennbaren Rohr, von der brennbaren Holzkonstruktion abgeschottet sind. Bei der Durchführung der Kabel durch die Brandschutzbekleidung ist weiters darauf zu achten, dass die verbleibenden Hohlräume mit nichtbrennbaren Baustoffen zu verspachteln sind.

Die Abb. 33 zeigt eine den brandschutztechnischen Anforderungen entsprechende Führung der Installationen in einer Vorwandkonstruktion bzw. in einer abgehängten Decke nach [25]. Derartige Bauweisen sind in Österreich nicht üblich, weil sie viel zu teuer sind, d. h. die derzeitigen mehrgeschossigen Holzkonstruktionen, welche ohne diese Maßnahmen ausgeführt sind, weisen erhebliche brandschutztechnische Schwachstellen auf.

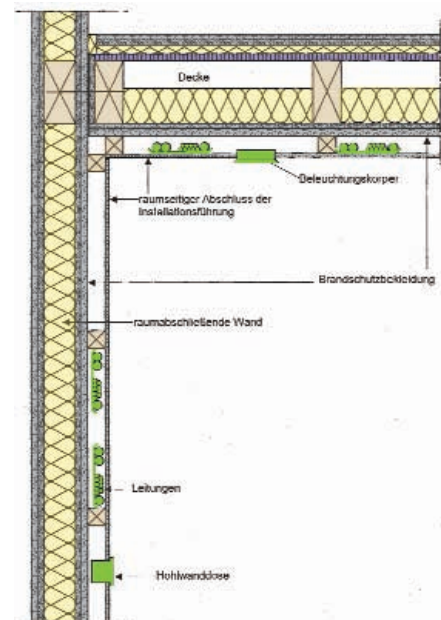


Abb. 33: Installationsführung in einer Vorwandschale bzw. abgehängten Decke nach [25]

Brandschutztechnische Probleme gibt es auch im Bereich der Hohlwanddosen. Bei Brandversuchen im Realmaßstab traten in Wandbauteilen auf der Rückseite von Hohlwanddosen Temperaturen von bis zu 600 °C auf, so dass sich ein benachbartes Holztragglied entzündete [4]. Durch die Einhaltung bestimmter Regeln bei der Herstellung von Installationsöffnungen bzw. Rohrdurchführungen kann jedoch eine Reduzierung des Brandrisikos erfolgen. Dazu zählt z. B. die Einhaltung der festgelegten Mindestabstände von den Holzstehern zu den Installationsöffnungen für Hohlwandsteckdosen, Verteiler und Schalterdosen. Die Abb. 34 zeigt den brandschutztechnisch korrekten Einbau einer Hohlwanddose. Derartige Einbauvorschriften sind in den österreichischen Holzbauvorschriften nicht enthalten bzw. nicht gefordert.

Die Abb. 34 zeigt, dass Hohlwanddosen zum Einbau von Steckdosen etc. nur im Bereich des mittleren Drittels zwischen zwei Holzstehern eingebaut werden dürfen. Der Abstand zum nächsten Holzsteher muss dabei mindestens 15 cm betragen. Gegenüberliegende Hohlwanddosen müssen

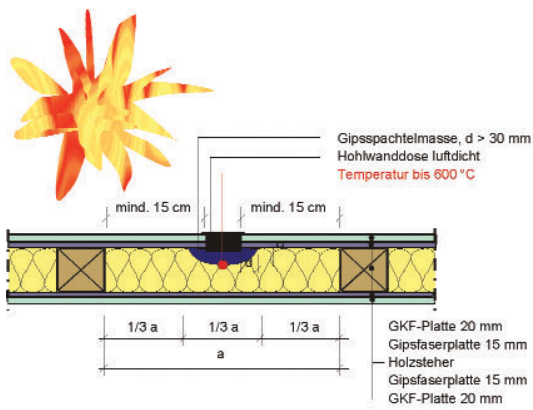


Abb. 34: Brandschutztechnisch korrekter Einbau einer Hohlwanddose nach [4]

gefachversetzt eingebaut werden. Sie sind innerhalb des Wandhohlraumes vollständig mit Faserdämmstoff (Schmelzpunkt > 1.000 °C) zu umhüllen, wobei der Dämmstoff im Bereich der Hohlwanddosen auf eine Mindestdicke von 30 mm gestaucht werden darf.

Ein besonderes Gefahrenpotenzial steckt in den nutzerspezifischen Eingriffen nach dem Einzug. Lösungsansätze stellen sich z. B. derart dar, dass die Mieter von Holzwohnbauten eine Benutzungsordnung unterschreiben müssen, in der eine Beschädigung der Innenwandverkleidung untersagt

wird. Die Einhaltung dieser Vorschriften muss durch regelmäßige Kontrollen des baulichen Zustands überprüft werden.

Allerdings ist dies keinesfalls als befriedigende Lösung anzusehen, weil die Kosten und der administrative Aufwand enorm sind. Des Weiteren wird eine solche Vorgehensweise von einer Vielzahl der Mieter mit der Begründung, einen massiven Eingriff in die Privatsphäre darzustellen, vehement abgelehnt.

Änderungen an der Konstruktion sollten in jedem Fall nur durch vom Bauherrn beauftragte Firmen erfolgen dürfen, die über die nötige Kenntnis der bauweisenimmanenten Gefahrenpotenziale und die Baupläne verfügen und somit Fehler beim nachträglichen Einbau von Installationen vermeiden können. Zu diesem Punkt ist allerdings kritisch anzumerken, dass auch ein guter Installateur in der Regel nicht mit den brandschutztechnischen Anforderungen des Holzbaus vertraut ist, d. h. die Konstruktion muss grundsätzlich derart ausgeführt sein, dass sie keine zusätzlichen Risiken birgt. Da es in Österreich diesbezüglich keine entsprechende Technische Richtlinie für den Brandschutz im Holzbau gibt, muss gegenwärtig davon ausgegangen werden, dass der mehrgeschossige Holzbau diesbezüglich potenzielle Brandrisiken mit sich bringt.

4 BRANDRISIKO UNTERSCHIEDLICHER BAUARTEN

Einen wesentlichen Aspekt der Untersuchung des Brandverhaltens unterschiedlicher Konstruktionen von mehrgeschossigen Wohnbauten stellt die zahlenmäßige Bewertung des Brandrisikos für unterschiedliche Bauweisen dar.

Im Rahmen des zweijährigen Forschungsprojektes (siehe Seite 8) wurde daher ein Schwerpunkt „Brandrisiko – Einfluss der Bauweisen und Bauarten“ [7] gesetzt, der im Vorfeld der Risikobewertung exakte Grundlagenrecherchen in Bezug auf die Ausgangsgrößen des Berechnungsvorganges erforderlich machte. Im Folgenden wird anhand von Grundlagenangaben in verkürzter Form ein allgemeiner Einblick in den Berechnungsvorgang und die erzielten Ergebnisse gegeben.

Des Weiteren wird in den nachstehenden Untersuchungen auf eine detaillierte 10-Jahres Brandstatistik über Wohngebäude aus der Schweiz eingegangen, anhand derer ein signifikanter Einfluss der Bauart auf das Brandrisiko nachweisbar ist. Da diese Statistik alle den Versicherungen gemeldeten Brände im Wohnbau enthält und damit exakter ist als das in Österreich und Deutschland erfasste Datenmaterial, ist ein direkter Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit dieser Schweizer Statistik nicht möglich. Wie in den nachfolgenden Gegenüberstellungen jedoch gezeigt wird, kann durch die Bildung vergleichbarer Referenzwerte auch für diese österreichischen bzw. deutschen Daten ein Zusammenhang zwischen der Bauart und dem Brandrisiko nachgewiesen werden.

4.1 Grundlagen

Unter einer allgemeinen Risikobewertung bzw. einer wahrscheinlichkeitstheoretischen Risikoanalyse versteht man die Bewertung des Gefährdungspotenzials, das von einem Objekt für den Personen- und Sachschutz unter definierten und bewerteten Randbedingungen ausgeht; d. h. über die Bestimmung des Brandrisikos kann die für eine bestimmte Gebäudeart zu erwartende Schadenshöhe und -häufigkeit und der daraus resultierende Schaden und seine volkswirtschaftliche Relevanz durch das Ereignis „Brand“ ermittelt werden. Das Gesamtrisiko wird dabei vereinfacht durch drei voneinander unabhängige Faktoren bestimmt. Zu untersuchen sind dazu die folgenden Fragestellungen in Abhängigkeit von der Bauweise und Gebäudenutzung:

1. Wie hoch ist die Eintrittswahrscheinlichkeit der Entstehung und der Ausbreitung eines Brandes im Wohnbau?
2. Wie groß ist der materielle (wirtschaftliche) Schaden, und wie hoch sind die Instandsetzungs- und Folgekosten im Wohnbau?
3. Wie hoch ist der immaterielle Schaden, d. h. welche Schäden ergeben sich infolge eines Brandfalles für Leben, Gesundheit und Umwelt?

In Bezug auf die in Österreich momentan vorliegende Bauweisenverteilung im Wohnbau von ca. 90 % Massivbauten zu 10 % Holzbauten [2] wird darüber hinaus die Frage aufgeworfen:

4. Wie sieht die Entwicklung des derzeit in Österreich verzeichneten Brandrisikos bei einer Verlagerung weg vom Massivbau und hin zum Holzbau für den zivilen Bereich (Wohnbau) aus?

4.2 Brandrisikoberechnung

Das bauartspezifische Brandrisiko für eine bestimmte Gebäudeart in Abhängigkeit von der Brandlast (Q) wird mit der nachstehenden Formel Gl. (1) beschrieben:

$$R(Q) = E(Q) \cdot S(Q) \quad \text{Gl. (1)}$$

Darin sind:

- R Brandrisiko
- E Eintrittshäufigkeit des Brandes in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)
- S Schadensausmaß des Brandes in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)

Für den Wohnbau sind die in Gl. (1) enthaltenen Abhängigkeiten der Brandhäufigkeiten und Brandschäden von der Brandlast Q eindeutig belegt [28]. Die nachstehende Tab. 1 zeigt die Ergebnisse einer 10-Jahres Wohnbaustatistik aus der Schweiz über die Brandhäufigkeit, Brandtoten und Gebäudeschäden in Abhängigkeit von der Bauart. In dieser Statistik sind alle der kantonalen

Versicherung gemeldeten Brände im Wohnbau enthalten. Stellt man die Versicherungsdaten dieser Statistik für den Massivbau und den Holzbau gegenüber (siehe Tab. 1), so zeigt sich, dass in Abhängigkeit von der Bauart ein Zuwachsfaktor von

- 1,6 für die Eintrittshäufigkeit
- 2,47 für das Schadensausmaß
- 2,82 für die Anzahl der Brandopfer

gegeben ist. Die hier interessierenden Zahlen für den Wohnbau belegen somit, dass die Bauart einen signifikanten Einfluss auf das Brandrisiko hat. Da nun die Brandlast und die Konstruktionsart die einzigen brandschutztechnisch wesentlichen Merkmalsunterschiede zwischen einem Massivbau und einem Holzbau sind, können diese Parameter in Gl. (1) zur Anwendung kommen. Die Zahlen werden im Folgenden für Österreich berechnet.

Risikodaten	Schweiz	Prozentueller Vergleich	Bauart
Eintrittshäufigkeit [Brände/m ² a 10 ⁵]	2,780 4,465	100 % 160 %	Massivbau Holzbau
Schadensausmaß*) [€/m ² a]	0,114 0,281	100 % 247 %	Massivbau Holzbau
Brandopfer [1/10 ⁶ m ² a]	0,028 0,079	100 % 282 %	Massivbau Holzbau
*) Schäden, die infolge Brand am Gebäude auftreten			

Tab. 1: Statistische Daten über Brandhäufigkeiten, Brandtote und Gebäudeschäden im Wohnbau nach [28]

4.3 Berechnung der Brandeintrittswahrscheinlichkeit

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadenfeuers stellt in der Gl. (1) eine schwer messbare Größe dar, zu deren Festlegung aktuelles statistisches Datenmaterial erforderlich ist. Für die Berechnung der Eintrittshäufigkeit von Bränden im zivilen Bereich in Österreich in Abhängigkeit von der Bauweise gibt es folgende Daten als Ausgangsgrößen:

- In Österreich werden jährlich durchschnittlich 6.180 Gebäudebrände durch die Feuerwehren und Versicherungen verzeichnet [3]. Diese Daten beziehen sich auf Angaben aus den Jahren 1995 bis 1998 und beinhalten Brandfälle mit Schäden über € 1.450,- Schadenssumme.
- Von diesen 6.180 Brandfällen treten im Durchschnitt 3.330 Brände im zivilen Bereich und in privaten Haushalten auf [3]. Dies entspricht in etwa 54 % der durchschnittlich in den Jahren 1995 bis 1998 verzeichneten Brandvorfälle.
- Die Gesamtwohnfläche in Österreich liegt bei 270.000.000 m² Wohnnutzfläche (Stand 2000, laut Auskunft Österreichisches Statistisches Zentralamt).

Gemäß den oben genannten Angaben lässt sich die derzeitige mittlere Eintrittshäufigkeit von Bränden für den zivilen Bereich in Österreich aus der jährlichen Anzahl an signifikanten Brandfällen bezogen auf die Gesamtwohnfläche bestimmen, sie beträgt nach den obigen Daten $1,23 \cdot 10^{-5}$

Brände pro m² Wohnfläche und Jahr. Die mittlere Eintrittshäufigkeit insgesamt setzt sich naturgemäß aus einem Anteil an Brandereignissen infolge der mobilen Brandlasten (Nutzung) und aus einem Anteil an Brandereignissen infolge der konstruktiven Brandlasten (Bauweise) zusammen; wobei der Anteil infolge der mobilen Brandlasten auf das Nutzerverhalten zurückgeht und die Bauweise daran im Wesentlichen nicht von Einfluss ist. Der Anteil infolge der konstruktiven Brandlasten ist jedoch stark veränderlich und in Abhängigkeit von der Bauart bzw. Höhe der brennbaren Bestandteile zu berechnen. Als Ausgangsgröße dient hierbei die momentane Bauweisenverteilung von rund 90 % Massivbauten zu 10 % Holzbauten im Wohnbaubereich gemäß [2].

Für die weiteren Berechnungen wird die Eintrittshäufigkeit eines Brandes durch die mobile Brandlast als konstant (statistischer Festwert für Wohnbaunutzung) angesehen. Für die Eintrittshäufigkeit infolge der konstruktiven Brandlast gilt hingegen, dass sie direkt proportional dem Anteil der konstruktiven Brandlast ist. Für die in der Abb. 2 (Seite 4) gezeigten unterschiedlichen Bauweisen im Wohnbau mit den Anteilsgrößen der konstruktiven und mobilen Brandlasten ergeben sich demnach die in der nachfolgenden Abb. 35 dargestellten Eintrittswahrscheinlichkeiten für Brände. Auf der Abszisse ist der Anteil der jeweiligen Holzbauweise im Wohnbau in Prozent dargestellt. Auf der linken Seite der Abb. 35 sind demgemäß die Werte der Massivbauweise dargestellt, und

ganz rechts liegt der Holzbau. Für die Holzbauweise werden die Holzrippen-, die Skelett- und Brettstapelkonstruktionen betrachtet. Die Ordinate zeigt die Eintrittshäufigkeit eines Brandes bezogen auf 1 m² Wohnnutzfläche im zivilen Bereich für ein Jahr.

Die grüne Markierung im linken unteren Bereich des Diagramms in Abb. 35 stellt die derzeitige Eintrittshäufigkeit eines Brandes mit einer Größe von $1,23 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr dar, wobei von einer momentanen Bauweisenverteilung von 10 % Holzrippen- und 90 % Massivbau ausgegangen wird. Die in diesem Wert für die Eintrittshäufigkeit berücksichtigte Anzahl von Bränden bezieht sich dabei auf jene Brandereignisse, die ein Schadensausmaß von mindestens € 1.500,- verursachen. Gemäß den statistischen Daten der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen [39] liegt die Eintrittshäufigkeit von Bränden, die dem Wohnbau zuzuordnen sind und einen Sachschaden von mindestens € 1.325,- (entspricht ca. sfr 20.000,-) verursachen, bei 0,922 Bränden/m² Jahr. Der Vergleich dieser Größe mit den in Tab. 2 dargestellten Werten zeigt, dass eine gute Übereinstimmung zwischen den in der Untersuchung [7, 34] ermittelten Größen und den statistischen Zahlen der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen [39] erzielt wird.

Der Vergleichswert für den reinen Massivbau (100 % Massivbau) liegt bei $1,19 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr und für den Holzbau zwischen $1,66 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr (100 % Holzrippenbauweise) und $2,00 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr (100 % Brettstapelbauweise) (s. Tab. 2). Eine analoge Auswertung von vorliegenden Brandhäufigkeitsdaten in Deutschland mit 13 % Holzbau (Holzrippenbauweise) und 87 % Massivbau hat zu folgenden Werten geführt:

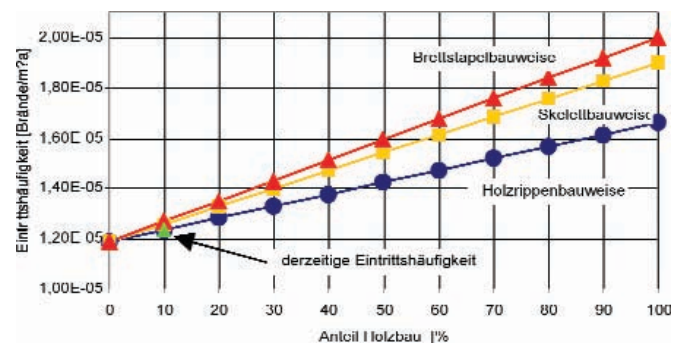


Abb. 35: Eintrittshäufigkeit E von Bränden pro m² Wohnfläche und Jahr in Abhängigkeit von der Bauweise im Wohnbau in Österreich

Die aktuell in Deutschland vorliegende Eintrittshäufigkeit von Bränden im Wohnbau führt zu einem Referenzwert von $1,05 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr. Für den reinen Massivbau liegt die Eintrittshäufigkeit von Bränden bei $0,99 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr. Bei einem Holzbau können in Abhängigkeit von der Holzbauweise Werte zwischen $1,39 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr (100 % Holzrippenbauweise) und $1,68 \cdot 10^{-5}$ Bränden/m² Jahr (100 % Brettstapelbauweise) für die Eintrittshäufigkeit erreicht werden (s. Tab. 2).

Vergleicht man die Eintrittshäufigkeit eines Brandes für einen reinen Massivbau (100 % Massivbau) mit der Eintrittshäufigkeit für einen Holzbau in Skelettbauweise (100 % Skelettbau), so ergibt sich gemäß den Berechnungen am Institut für Baustofflehre ein prozentueller Zuwachs für die Eintrittshäufigkeit eines Brandes von 100 % auf 159 % für Österreich und von 100 % auf 161 % für Deutschland (siehe Abb. 36). Der Skelettbau wurde in diesem Zusammenhang als Richtgröße gewählt, da er einen möglichen „Durchschnittswert“ zwischen der Brettstapel- und Holzrippenbauweise ebenfalls erfasst.

Risikodaten	Österreich	Deutschland	Bauart
Eintrittshäufigkeit [Brände/m ² a 10 ⁵]	1,19 1,66 2,00	0,99 1,39 1,68	Massivbau*) Holzrippenbau*) Brettstapelbau*)
Momentane Bauweisenverteilung in [%]	90 10	87 13	Massivbau Holzbau
*) jeweils 100%			

Tab. 2: Daten über Brandhäufigkeiten im Wohnbau in Österreich und Deutschland nach [7] und [34]

Zur Überprüfung der in der Berechnung ermittelten Zahlen wurden im Zuge der Untersuchung u. a. die statistischen Daten der 1. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (CH) ausgewertet, welche sehr gute Übereinstimmungen zu dem vom Institut ursprünglich prognostizierten Zuwachs der Eintrittshäufigkeit von Bränden in Abhängigkeit von der Bauweise ergaben (siehe Abschnitt 4.2). Diese Daten belegen anhand von tatsächlich eingetretenen Brandereignissen an Wohnbauten in Massiv- und Holzbauweise im Kanton Bern für den Zeitraum 1986 bis 1995 [28], dass bei Holzbauten die Gefahr eines Brandes um 60,6 % höher liegt als bei Massivbauten (siehe Abb. 36), wobei sich die ermittelte Eintrittshäufigkeit auf alle der kantonalen Versicherung gemeldeten Brandschäden im Wohnbau bezieht.

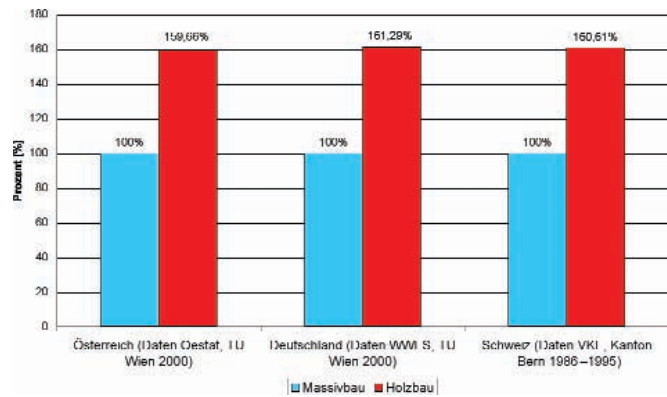


Abb. 36: Gegenüberstellung der Eintrittshäufigkeit von Bränden im Wohnbau in Abhängigkeit von der Bauweise nach [7], [34] und [28]

4.4 Berechnung des Schadensausmaßes

Das Schadensausmaß wird im Wesentlichen von der Anzahl der Brandtoten und -verletzten und der Höhe der im (mobile Brandlasten) und am (konstruktive Brandlasten) Gebäude verursachten Zerstörungen und Schäden durch den Brand bestimmt.

Im Hinblick auf das Schadensausmaß durch Tote und Verletzte ist in der Studie [7] bereits ein Einfluss der Bauart auf die Anzahl der Todesopfer und Verletzten berücksichtigt. Für den Sachschaden gilt, ebenso wie für die Eintrittshäufigkeit, dass der Schadensanteil infolge der mobilen Brandlasten bezogen auf das Nutzerverhalten und die Bauweise etwa als konstant angesetzt werden kann, wohingegen der Anteil infolge der konstruktiven Brandlasten stark veränderlich ist und von der Bauweise bzw. von der Höhe der brennbaren Baustoffe abhängt.

Zur Ermittlung der Bezugsgrößen, d. h. des momentan in Österreich vorliegenden Schadensausmaßes durch Brandereignisse in Wohnbauten, dient Datenmaterial des Österreichischen Statistischen Zentralamtes [3] als Grundlage. Die Berechnung der Personenschäden stützt sich u. a. auf Angaben des österreichischen Kuratoriums für Verkehrssicherheit.

- Basierend auf dem Datenmaterial der ÖSTAT ergibt sich für 1998 eine durchschnittliche jährliche Sachschadenssumme durch Brandereignisse in der Höhe von 379,35 Mio. €.
- Der Anteil im zivilen Bereich (Wohnbau) mit Versicherungsansprüchen über € 1.453,- liegt nach Angaben der ÖSTAT [3] bei ca. 23,8 % und ergibt somit eine Sachschadenssumme von 90,29 Mio. €.
- Als Berechnungsgrundlagen für die Personenschäden dienen Angaben des Kuratoriums für Verkehrssicherheit in Österreich, die besagen, dass die Schadenssummen pro Todesfall mit mit 1,09 Mio. € und pro Verletzten mit etwa € 50.000,- anzusetzen sind.
- Im Jahr 1998 wurden 63 Todesopfer durch Exposition gegenüber Feuer, Rauch und Flammen in Österreich verzeichnet [3]. Davon gab es 57 Brandopfer in privaten Haushalten.
- Ausgehend von Statistiken der US-Fire Administration ist bei Bränden pro einen Todesfall durchschnittlich mit sechs Verletzten zu rechnen. Auf dieser Basis ergibt sich durchschnittlich eine jährliche Anzahl von 340 Verletzten.

Demgemäß setzt sich der jährliche volkswirtschaftliche Gesamtschaden, der durch Brände im zivilen Bereich (Wohnbau) bei einer momentanen

Bauweisenverteilung von 90 % Massivbau zu 10 % Holzbau verursacht wird, aus Sachschäden in der Höhe von 90,29 Mio. € und Personenschäden in der Größenordnungen von 78,74 Mio. € zusammen und beträgt in Summe 169,03 Mio. €.

Ausgehend von diesen Werten nach ÖSTAT [3] wird im Folgenden die Entwicklung der Schadenssumme bei einer angedachten Anteilsverlagerung vom Massivbau hin zum Holzbau berechnet. Die Sach- und Personenschäden, verursacht durch die konstruktiven Brandlasten, werden dabei direkt proportional der Brandlast angenommen und die Sach- und Personenschäden durch die mobilen Brandlasten als konstant angesehen (siehe Gl. (2), (3) und (4)). Eine detaillierte Aufstellung der Grundannahmen und der Berechnungsvorgänge ist den Angaben in [7] zu finden.

$$S(Q) = S_{\text{Pers}}(Q) + S_{\text{Sach}}(Q) \quad \text{Gl. (2)}$$

Darin sind:

- S Schadensausmaß des Brandes in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)
- S_{Pers} Schadensausmaß der Personenschäden infolge Brand in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)
- S_{Sach} Schadensausmaß der Sachschäden infolge Brand in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)

Die Gesamtschadenssumme setzt sich somit aus dem Schadensanteil durch die Personen- und Sachschäden in Abhängigkeit von der Brandlast zusammen. Die folgenden Gleichungen Gl. (3) und Gl. (4) beschreiben die einzelnen Einflussterte, die in die Berechnung des Schadensausmaßes einfließen, im Detail:

$$S_{\text{Pers}}(Q) = S_{\text{Tote}}(Q) + S_{\text{Verletzte}}(Q) \quad \text{Gl. (3)}$$

$$S_{\text{Sach}}(Q) = S_{\text{mobil}}(Q) + S_{\text{konstruktiv}}(Q) \quad \text{Gl. (4)}$$

Darin sind:

- S_{Pers} Schadensausmaß der Personenschäden infolge Brand in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)
- S_{Tote} Schadensausmaß der Todesfälle infolge Brand in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)
- $S_{\text{Verletzte}}$ Schadensausmaß der Verletzten infolge Brand in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)
- S_{Sach} Schadensausmaß der Sachschäden infolge Brand in Abhängigkeit von der Brandlast (Q)
- S_{mobil} Schadensausmaß der Sachschäden infolge Brand in Abhängigkeit von der

$S_{\text{konstruktiv}}$ mobilen Brandlast (Q)
Schadensausmaß der Sachschäden infolge Brand in Abhängigkeit von der konstruktiven Brandlast (Q)

Für die Bewertung des Zuwachses der Personenschäden in Abhängigkeit von der Bauweise wird auf die Verteilung der Holz- bzw. Massivbauweise in Österreich und Deutschland im Vergleich zu drei weiteren Industrieländern mit relativ hohen Holzbauanteilen im Wohnbau Bezug genommen (siehe Abb. 37). Österreich und Deutschland weisen eine Bauweisenverteilung von etwa 90 % Massivbauten zu 10 % Holzbauten auf. In Japan liegt der Anteil der Holzbauten im Wohnbau mit ca. 41% bereits bedeutend höher als in Österreich; die Massivbauten nehmen eine Größenordnung von 59 % ein. In den USA sind Anteilsgrößen von 80 % für die Holzbauweise und 20 % für die Massivbauweise zu verzeichnen. Die finnischen Daten stammen aus dem statistischen Zentralamt in Finnland und belegen eine Bauweisenverteilung von ca. 85 % Holzbauten und 15 % Massivbauten im Wohnbau.

Die Überlagerung der o. g. Bauweisenverteilungen mit der Anzahl der Brandtoten je eine Million Einwohner zeigt, dass jene Länder mit einem relativ hohen Holzbauanteil im Durchschnitt eine große Anzahl an Brandopfern aufweisen. Finnland erreicht in diesem Vergleich mit einem Holzbauanteil von 85 % und 21,2 toten Brandopfern je eine Million Einwohner sowohl den größten Anteil an Holzbauten als auch die größte Anzahl an Brandopfern. In den USA liegt der Anteil der Holzbauten bei ca. 80 % und die Zahl der Brandopfer bei 19 Personen je eine Million Einwohner.

Die obigen Zahlen beziehen sich jeweils auf Industrienationen mit einem hohen technischen Standard und entsprechend gut entwickelten bautechnischen Bestimmungen, sodass diesbezüglich von einer vergleichbaren Bewertungsgrundlage auszugehen ist. Die Daten sind insoweit grundsätzlich untereinander vergleichbar. Sie zeigen einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Bauweise und dem Brandrisiko in Bezug auf die Personenschäden auf, d. h. der Einfluss der Bauweise auf den Brandverlauf als Risikofaktor ist relevant. Daneben haben u. a. gesellschaftliche und sozioökonomische Bedingungen – wie z. B. Nutzungsgewohnheiten, bauordnungsrechtliche Vorschriften – ebenfalls einen Einfluss auf das Brandrisiko. Eine differenzierte Bewertung dieser Faktoren ist aufgrund fehlender

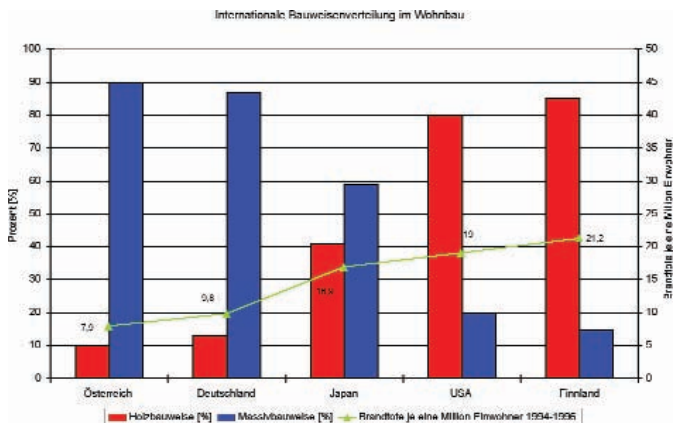


Abb. 37: Prozentuale Gegenüberstellung der Holz- bzw. Massivbauanteile in fünf Industrieländern inklusive Österreich für das Jahr 1998 und die Anzahl der Brandtoten je Million Einwohner und Jahr nach der WWFS [10]

Daten derzeit allerdings nicht möglich.

Die Quantifizierung der obigen Daten, d. h. die Berechnung der Brandopfer (y) pro 10⁶ Einwohner und Jahr in Abhängigkeit vom relativen Anteil der Holzbauweise (x) am Gesamtwohnbau, erfolgt über eine lineare Regression nach folgender Gleichung:

$$y = 7,786 + 0,156 \cdot x \quad \text{Gl. (5)}$$

Der Korrelationskoeffizient für die Gl. (5) weist mit 0,96 eine vergleichsweise gute Korrelation zwischen den verwendeten Daten auf. Die Abb. 38 zeigt, dass für den reinen Massivbau (100 % Massivbau) mit 7,79 Brandopfern pro Million Einwohner zu rechnen ist und für den reinen Holzbau (100 % Holzbau) mit 23,39 Brandopfern pro Million Einwohner. Unter dieser Betrachtungsweise ist die Anzahl der Todesopfer beim Holzbau (rechte Seite der Abb. 38) bezogen auf den reinen Massivbau (linke Seite der Abb. 38) um 200 % höher als beim reinen Massivbau. In diesem Wert ist die Annahme enthalten, dass bei einer Zunahme der konstruktiven Brandlasten im Wohnbau mit einer erhöhten Brandhäufigkeit und einem höheren Todesfallrisiko zu rechnen ist. Aus den schweizerischen Daten nach Tab. 1 ist ersichtlich, dass der hier abgeleitete Zuwachs von 200 % mit den tatsächlich beobachteten Werten (182 %) eine gute Übereinstimmung aufweist.

Die rot schraffierte Fläche aus der Abb. 38, die von der linearen Regressionsgeraden und der konstanten Geraden für die Anzahl der Brandopfer ohne Brandlasteinfluss eingegrenzt wird, deckt somit das gesamte Spektrum der möglichen Einflussfaktoren auf die Schwere des Brandverlaufes und die daraus resultierende

Anzahl an Brandopfern ab; wobei die untere horizontale Grundlinie jene Risikosituation beschreibt, welche davon ausgeht, dass die Bauweise keinerlei Einfluss auf das Personenrisiko hat. Werden umfassende brandschutztechnische Verbesserungen am Holzbau bzw. an dem Bewusstsein der Bewohner von Holzbauten in Form von anlagentechnischen, bewusstseinsbildenden, entwurfsspezifischen Maßnahmen etc. vorgenommen, könnte die Entwicklung der Todesopfer eventuell noch wesentlich günstiger ausfallen, als mittels der linearen Regressionsgeraden aufgezeigt wird. Für eine Senkung der Anzahl der Brandopfer in Holzbauten im Wohnbau sind allerdings umfassende Maßnahmen zur Verbesserung des Brandschutzes erforderlich, wie sie z. B. bereits in den USA für die neu errichteten Wohnbauten teilweise gesetzlich gefordert werden.

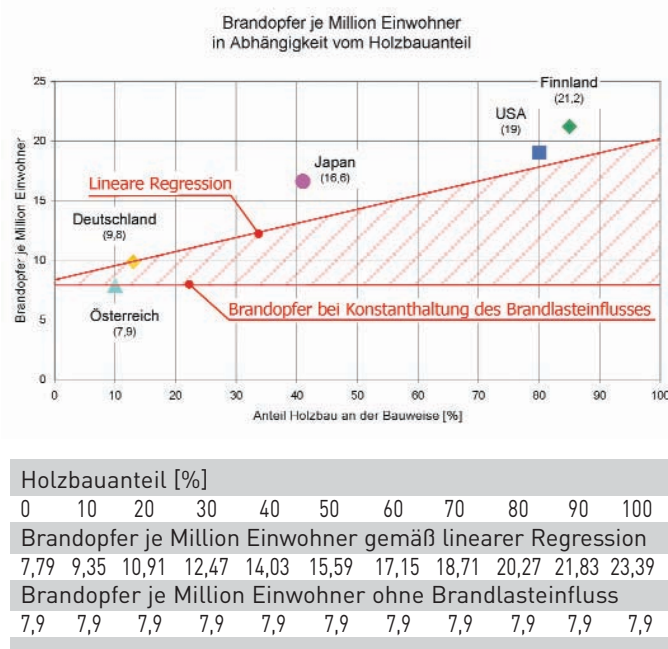


Abb. 38: Ermittlung des Einflusses der Bauweise auf die Anzahl der Todesopfer gemäß einer linearen Regression

Die Abb. 39 zeigt den theoretisch ermittelten Anstieg des Schadensausmaßes nach Gl. (2), der gemäß den obigen Grundannahmen bei einer Verlagerung vom Massiv- hin zum Holzbau zu erwarten ist. Dabei ist unterstellt, dass die bisher üblichen Bauweisen in ihrer konstruktiven Ausbildung unverändert beibehalten werden. Auf der Abszisse ist der Anteil der jeweiligen Holzbauweise im Wohnbau in Prozent dargestellt. Auf der linken Seite der Abb. 39 sind demgemäß die Werte der Massivbauweise dargestellt und ganz rechts liegt der Holzbau. Für die Holzbauweise

werden die Holzrippen-, die Skelett- und Brettstapelkonstruktionen betrachtet. Die Ordinate zeigt das Schadensausmaß von Bränden im zivilen Bereich für ein Jahr.

Vergleicht man das Schadensausmaß eines Brandes für einen reinen Massivbau (100 % Massivbau) mit dem Schadensausmaß für einen Holzbau in Skelettbauweise (100 % Skelettbau), so ergibt sich gemäß den Berechnungen ein prozentueller Zuwachs für die Schadenshöhe von 100 % auf 226 % (siehe Abb. 39); d. h. das Schadensausmaß bei einem Holzbau in Skelettbauweise (rechte Seite der Abb. 39) ist bezogen auf den reinen Massivbau (linke Seite der Abb. 39) um 126 % höher als bei einem reinen Massivbau (siehe auch Abb. 40).

In der Abb. 40 ist eine Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse des Instituts für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz zu statistischen Zahlen von tatsächlichen Brandereignissen im Wohnbau, die von den Schweizer Versicherungen [28] über einen Zeitraum von zehn Jahren erfasst wurden, dargestellt. Die Daten der 1. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (CH) für den Kanton Bern belegen, dass die Bauweise sogar noch einen größeren Einfluss auf die Schadenshöhe nimmt, als die an unserem Institut durchgeführte Untersuchung prognostiziert. Demgemäß ist mit einem Anstieg des Schadensausmaßes von 100 % auf 247 % zu rechnen, wenn es sich bei dem Brandobjekt um einen brennba-

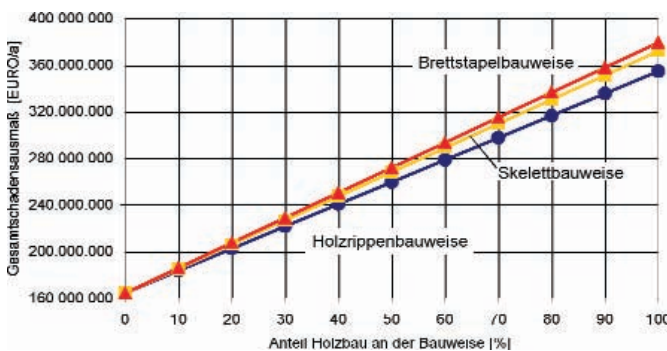


Abb. 39: Schadensausmaß von Bränden im Wohnbau in Österreich in Abhängigkeit von der Bauweise und unter Berücksichtigung eines Zuwachses der Personenschäden gemäß linearer Regression (Basiswerte: bezogen auf ÖSTAT [3])

ren Holzbau im Vergleich zu einem nichtbrennbaren Massivbau handelt (siehe Abb. 40).

Die geringere Bewertung des Schadensausmaßes in den Untersuchungsergebnissen des Instituts

für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz ist nach unsere Bewertung zum Teil darauf zurückzuführen, dass in der Berechnung nur jener Anteil der Versicherungsansprüche berücksichtigt wird, bei dem der infolge Brand verursachte Schaden über einem Versicherungswert von € 1.453,- liegt, wohingegen in der Untersuchung nach [28] alle den Versicherungen gemeldeten Brandschäden im Wohnbau enthalten sind. Des Weiteren ist zu beachten, dass in den Zahlen der TU Wien auch Personenschäden eingerechnet sind, d. h. die Erhöhung der Sachschäden für den Holzwohnbau ist nach dem TU-Modell eher zu

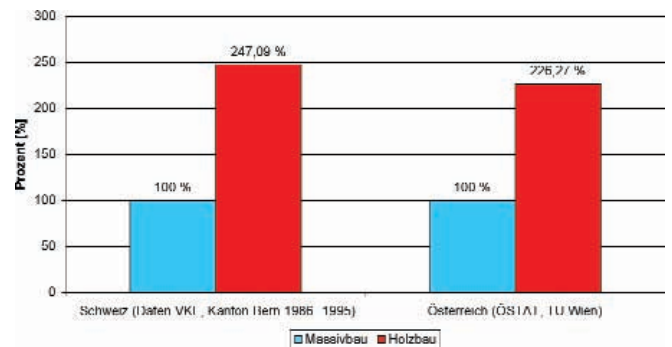


Abb. 40: Gegenüberstellung des Schadensausmaßes von Bränden im Wohnbau in Abhängigkeit von der Bauweise nach [28] und [7]

günstig (zu niedrig) berechnet worden.

5 BEWERTUNG DES BRANDRISIKOS

Ausgehend von den ermittelten Schadensausmaßen und den Eintrittshäufigkeiten von Bränden zeigt die Abb. 41 die Ergebnisse der Berechnungen für das Brandrisiko nach Gl. (1) in Abhängigkeit von der Verteilung der Bauweisen. Auf der Abszisse ist der Anteil der jeweiligen Holzbauweise im Wohnbau in Prozent dargestellt. Auf der linken Seite der Abb. 41 sind demgemäß die Werte der Massivbauweise dargestellt, und ganz rechts liegt der Holzbau. Für die Holzbauweisen werden die Holzrippen-, die Skelett- und Brettstapelkonstruktionen betrachtet. Die Ordinate zeigt das monetär bewertete Risiko eines Brandes bezogen auf 1 m² Wohnnutzfläche im zivilen Bereich [7].

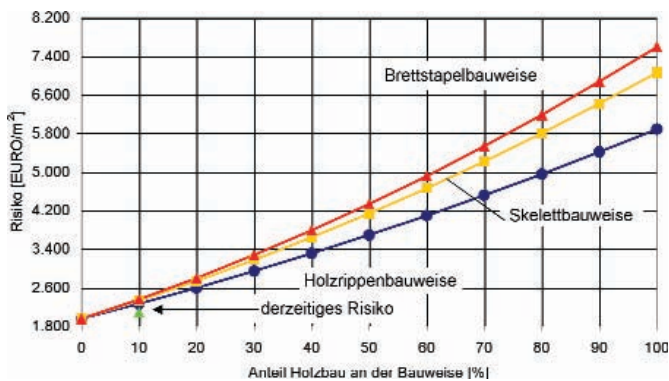


Abb. 41: Anstieg des Brandrisikos in Abhängigkeit von der Verteilung der Bauweisen im Wohnbau in Österreich im Jahr 1998

Im linken unteren Bereich der Grafik ist bei 10 % Holzbau das momentan in Österreich über alle Gebäude gemittelte monetäre Brandrisiko im Wohnbau mit € 2.085,-/m² eingetragen. Als Ausgangsgröße gilt hierfür die derzeitige Bauweisenverteilung von ca. 90 % Massiv- zu 10 % Holzrippenbauten im Wohnbau.

Die Abb. 41 zeigt somit eindeutig, dass bei einer Erhöhung des Anteils an Holzkonstruktionen im Wohnbau in Abhängigkeit vom Konstruktionstyp mit einer überproportionalen Zunahme des Risikos zu rechnen ist. Die Zunahme des Brandrisikos ist naturgemäß umso größer, je höher der Anteil an bauweisenspezifischen brennbaren Baustoffen ist. Anhand eines direkten Vergleichs zwischen

der Massiv- und Skelettbauweise kann die Veränderung des Risikos durch die Bauweise konkretisiert werden. Demgemäß liegt das rechnerische Brandrisiko bei einer Ausführung eines Gebäudes in Massivbauweise bei € 1.950,-/m² pro Jahr. Für dasselbe Bauwerk erreicht das Brandrisiko bei Verwendung von brennbaren Holzbaustoffen in der Konstruktion – im konkreten Fall wurde die Skelettbauweise gewählt – eine Größenordnung von € 7.059,-/m² pro Jahr.

In der Abb. 42 sind diese Ergebnisse in einem prozentuellen Vergleich gegenübergestellt. Das Diagramm beinhaltet darüber hinaus statistische Daten der 1. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (CH), anhand derer das tatsächliche Brandrisiko basierend auf Brandereignissen an Wohnbauten im Kanton Bern über den Zeitraum 1986 bis 1995 für Massiv- und Holzbauten [28] ermittelt wurde. Es zeigt sich, dass gegenüber den Untersuchungsergebnissen der TU Wien, die einen Anstieg von 100 % auf 362 % prognostizieren, in der Realität mit einem weit höheren Einfluss der Bauweise zu rechnen ist, der bis zu einem Zuwachs des Brandrisikos von 100 % (100 % Massivbau) auf 396 % (100% Holzbau) führen kann (siehe Abb. 42). Mit den Daten der 1. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (CH) wird somit bestätigt, dass die Bauweise einen signifikanten Einfluss auf das Brandrisiko nimmt. Des Weiteren wird durch den Vergleich in Abb. 42 belegt, dass die Verwendung brennbarer Baustoffe für Tragsysteme im Wohnbau zu einer

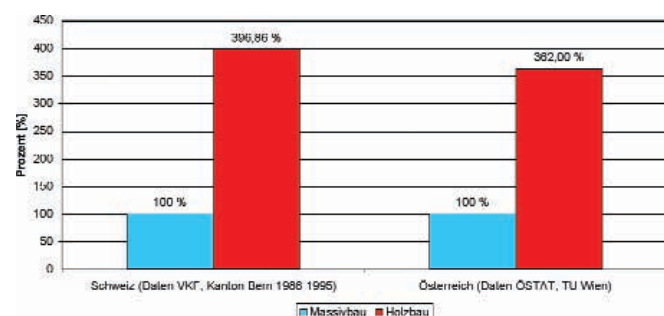


Abb. 42: Gegenüberstellung der berechneten und statistischen Risikogrößen für unterschiedliche Bauweisen im Wohnbau nach [28] und [7]

Erhöhung des Brandrisikos um den Faktor 3,6 bis 4,0 führen kann. Die hier dargestellten Ergebnisse und Prognosen beziehen sich naturgemäß auf die bestehende Bausubstanz. Wenn es also gelänge, die Brandsicherheit von Holzkonstruktionen hinsichtlich des Personenschutzes (z. B. durch automatische Brandmelder) und des Sachschutzes (z. B. durch automatische Löschanlagen oder durch andere bauliche Brandschutzmaßnahmen) signifikant zu verbessern, dann würden sich deutlich

günstigere Verhältnisse ergeben. Die neue Holzbaurichtlinie ist sicherlich ein deutlicher Schritt in diese Richtung. Vergleichbare Vorhaben sind in Österreich (leider) noch nicht in Arbeit, d. h. im mehrgeschossigen Wohnbau sind die aufgezeigten Risiken nicht wegzudiskutieren, wenn nicht im Einzelfall zusätzliche Brandschutzmaßnahmen vom Bauherrn verlangt oder behördlicherseits vorgeschrieben werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungsergebnisse zeigen eindeutig, dass das Risikopotenzial durch das Ereignis „Brand“ im Wohnbau in starker Wechselbeziehung und Abhängigkeit von der Art der Bauweise steht. In diesem Zusammenhang ist daher der verantwortungsvolle Umgang der Planer mit dem Gebäudedesign gefordert. Die Möglichkeit der gestalterischen Freiheit und Freizügigkeit im Gebäudedesign, die den Planern und Bauherren durch die neueren Entwicklungen in den Rechtsgrundlagen geboten wird, darf nicht zu einem Absinken des Sicherheitsniveaus führen. Zu diesem Zweck müssen die Risiken, die durch die Verwendung von brennbaren Stoffen in einer mehrgeschossigen tragenden Gebäudekonstruktion entstehen, sowohl dem Planer, Bauherrn und Gebäudenutzer rechtzeitig vor Augen geführt werden. Dabei ist grundsätzlich zu beachten, dass in der Regel die Brandwiderstandsdauer jedes einzelnen Bauteils für den Brandwiderstand der Gesamtkonstruktion nicht ausschlaggebend ist, sondern die Tragfähigkeit des Gesamtsystems beurteilungsrelevant ist. Dies betrifft vor allem den Mehrgeschossbau, d. h. das Versagen einzelner Bauelemente und deren Verbindungen hat unter Umständen katastrophale Folgen für das gesamte Gebäude.

Die gültigen Normen Önorm B 3800 und DIN 4102 sowie die betreffenden Eurocodes berücksichtigen bereits weitgehend, dass Bauteile nicht isoliert betrachtet werden dürfen. Sie gehen aber nicht *expressis verbis* auf die Wirkung von Bauteilinteraktionen bei einer Brandbeanspruchung ein, d. h. welche konstruktiven Maßnahmen zu treffen

sind, um solche Systeme den vorliegenden Brandeinwirkungen anzupassen, bleibt im Allgemeinen dem Planer vorbehalten. Dazu sind grundlegende Kenntnisse über den Brandschutz erforderlich, insbesondere sind die konstruktiven Schwachpunkte wie Anschlüsse und Verbindungen zu beachten und zu bewerten.

Bei der Betrachtung des Temperaturverhaltens der Baustoffe ist zu beachten, dass die massiven Baustoffe Beton bzw. Stahlbeton und Mauerwerk nicht brennbar sind, d. h. die Geometrie und die Form der nahezu monolithischen Konstruktion bleibt im Brandfall im Wesentlichen erhalten. Bei Holz handelt es sich im Gegensatz dazu um einen brennbaren Baustoff, d. h. die Brandeinwirkung führt bei der Holzbauweise zu Geometrieänderungen bzw. einer Reduktion der tragenden Querschnitte unter Zunahme der inneren Spannungen, wobei die überwiegend metallischen Verbindungen der Einzelbauteile bei der Erwärmung schnell ihre Tragfähigkeit verlieren. Jeder Planer muss sich die Wirkung des Feuers auf die unterschiedlichen Konstruktionsweisen qualitativ klarmachen, d. h. das Gesamtsystem aus massiven Baustoffen oder Holz brandschutztechnisch analysieren und optimieren. Dabei ergeben sich grundlegende Unterschiede hinsichtlich der Brandsicherheit der Bauweisen.

Der Massivbau kann konstruktive Reserven nutzen, die das Bauwerk bietet, und damit das Verhalten günstig beeinflussen, d.h. Schwachstellen können leicht vermieden bzw. ausgeglichen werden. In der Holzbauweise gibt es grundsätzlich

eine Vielzahl brandschutztechnischer Schwachstellen, und es existieren im Vergleich zur Massivbauweise praktisch keinerlei Reserven, d. h. das Gesamtsystem verzeiht aus brandschutztechnischer Sicht keine konstruktiven Fehler. Aus diesem Grund wurde in Deutschland eine brandschutztechnische Muster-Richtlinie für den Holzbau erarbeitet, sodass im Geschossbau zukünftig gravierende Konstruktionsmängel vermieden werden können. Durch den immer weiter steigenden Kosten- und Termindruck auf den Baustellen ist es jedoch auch bei einer aus brandschutztechnischer Sicht akzeptablen Planung im Holzbau kaum möglich, dass die Ausführung der konstruktiven Details für den Brandschutz in allen Fällen die nötige Beachtung findet. Das beginnt mit der Verlegung von Versorgungsrohren in den Hohlräumen von Wänden und Decken und endet bei dem Verlegen von Kabeln und dem Einbau von Steckdosen. Selbst die Mitarbeiter von Fachfirmen (z. B. Installateure, Elektriker etc.) haben bezüglich Brandschutz üblicherweise keine spezifischen Kenntnisse oder Erfahrungen. Wohngebäude aus massiven Baustoffen weisen demgegenüber eine sehr hohe Nutzungstoleranz auf, die darauf basiert, dass selbst bei unsachgemäßer Ausführung von elektrischen Leitungen etc. in einem Wand- oder Deckensystem keine Brandinitiierung bzw. -weiterleitung in der Konstruktion erfolgen kann.

Im Gegensatz zu den massiven Bauweisen aus Ziegel oder Stahlbeton gibt es bei der Holzbauweise neben der äußeren Brandeinwirkung die Möglichkeit einer Brandentstehung innerhalb der Konstruktion, die zur Entzündung der Tragstruktur führen kann. Die Wahl entsprechender Baustoffe, d. h. eine geeignete Werkstoffkombination für die Verkleidungslagen, zweckmäßige Bauteilaufbauten, günstige Gebäudegeometrien und vor allem die aus brandschutztechnischer Sicht einwandfreie und fehlerlose Ausführung sämtlicher Konstruktionsdetails, wie z. B. Verbindungen, Fugen- und Anschlussdetails und Durchdringungen für Installationen, bilden die Voraussetzungen dafür, dass die Entstehung, Ausbreitung und Auswirkung von Feuer und Rauch verhindert wird. Dieses ist in der Praxis jedoch nicht erreichbar. Allein die Vielzahl von Bränden im Bereich von Kaminen und Kachelöfen zeigt, dass Entzündungen innerhalb von Holzkonstruktionen mit zu den häufigsten Brandursachen gehören.

Zum Nutzerverhalten zählt unter anderem auch Fehlverhalten während der Nutzung eines Holzbaues, wie z. B. ein nachlässiger Umgang mit elektrischen Heizgeräten, offenen Kaminen etc.

Im Massivbau haben solche Verhaltensweisen keinerlei gefährliche Auswirkungen auf die nichtbrennbaren Bestandteile der Konstruktion, vorausgesetzt, es kommen keine brennbaren Beplankungen zum Einsatz.

Der Vergleich von massiven, nichtbrennbaren mehrgeschossigen Wohngebäuden mit entsprechenden brennbaren Holzkonstruktionen hat ergeben, dass Massivbauweisen durch ihr aus brandschutztechnischer Sicht günstigeres Verhalten der Gesamtkonstruktion ein erheblich höheres Sicherheitsniveau besitzen als brennbare Holzkonstruktionen. Die Sicherheit von Holzkonstruktionen kann prinzipiell nur durch automatische Brandlöschung oder brandsichere Verkleidung sämtlicher brennbarer Oberflächen mit nichtbrennbaren Baustoffen erfolgen, wie dieses gemäß der neuen Muster-Holzbaurichtlinie vorgesehen ist.

Um nur annähernd ein ähnlich sicheres brandschutztechnisches Niveau zu erreichen, wie es derzeit im Massivbau gegeben ist, sind im mehrgeschossigen Holzbau neben komplizierten konstruktiven Maßnahmen (z. B. Vermeidung brennbarer Oberflächen, Brandschutz der Anschlüsse und Verbindungen) eventuell auch aktive, d. h. anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen (kombinierte Brandmelde- und Sprinkleranlagen-systeme) zwingend erforderlich. Dies würde in letzter Konsequenz auch zu einem Umdenken bei der Entwicklung und Ausführung von Holzbauweisen führen, wie dies bereits in anderen Ländern (wie z. B. Neuseeland, Australien, USA) zu beobachten ist.

Der mehrgeschossige Holzbau wird in Österreich zukünftig in seinen brandschutztechnischen Eigenschaften dem Geschossbau in Massivbauweise in rechtlicher Hinsicht nahezu gleichgestellt. Oberflächlich betrachtet findet nur eine Materialsubstitution von nichtbrennbaren Baumaterialien durch brennbare Holzwerkstoffe unter scheinbarer Beibehaltung der normativen brandschutztechnischen Erfordernisse einzelner Bauteile des Bauwerks statt. Dieses ist aufgrund des materialtechnologischen und statischen Verhaltens der unterschiedlichen Konstruktionen im Brandfall äußerst bedenklich.

7 LITERATUR

- [1] *Becker, K.; Tichelmann, K.; Hosser, D.; El-Hariri, M.; Wesche, J.:*
Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise. Untersuchungsbericht Teil 1; zum DGfH-Forschungsvorhaben F-96/10 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik, VHT, iBMB, TU-Braunschweig, Juli 1997
- [2] *Winter, W.:*
Informationen laut informellem Gespräch mit o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang Winter vom 14.12.2000 am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau an der Technischen Universität, Wien
- [3] *Österreichisches Statistisches Zentralamt:*
Brandschadenstatistik, 1981–1998, Statistische Handbücher, 1981–1998, Wien
- [4] *Hosser, D.; Wesche, J., Dehne, M.; Becker, K., Tichelmann, K.:*
Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise. Abschlussbericht. Forschungsauftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) über die deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) / (DIBt-Nr.IV 12-5-4.111.1-896/98, DGfH-Nr.F-98/29), IBMB Darmstadt/TU Braunschweig, Februar 2001
- [5] *ÖNORM ENV 1996-1-2:*
Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1–2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall - Vornorm 01.05.1997, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1997
- [6] *Schneider, U.; Oswald, M.:*
Sammlung und Auswertung statistischer Daten. 2. Teilbericht des Forschungsprojektes BAU! MASSIV!, Technische Universität Wien, 2001 (unveröffentlicht)
- [7] *Schneider, U.; Oswald, M.:*
Untersuchung des Einflusses der Bauweisen und Bauarten auf das Brandrisiko. 4. Teilbericht des Forschungsprojektes BAU! MASSIV!, Technische Universität Wien, 2001 (unveröffentlicht)
- [8] *Angaben gemäß Ltd. Branddirektor Dipl.-Ing. Werner Thon,* Feuerwehr Hamburg, Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz, Hamburg, März 2001
- [9] *Schneider, U.; et. al.:*
Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz. 2. Auflage, Kontakt & Studium, Band 531. Expert Verlag, Renningen, 2001
- [10] *Wilmot, R.T.D.:*
United Nations Fire Statistics Study, World Fire Statistics Centre Bulletin, Geneva Association, Genf, Sept. 1999
- [11] *Lattimer et al.:*
Carbon Monoxide Levels in Structure Fires: Effects of Wood in the Upper Layer of a Post-Flashover Compartment Fire; Fire Technology, Vol. 34, No. 4, 1998
- [12] *Moschnitschka G.:*
Das Verhalten von Holzkonstruktionen unter Brandeinwirkung. Diplomarbeit, ausgeführt am Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz an der Technischen Universität Wien, Wien, 2001 (unveröffentlicht)
- [13] *Schneider, U.; Moschnitschka G.; Oswald M.; Lebeda, C.:*
Bewertung der Gesamtkonstruktion von Wohngebäuden in Massiv- oder Holzbauweise unter Brandeinwirkung. 5. Teilbericht des Forschungsprojektes Brandschutz BAU! MASSIV!, Technische Universität Wien, August 2002 (unveröffentlicht)
- [14] *Brandverhütungsstelle Oberösterreich:*
Bildmaterial, Dez. 2001 (unveröffentlicht)

- [15] *Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau:*
Brandversuche Lehrte – Brandversuche in einem zum Abbruch bestimmten viergeschossigen modernen Wohnhaus in Lehrte. Schriftenreihe Bau- und Wohnforschung. Braunschweig, 1978
- [16] *DETAIL 1999/1, Zeitschrift für Architektur + Baudetail:*
Mauerwerk, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH., München, 1999
- [17] *Hofmeister, B:*
Fotos in der Tageszeitung Vorarlberger Nachrichten. Bregenz, Februar 2001
- [18] *Hosser, D.; Dehne, M.; Zehfuss, J.:*
Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise, Stufe 2 (Bauteilversuche) und Stufe 3 (Empfehlungen). Forschungsauftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) über die deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) / (DIBt-Nr.IV 12-5-4.111.1-896/98, DGfH-Nr.F-98/29), IBMB Darmstadt/ TU Braunschweig, März 2000
- [19] *Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (IBMB) der TU Braunschweig:*
Braunschweiger Brandschutz-Tage '01 – Kurzreferate. 9. Fachseminar Brandschutz – Forschung und Praxis, Heft 158, Braunschweig, 2001
- [20] *Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.:*
Holz-Brandschutz-Handbuch. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. (Hrsg.), Verlag Ernst & Sohn, München, 1994
- [21] *Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.:*
Beton-Brandschutz-Handbuch. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1981
- [22] *Magistrat der Stadt Wien, MA 35-B.:*
Wohnhausanlage „Boucle de Gilamont“, evey (Schweiz), mit Tragkonstruktion aus Holz; Brand am 23. Februar 1999. Wien, 1999
- [23] *Rönn, U.; Maske, J.:*
Sanierungsgrundlagen Plattenbau – Brandschutz, Kapitel 6: Brandverhalten der Bauteile und Baustoffe von Plattenbauten. Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. (IEMB) (Hrsg.), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1999
- [24] *PROHOLZ-Österreich:*
Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Anforderungen, Standardlösungen und Qualitätssicherung. Version 01/99. Wien, 1999
- [25] *Projektgruppe Brandschutz der Fachkommission Bauaufsicht:*
Entwurf der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie – M-HbauRL). Fassung Oktober 2001
- [26] *Routley, J. G.:*
Wood Truss Roof Collapse Claims Two Firefighters. United States Fire Administration, Technical Reports Series, Report 069, 1993
- [27] *ÖNORM B 3807:*
Äquivalenztabelle – Übersetzung europäischer Klassen des Feuerwiderstandes von Bauprodukten (Bauteilen) in österreichische Brandwiderstandsklassen; Bauteil-Äquivalenztabelle, Tabelle 1, Seite 5 – Entwurf Vornorm 01.03.2002, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2002
- [28] *Fontana, M.; Lienert, C.; Favre, J.-P.; Maag, T. :*
Statistische Untersuchungen zu Gebäudebränden. S+s report, S. 18–23, Ausgabe 1/2002, Schweiz 2002
- [29] *Wesche, J.:*
Brandschutz: großes Wissen erforderlich. Bericht über den Darmstädter Trockenbautag. Bauen mit Holz, Nr. 4, Seite 344–345, 1994
- [30] *Leicester, R.H.; Seath, C.; Pham, L.:*
The Fire Resistance of Metal Connectors. Proceedings, 19th Forest Products Research Conference, Melbourne, 1979

- [31] *Schneider, U.; Lebeda, C.:*
Baulicher Brandschutz.
Verlag Kohlhammer Stuttgart, 2000
- [32] *Schneider, U.; et. al.:*
Grundlagen der Ingenieurmethoden im
Brandschutz. Werner Verlag GmbH,
Düsseldorf, 2002
- [33] *Schneider, U.; Oswald, M.; Lebeda, C.:*
Wohnbau: Holz oder Massiv?. technopress
BauMagazin, Ausgabe Nr. 6/02, S. 16–22,
Klosterneuburg, 2002
- [34] *Schneider, U.; Oswald, M.:*
Brandrisiko in Wohngebäuden unter-
schiedlicher Bauart, Teil 1 und 2,
Zeitschrift Bauphysik, 25. Jahrgang,
Ausgaben Nr. 3 u. 4/03, Teil 1, S. 122–130,
Teil 2, S. 177–186, Verlag Ernst & Sohn,
Berlin 2003
- [35] *Povel, D.:*
Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit
stabförmigen Verbindungsmitteln im
Brandfall. Dissertation, TU Berlin,
Mai 2002
- [36] *Deutscher Feuerwehrverband e.V. Bonn:*
Feuerwehr-Jahrbuch 2000, DFV Medien
GmbH, Bonn, 1999
- [37] *Schneider, U.; Lebeda, C.; Oswald, M.:*
Entwicklung und Stand der Österrei-
chischen Bauvorschriften und Normen in
Bezug auf die Brennbarkeit und den
Feuerwiderstand von Bauteilen, Baustof-
fen und Konstruktionen. 3. Teilbericht des
Forschungsprojektes Brandschutz
BAU! MASSIV!, Technische Universität
Wien, Oktober 2001 (unveröffentlicht)
- [38] *Schneider, U.; Schjerve, N.; Lebeda, C.:*
Zündphänomene unter Berücksichtigung
der Bauweisen. 6. Teilbericht des For-
schungsprojektes Brandschutz
BAU! MASSIV!, Technische Universität
Wien, Jänner 2003 (unveröffentlicht)
- [39] *Fontana, M.; Favre, J. P.; Fetz, C.:*
A Survey of 40.000 Building Fires in
Switzerland. Fire Safety Journal, Vol.
No. 32, P. 137–158, Elsevier Science,
New York 1999
- [40] *Schneider, U.; Oswald, M.:*
Brandschutztechnische Analyse von
Massiv- und Holzbauweisen. Massiv-Focus
Nr. 4, S. 23–57, Forum MassivBau, Zürich,
2003
- [41] *Schneider, U.; Oswald, M.:*
Brandschutz – Brandrisikoeinfluss der
Baustoffe und Bauarten. Tagungsband
der Porenbeton Fachtagung 2003,
S. 24–43, Bundesverband Porenbeton,
Wiesbaden, April 2003