



*Dr. Mario Fontana
Prof. für Stahl-, Holz- und
Verbundbau
ETH Zürich
Schweiz, Zürich*

Mehrgeschossiger Holzbau: brandschutztechnisch zugelassen – ingenieurmässig vorstellbar – Know-how- Lücken

**Multistorey wood construction:
permitted under fire regulations,
feasible in terms of engineering,
but gaps in our knowledge!**

**Costruzione in legno a più piani:
tecnica di protezione antincendio
autorizzata – soluzioni costruttive
possibili – lacune nel know how**

Mehrgeschossiger Holzbau: brandschutztechnisch zugelassen – ingenieurmässig vorstellbar – Know-how- Lücken

1 Einleitung

In den letzten Jahren steigt der Wunsch der Gesellschaft den Baustoff Holz wieder vermehrt insbesondere im Wohnungsbau einzusetzen. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei aber die Sicherstellung einer ausreichenden Brandsicherheit. Die Gewissheit in seiner Wohnung vor den Gefahren des Feuers sicher zu sein, ist ein wichtiger Beitrag zum Wohlbefinden und oft ein Kriterium bei der Materialwahl für das Eigenheim oder die Wahl der Mietwohnung. Dank technischer Fortschritte im Brandschutz namentlich durch Lösch- und Brandmeldeanlagen, gut ausgerüsteter Feuerwehren und besserer Kenntnisse im baulichen Brandschutz von Holzbauten ergeben sich neue Anwendungsgrenzen der Holzverwendung in den Baugesetzen. Nachfolgend sollen einige grundsätzliche Konzepte und Besonderheiten der Holzbauweise im Bezug auf den Brandschutz mehrgeschossiger Bauten dargestellt werden.

2 Was dürfen wir bauen?

2.1 Neue Schweizer Brandschutzvorschriften für mehrgeschossige Holzbauten

Die Brennbarkeit der Baustoffe beeinflusst den baulichen Brandschutz stark. Daher werden in traditionellen baulichen Brandschutzkonzepten die massiven Bauweisen bevorzugt. Durch die flächige Tragstruktur aus nichtbrennbaren, gut isolierenden Materialien ergeben sich raumabschliessende Decken und Wände mit gutem Feuerwiderstand beinahe automatisch. Die massive Bauweise ist zudem in Bezug auf den Brandschutz robust und unempfindlich. Bei weit ausgedehnten Räumen ist jedoch den thermischen Dehnungen und Zwängungen Rechnung zu tragen.

Mit einer brandschutzgerechten und sorgfältigen Detailausbildung, eventuell unterstützt mit technischen Massnahmen, können heute aber auch mit nichtmassiven Bauweisen brandschutztechnisch gleichwertige Gebäude erstellt werden. Dem tragen die neuen Schweizerischen Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen Rechnung [1]. diese wurden am 1.1.2005 durch ein Konkordat (IVTH) der Schweizerischen Kantone verbindlich erklärt. Sie erlauben die Holzanwendung für das Tragwerk von Wohngebäuden mit bis zu 6 Geschossen. Wobei ab 4 Geschossen die Treppenhäuser nicht brennbar zu erstellen sind. Die Planer können zudem frei wählen, ob sie ab 4 Geschossen entweder die Oberflächen nichtbrennbar verkleiden oder eine Sprinkleranlage einbauen wollen.

Bei nicht massiven Bauten, sind es vor allem Fehler bei der Detailgestaltung, Hohlräume und mangelnde Sorgfalt bei der Ausführung, welche zum Versagen der Brandabschnittsbildung führen. Eine gute Qualitätskontrolle bei der Erstellung ist somit wichtig. Projekte 5- und 6 geschossiger Bauten sind durch einen anerkannten Fachingenieur zu begleiten. Es muss ein Brandschutzkonzept und ein Qualitätssicherungssystem vorliegen [1].

Gemäss den VKF-Brandschutzvorschriften [1] sind folgende Anforderungen an die Tragwerke einzuhalten:

Tabelle 1: Anforderungen an den Feuerwiderstand von mehrgeschossigen Holzbauten in der Schweiz nach VKF [1]

Geschosszahl	Ohne Sprinkler	Mit Sprinkler
2	Mind. Abmessungen	Mind. Abmessungen
3	R30	Mind. Abmessungen
4	R60	R30
5-6	R60/EI30 nicht brennbar Verkleidet	R60

2.2 Das Programm „Brandsicherheit und Holzbau“

Die Grundlagen für die neuen Vorschriften im Themenkreis Holz und Brandschutz wurden durch das Projekt „Brandsicherheit und Holzbau“ geschaffen, das von der Lignum, Holzwirtschaft Schweiz und dem Förderprogramm holz 21 des BUWAL im Jahr 2000 lanciert wurde. Antreibend war die Aussicht, durch das mehrgeschossige Bauen, das technologisch mit Holz durchaus möglich ist, die Holznachfrage zu steigern. Dem gegenüber stand die Einsicht, dass für den Eintritt in die Mehrgeschossigkeit die Brandschutzvorschriften für das Holz entscheidend sind. Die wichtigsten Absichten waren deshalb [2]:

- Materialgerechte und schutzzielorientierte Berücksichtigung des Baustoffes Holz in den Brandschutzvorschriften 2003
- Gewährleistung der Sicherheit durch Forschung und Entwicklung
- Erarbeitung von Dokumenten zur Umsetzung und Ausbildung
- Einführung einer wirkungsvollen Qualitätssicherung

Das Projekt ist unterteilt in sieben Projektsegmente und rund 30 Teilprojekte. Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die Projektsegmente. Die einzelnen Teilprojekte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

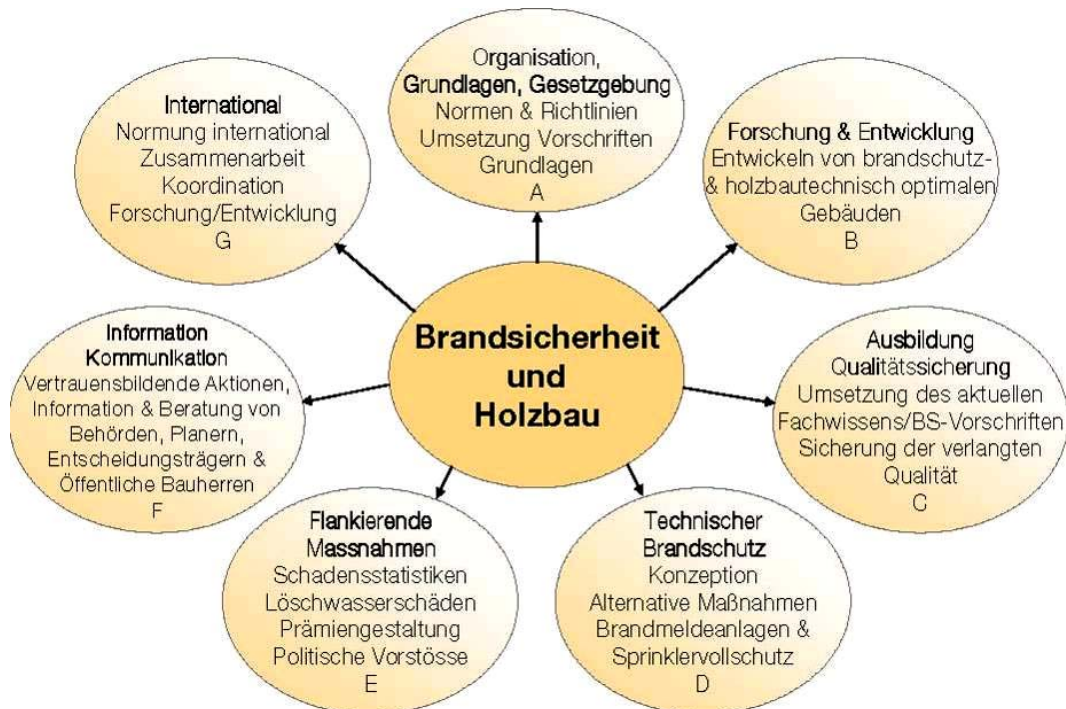


Abbildung 1: Die Projektsegmente des Gesamtprojekts „Brandsicherheit und Holzbau“

Projektphase 1 fand mit der Einführung der Brandschutzvorschriften VKF [1] 2003 per 1.1.2005 ihren Abschluss. Das Teilziel einer kontrollierten Öffnung für das Holz bei Bauteilen mit 60 Minuten Feuerwiderstand und beim Einsatz in Aussenwandverkleidungen wurde erreicht. Phase 2 mit dem Schwerpunkt Forschung und Entwicklung ist praktisch abgeschlossen. Momentan laufen die Projektphasen 3 und 4, in denen die Publikation von Planungshilfen und Stand-der-Technik-Papieren sowie der diesbezügliche Wissenstransfer im Vordergrund stehen.

Das Projekt „Brandsicherheit und Holzbau“ ist breit abgestützt. Für die Durchführung zeichnet Lignum, Holzwirtschaft Schweiz verantwortlich. Wichtigster Träger ist Holz 21, ein auf die Förderung der Forst- und Holzwirtschaft ausgelegtes Programm des Bundes; weiter beteiligen sich alle massgebenden Verbände der Holzbranche und zahlreiche Firmen am Projekt. Mit der VKF wird ein intensiver Kontakt gepflegt zwecks Informationsaustausch und strategischer Ausrichtung des Projektes. In den Teilprojekten sind namhafte Institute aus dem In- und Ausland involviert. Das Interesse verschiedener Verbände aus dem Ausland am Projekt oder Teilen davon zeugt von der Vorreiterrolle und der internationalen Ausstrahlung des Projekts. Eine Zusammenstellung der am Projekt Beteiligten ist aus Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 2: Das Projekt Brandsicherheit und Holzbau ist in folgende Segmente und Teilprojekte gegliedert [3]

PROJEKT-SEGMENT		TEILPROJEKT	
A	Führung, Organisation, Grundlagen	A 1	VKF Norm 2003
		A 2	Fachausschuss / Fachteam / Projektverantwortliche
B	Forschung und Entwicklung	B 0	Anforderungen und Konzeption Holzbau
		B 1	Holz-Betonverbunddecken
		B 2	Modulhotels
		B 3	Fassaden
		B 4	Holz-Bauteile mit Feuerwiderstandsdauer 30 und 60 Minuten
		B 5	Verbindungsmittel und Anschlüsse mit FW 30 und 60 Minuten
		B 6	Abschlussfronten EI 30 und EI 60
		B 7	Fenster
		B 8	Abschottungen
		B 9	Haustechnik (Heizung / Elektro / Sanitär / Lüftung)
		B 10	Berechnungstools für Ingenieure
C	Ausbildung und Qualitätssicherung	C 1	Ausbildung SIA Dok 83, Ausgabe 1997
		C 2	VKF Norm Generation 2003
		C 3	Qualitätssicherungssystem
		C 4	Ausbildung - Konzeption
D	Technischer Brandschutz	D 1	Opportunitäten / neue Technologien
		D 2	Sprinklerkonzepte
		D 3	Brandmelder
E	Flankierende Massnahmen	E 1	Analyse Gilamont
		E 2	Löschwasserschäden
		E 3	Prämien / Schadenstatistik
		E 4	Finanzhilfe / BS-Regionen
		E 5	Technische Argumentation für mehrgeschossigen Holzbau
F	Information, Kommunikation	F 1–3	Planungshilfen Bauteile
		F 4	Umsetzung
		F 5	Spezielle Ereignisse / Task Force
		F 6	SIA/LIGNUM Dok 83, Brandschutz im Holzbau (Ausgabe 2006/2007)
		F 7	Brandschutz „klipp und klar“
		F 8	Brandschutz im Holzbau (Lignatec)
G	International	G 1	Normung Europa
		G 2	Entwicklung / Recherchen / Zusammenarbeit in Europa

Tabelle 3: Projektorganisation von „Brandsicherheit und Holzbau“ [3]

Projektträger	Projektleitung	Projektpartner
Lignum, Zürich holz 21 / BUWAL, Bern	Lignum Zürich Christoph Starck (Direktion)	VKF SIA
Selbsthilfefonds SHF, Bern Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, Bern	Projektleitungsteam Josef Kolb (Projektleiter) Reinhard Wiederkehr Bernhard Furrer	In Teilprojekten: DGfH München, HAF Bonn Fachverband der Holzindustrie Österreichs, Wien Wood Focus, Helsinki
Verbände WWS (Wald) VSRH (Rund- und Schnittholzhandel) Holzindustrie Schweiz (Sägerei) Holzbau Schweiz (Zimmerer) VSSM (Schreinerei) FRM (Holzverarbeiter Westschweiz) VSH (Hobelwerke) HWS (Holzwerkstoffe) VSSF (Spanplatten) SFV (Furniere) SFH (Holzleimbau) FFF (Fenster) ISP (Parkett) STE (Holzingenieure) VGQ (Qualitätshäuser)	7 Projektsegmente ca. 30 Teilprojekte	Institute ETH Zürich SH-Holz Biel EMPA Dübendorf MFPA Leipzig Firmen und Unternehmungen Holzindustrie Zulieferindustrie Holzbau Innenausbau Trockenbau Haustechnik

Eine Schlüsselrolle spielt der Fachausschuss „Brandschutz im Holzbau, VKF, SIA, Lignum“. Er koordiniert und begleitet die Entwicklung im Bereich Brandschutz und Holzanwendung und leitet die inhaltliche Ausrichtung des Gesamtprojektes „Brandsicherheit und Holzbau“. Hier sind Vertreter aller wichtigen Gruppen – nämlich der Holzwirtschaft, der Brandschutzbehörden und der Planer – zusammengeschlossen und in die strategische Ausrichtung eingebunden.

3 Ingenieurmässig vorstellbar

3.1 Stand des Wissens und der Forschung in der Schweiz

Der Wunsch nach vermehrtem Einsatz der Holzbauweise insbesondere für mehrgeschossige Bauten bedeutet, dass verschiedene brandschutzspezifische Fragestellungen bezüglich Entwurf, Bemessung und Ausführung von Holzkonstruktionen genauer zu untersuchen sind. Damit das bestehende hohe Sicherheitsniveau im Brandschutz auch für den mehrgeschossigen Holzbau beibehalten und die Ziele des Brandschutzes nicht beeinträchtigt werden. Wie Tabelle 4 zeigt, bildet Brandsicherheit seit mehreren Jahren einen Schwerpunkt der Forschung unserer Gruppe am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich. Weitere spezifische Forschungsprojekte im Bereich Brandschutz und Holzbau zeigt Tabelle 5. Ziel dieser Forschungsprojekte ist die Entwicklung von experimentell abgesicherten Tragmodellen zum Brandverhalten von Holzkonstruktionen. Die Forschungsergebnisse bildeten eine wichtige Grundlage für die Überarbeitung der Brandschutzvorschriften durch die Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF und die Erweiterung bestehender Entwurfs- und Bemessungsgrundlagen für Architekten und Ingenieure. Die meisten dieser laufenden Forschungsprojekte wurden erst dank der Unterstützung durch das Förderprogramm holz 21 des BUWAL möglich und sind Teil des durch die Lignum geführten Forschungs- und Informationsprojektes „Brandsicherheit und mehrgeschossiger Holzbau“ [2, 3].

Tabelle 4: Übersicht einiger an der ETH durchgeführter bzw. laufender Forschungsprojekte im Bereich Brandschutz

Forschungsprojekt	Experimentelle Untersuchungen
Brandverhalten von Stahl-Beton-Verbunddecken mit integrierten Trägern (Slim-Floor)	Brandversuche unter Normbrandeinwirkung
Risikobasierte Beurteilung der Personensicherheit von Wohnbauten im Brandfall unter Verwendung von Bayes'schen Netzen	Statistische Erhebungen zum Einfluss brennbarer Tragwerke
Beulen von Querschnitten mit nichtlinearem Materialverhalten	Simulationen und theoretische Untersuchungen
Brandverhalten von aufschäumenden Anstrichen (laufend)	Brandversuche unter Normbrandeinwirkung
Erhebungen von Brandlasten verschiedener Nutzungen (laufend)	Statistische Erhebungen zusammen mit VKF

Tabelle 5: Übersicht einiger an der ETH durchgeführten, bzw. laufender Forschungsprojekte im Bereich baulicher Brandschutz im Holzbau [4]

Forschungsprojekt	Experimentelle Untersuchungen
Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken	Brandversuche unter Normbrandeinwirkung
Brandverhalten von Holzdecken aus Hohlkastenelementen	Brandversuche unter Normbrandeinwirkung
Brandverhalten von Hotels aus Holzmodulen	Naturbrandversuche
Brandverhalten von zusammengesetzten Wänden (laufend)	Brandversuche unter Normbrandeinwirkung
Brandverhalten von Verbindungen (laufend)	Brandversuche unter Normbrandeinwirkung

3.2 Statistische Daten

Jährlich verursachen in der Schweiz schätzungsweise 20'000 Gebäudebrände einen Schaden von ca. 350 Mio Franken und fordern knapp 40 Todesopfer [5]. Doch nicht alle Gebäude sind gleich stark betroffen. Je nach Nutzung, Alter und baulicher Ausbildung treten deutliche Unterschiede auf. Welche Bedeutung die Brennbarkeit des Tragwerkes auf den Brandschaden am Gebäude hat wird nachfolgend anhand von umfangreichen statistischen Untersuchungen mit Daten aus dem Kanton Bern dargestellt. Es wurden zunächst alle 40'000 Brände im Kanton Bern für die Jahre 1986 bis 1995 analysiert.

Für die Beurteilung aktueller brandschutztechnischer Fragestellungen ist insbesondere das Verhalten von nach dem heutigen Stand der Technik im Brandschutz errichteter Bauten wichtig, sodass nebst einer Brandschadenanalyse für Gebäude aller Erstellungsjahre eine detaillierte Untersuchung an modernen Gebäuden mit Erstellungsjahr 1990 bis 1999 durchgeführt wurde. Kernstück bildete jeweils die Ermittlung versicherungs- und brandschutztechnischer Kennzahlen wie zum Beispiel Schaden pro Versicherungssumme oder Schaden pro Gebäude.

3.2.1 Untersuchungen zu den 40'000 Bränden im Kanton Bern von 1986 bis 1995

Eine umfangreiche statistische Auswertung der ca. 40'000 Brände im Kanton Bern von 1986 bis 1995 gibt einen vertieften Einblick über den Einfluss der Bauweise, des Gebäudealters und der Nutzung auf die Personen- und Gebäudeschäden bei Bränden. Die Untersuchungen wurden für den Kanton Bern durchgeführt, da er bezüglich Brand eine dem Durchschnitt der Schweiz ähnliche Siedlungsstruktur mit sowohl grossen städtischen als auch ländlichen Gebieten aufweist. Die Schadenbelastungen für die Schweiz und für den Kanton Bern liegen demzufolge auch in einer ähnlichen Grössenordnung [6].

Gebäudebestand und Anzahl Brände

Per 31. Dezember 1996 waren im Kanton Bern insgesamt 341'616 Gebäude mit einem Wert von 224 Mia Franken versichert. Die Wohngebäude stellten mit 59 % den grössten Anteil am Versicherungswert aller Gebäude dar. Davon entfielen 74 % auf massive und 26 % auf nicht-massive Wohnbauten.

Der durchschnittliche Versicherungswert pro Gebäude betrug bei massiven Wohngebäuden 710'000 Franken, bei nichtmassiven Wohngebäuden 430'000 Franken. Massive Wohnbauten wiesen eine Fläche von 60.5 Mio Quadratmetern auf, während bei den nichtmassiven Wohnbauten 21.5 Mio Quadratmeter vorhanden waren [6].

Die Anzahl Brände pro Mio Quadratmeter Gebäudefläche und Jahr betrug 27.8 für massive und 44.7 für nichtmassive Wohngebäude. Demgegenüber war die Anzahl Brände pro 1000 Gebäude und Jahr für massive Wohnbauten mit 12.3 etwa gleich gross wie für nichtmassive mit 11.9.

Einfluss der Brennbarkeit des Tragwerkes

Für die gleiche Periode 1986 bis 1995 wurden auch die Gebäudebrandschäden für den Kanton Bern untersucht. Diese sind in der Tabelle 6 für die verschiedenen Nutzungen und Bauweisen aufgeführt.

Tabelle 6: Brandschäden an Gebäuden im Kanton Bern für den Zeitraum 1986 bis 1995

	Öffentlich genutzte Gebäude	Wohnen	Landwirtschaft	Gewerbe und Industrie	Alle Nutzungen	
Schadensumme [CHF]	17'989'594	104'335'679	5'409'741	64'800'825	192'535'839	massiv
	7'353'527	91'183'408	134'261'761	34'155'198	266'953'894	nichtmassiv
	25'343'121	195'519'087	139'671'502	98'956'023	459'489'733	beide
Schaden pro Versicherungswert und Jahr (Schadenbelastung) [‰]	0.063	0.106	0.411	0.235	0.124	massiv
	0.263	0.262	0.534	0.617	0.391	nichtmassiv
	0.080	0.147	0.528	0.299	0.205	beide
Schaden pro Gebäudefläche und Jahr [CHF / 10³ m² · a]	104	172	1'232	469	209	massiv
	439	425	1'602	1'233	778	nichtmassiv
	134	239	1'583	597	364	beide

Der Gesamtschaden an den Gebäuden für sämtliche Nutzungen und Bauweisen belief sich für die zehn Jahre auf 459 Mio Franken. Davon entfielen 196 Mio Franken (43 %) auf den Wohnungsbau.

Im Wohnungsbau war der Brandschaden an massiven und nichtmassiven Gebäuden in absoluten Zahlen mit jeweils 53 % und 47 % etwa gleich hoch. Die Schadenbelastung (Verhältnis zwischen Gebäudebrandschaden und Versicherungswert aller Gebäude) lag jedoch bei massiven Gebäuden mit 0.106 ‰ (0.106 Franken pro 1'000 Franken Versicherungswert und Jahr) deutlich tiefer als bei nichtmassiven Gebäuden mit 0.262 ‰.

3.2.2 Untersuchungen an neuen Gebäuden

Die Untersuchung an modernen Gebäuden mit Erstellungsjahr 1990 bis 1999 für den Kanton Bern [7] im Zeitraum 1990 bis 1999 zeigt deutlich tiefere Schadenbelastungen als die Untersuchung für den Zeitraum 1986 bis 1995 an allen Gebäuden (vgl. Tabelle 6).

Per 31.12.1999 waren im Kanton Bern Gebäude mit einem Wert von insgesamt 243 Mia Franken versichert. Davon machten die Gebäude mit Erstellungsjahr 1990 bis 1999 24.2 Mia Franken aus (10 %). An diesen Gebäuden verursachten 2'039 Brände einen Schaden von 9.4 Mio Franken. Dies entspricht einer durchschnittlichen Schadenbelastung von 0.070 ‰. Sie liegt verglichen mit dem Wert für den ganzen Gebäudebestand etwa dreimal tiefer (0.205 ‰).

Tabelle 7: Untersuchung im Kanton Bern an neuen Gebäuden mit Erstellungsjahr 1990 bis 1999

	Öffentlich genutzte Gebäude	Wohnen	Landwirtschaft	Gewerbe und Industrie	Alle Nutzungen	
Versicherungssumme [CHF]	3'731'177'600	13'586'815'200	155'079'800	3'741'678'400	21'214'751'000	massiv
	236'556'800	1'971'739'600	578'857'800	223'676'800	3'010'831'000	nichtmassiv
	3'967'734'400	15'558'554'800	733'937'600	3'965'355'200	24'225'582'000	beide
Anzahl Brände [-]	87	1'417	16	185	1'705	massiv
	9	242	66	17	334	nichtmassiv
	96	1'659	82	202	2'039	beide
Schadensumme [CHF]	511'180	4'714'266	193'708	2'509'396	7'928'550	massiv
	150'004	484'462	305'094	486'221	1'425'781	nichtmassiv
	661'184	5'198'728	498'802	2'995'617	9'354'331	beide
Mittlere jährliche Schadenbelastung für Gebäude mit Erstellungsjahr 1990 bis 1999 [‰]	0.018	0.066	0.394	0.131	0.066	massiv
	0.150	0.047	0.085	0.794	0.099	nichtmassiv
Zum Vergleich: Mittlere jährliche Schadenbelastung für alle Gebäudejahrgänge [‰]	0.021	0.063	0.104	0.164	0.070	beide
	0.063	0.106	0.411	0.235	0.124	massiv
	0.263	0.262	0.534	0.617	0.391	nichtmassiv
	0.080	0.147	0.528	0.299	0.205	beide

An den Wohnbauten mit einem Versicherungswert von 15.6 Mia Franken verursachten 1'659 Brände einen Schaden von 5.2 Mio Franken (0.063 ‰ Schadenbelastung). Erstaunlicherweise entstanden mehr Schäden an den massiven Wohnbauten (1'417 Brände mit einer Schadenbelastung von 0.066 ‰). Die nichtmassiven Wohnbauten verhielten sich mit 242 Bränden und einer Schadenbelastung von 0.047 ‰ sehr gut. Die Schadenbelastung sämtlicher Gebäudejahrgänge für die massiven Wohnbauten betrug für die Jahre 1986 bis 1995 0.106 ‰, für die nichtmassiven Wohnbauten 0.262 ‰ (Faktor 1.6 und 5.6 höher).

3.3 Verhalten von Holzbauten im Grossversuch

Der Wunsch im Rahmen der Schweizerischen Landesausstellung Expo02 temporäre Hotels in Holzbauweise zu bauen, gab Gelegenheit die Wirksamkeit unterschiedlicher Brandschutzkonzepte im grossen Massstab zu untersuchen. Es wurden 6 Grossversuche in zwei Versuchsserien an Hotelräumen in Holzbauweise im Massstab 1:1 im Zivilschutzzentrum in Andelfingen durchgeführt [8] (Kanton Zürich).

In der ersten Serie wurde die Wirksamkeit von technischen Massnahmen, insbesondere von schnell ansprechenden Sprinkleranlagen, aufgezeigt. Die zweite Serie war den Möglichkeiten und Grenzen des rein baulichen Brandschutzes gewidmet. Speziell betrachtet wurde der Einfluss der konstruktiven Detailausbildung auf den Feuerwiderstand von Gesamtkonstruktionen und die Brandübertragung über die Fassade. Dabei wurde insbesondere auch der Einfluss brennbarer Raumboflächen auf das Brandgeschehen untersucht.

Naturbrandversuche an Modulhotels 7 Minuten nach der Entzündung:



Abbildung 2: Brennbares Oberflächen



Abbildung 3: Gipsfaserplattenverkleidung

Die Versuche haben zum einen bestätigt, dass mit modernen Sprinkleranlagen der Einfluss der Bauweise auf die Brandsicherheit wirksam kompensiert und die Schutzziele erfüllt werden können. Trotz heftiger Brandentwicklung blieb dank der guten Löschwirkung der Sprinkler die Bausubstanz unversehrt, und es wurden sogar kaum Schäden an der Möblierung festgestellt.



Abbildung 4: Wasserschaden

Dank guter Löschwirkung der Sprinkler blieb die Bausubstanz unversehrt. Die Wassermengen bleiben beim Sprinklereinsatz gering, trotzdem sollte auf eine gute Abdichtung zur Reduktion der Wasserschäden geachtet werden.

Auch mit rein baulichen Massnahmen kann im Holzbau der Brand auf einen Raum begrenzt werden. In einem dafür ausgelegten Versuch ist es sogar gelungen ohne Feuerwehreinsatz den vollständigen Ausbrand eines Raumes ohne Brandübergreif auf die Bausubstanz zu überstehen. Auch in dem über dem Brandraum gelegenen Zimmer wurden keine erhöhten Temperaturen gemessen und sogar die Rauchgaskonzentration war bis zum Bersten des Fensters gering.

Durch die brennbaren Oberflächen wird die Brandheftigkeit massgeblich verstärkt und damit die Gefahr eines Brandübergriffes über die Fenster der Fassade erhöht (Abbildung 2). Brennbar Oberflächen sind jedoch nicht an die Holzbauweise gebunden, sondern können auch in Form von Verkleidungen in massiven Bauten auftreten. Umfangreiche Versuche im Rahmen des Projektes „Brandsicherheit und Holzbau“ haben gezeigt, dass mit geeigneten Massnahmen auch Fassaden in Holzbauweise sicher erstellt werden können [9].

3.4 Berechnungskonzepte für den Feuerwiderstand von Holzbauten

Auf die Berechnungsverfahren für Holzbauteile wird in [4] ausführlich eingegangen. Nachfolgend soll nur kurz eine Übersicht gegeben werden.

3.4.1 Nachweisverfahren für den Feuerwiderstand von Holzbauteilen

Das Brandverhalten von Elementen des Tragwerkes und von Brandabschnitten wird nach den Kriterien R (Tragwiderstand), E (Dichtigkeit) und I (Isolation) beurteilt. Die Feuerpolizeibehörde kann in der Schweiz einen Nachweis des Feuerwiderstandes verlangen [1]. Für diesen Nachweis stehen dem Planer folgende Verfahren zur Verfügung:

- Geprüfte und zugelassene Bauteile
Es werden nach einer anerkannten Prüfnorm (z.B. VKF Richtlinie Tragwerke oder EN-Normen) untersucht und durch die VKF anerkannte Produkte eingebaut. Diese Produkte sind im Brandschutzregister der VKF zusammen gestellt [10] und können direkt im Internet abgerufen werden (www.bsronline.ch). Die Prüfungen erfolgen unter ISO-Normbrand und beziehen sich auf Einzelbauteile.
- Rechnerischer Nachweis für Standardkonzepte
Neben der Prüfung dürfen Bauteile und Gesamttragwerke auch nach rechnerischen Methoden nachgewiesen werden. Anerkannte Methoden finden sich in den Swiss-, oder Eurocodes. In diesen Normen werden insbesondere detaillierte Bemessungsregeln für Einzelbauteile unter ISO-Normbrand gegeben.
Für einige gängige Querschnittsformen finden sich auch tabellierte Werte (z.B. Norm SIA 264/1 für Verbundbauteile oder in dem aus dem Projekt von Lignum/Holz21 hervorgegangen Lignatec für Holzbauteile und Zusammengesetzte Wand- und Deckenquerschnitte.)
- Rechnerischer Nachweis für objektbezogene Konzepte
Bei objektbezogenen Konzepten erfolgt der Nachweis auf der Grundlage von Naturbränden, welche die Temperaturentwicklung unter realistischen Randbedingungen (Ventilationsbedingungen, Brandlast, thermische Eigenschaften des Brandraumes, Brandbekämpfung) berücksichtigt. Die Randbedingungen sind vorgängig mit den Behörden abzusprechen.
Bei objektbezogenen Konzepten darf der Nachweis auch unter Beachtung des globalen Tragverhaltens geführt werden, z.B. kann die Umlagerung von Kräften auf andere Bauteile berücksichtigt werden, so dass einzelne Bauteile ausfallen dürfen.
- Konzept für die Bestimmung des Querschnittwiderstandes
Holz wandelt sich bei grosser Temperatureinwirkung an der Oberfläche in Holzkohle um. Unter Normbrandbedingungen erfolgt dies mit einer ziemlich konstanten Geschwindigkeit,

diese liegt für Fichte bei rund 0.7mm/min. Unterhalb der Holzkohleschicht liegt eine Zone mit erhöhter Temperatur in der die Festigkeitseigenschaften des Holzes reduziert sind.

Als vereinfachte Berechnungsmethode wird vom Holz an allen dem Feuer ausgesetzten Oberflächen die abgebrannte Schicht d_{char} abgezogen und die Wärmebeeinflusste Zone pauschal durch einen zusätzlichen Abzug d_{red} berücksichtigt.

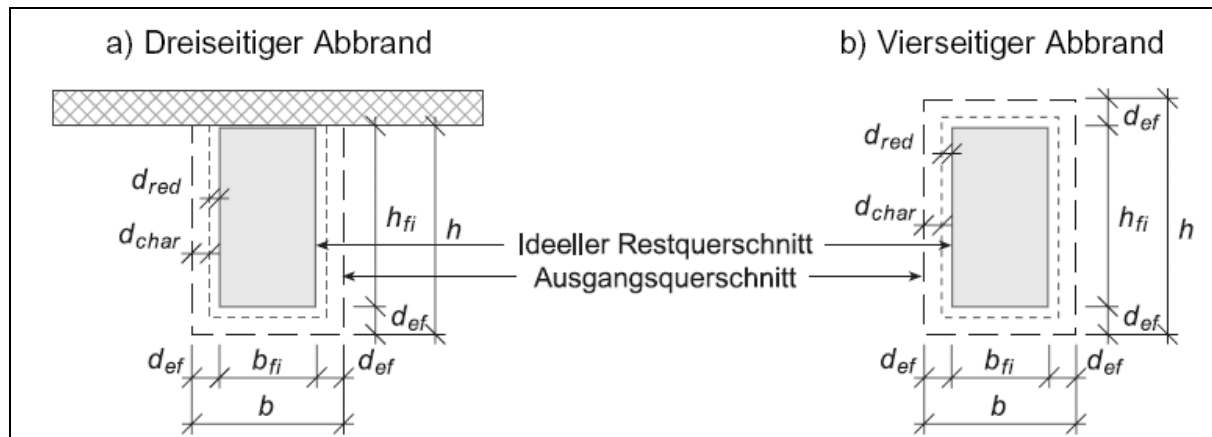


Abbildung 5: Bestimmung des ideellen Restquerschnittes für die Berechnung des Feuerwiderstandes von Holzbauteilen [11].

Ist die Holzoberfläche durch eine Isolation geschützt und fällt diese nach einer bestimmten Zeit ab, so ist die darunter liegende Holzschicht vorgewärmt und erfährt einen rascheren Abbrand als wenn sie durch eine Kohleschicht geschützt ist. Für diese Fälle wird die Abbrandgeschwindigkeit rechnerisch erhöht, bis sich eine Holzkohleschicht von 25 mm gebildet hat [11].

Dieses einfache Modell liefert im Vergleich zu Versuchen im Brandofen sehr gute Resultate und wird auch im Swisscode verwendet.

Als weiteres Model neben der Methode des ideellen Restquerschnittes, bietet der Eurocode [11] eine Methode bei der die Materialeigenschaften in Abhängigkeit des vom Stahlbau bekannten Profilfaktors bestimmt werden. Diese Methode ist aufwändiger und kann für nicht rechteckförmige Querschnittswerte ungenaue Werte liefern.

3.5 Qualitätssicherung - Ausführung und Unterhalt von Brandschutzmassnahmen

Bei der Ausführung des Bauwerkes ist darauf zu achten, dass die in den Brandschutzplänen festgelegten Massnahmen auch fachgerecht umgesetzt werden. Entscheidend für die Zuverlässigkeit der Massnahmen ist die regelmässige Kontrolle und der Unterhalt der Brandschutzmassnahmen und -einrichtungen (Abschottungen, Sprinkler, Brandmelder etc.). Der Kontroll- und Unterhaltsplan muss die entsprechenden Angaben enthalten, nötigenfalls sind Unterhalts- und Serviceverträge abzuschliessen. Je nach Bauweise, Art und Bedeutung des Gebäudes ist der Umfang der durchzuführenden Kontrollen unterschiedlich festzulegen. Insbesondere bei mehrschichtigen Wand- und Deckenaufbauten ist darauf zu achten, dass durch die Nutzer keine brandschutzrelevanten Schichten durchlöchert oder entfernt werden.

Die Lignum hat ein Qualitätssicherungssystem für den Brandschutz im Holzbau entwickelt und bietet ein Handbuch zu diesem Thema. Sie führt auch ein Register für Fachingenieure im Bereich Brandsicherheit und Holzbau. Dies ist wichtig, da für Geschossbauten mit 5 und 6 Geschossen die Begleitung durch einen Fachingenieur verlangt wird [1].

4 Know-How-Lücken

Durch die grossen Anstrengungen in den letzten Jahren konnten die Know-how-Lücken im Brandschutz wesentlich verringert werden. Eine weitere Erhöhung des erreichten Brand-sicherheitsniveaus kann unter anderem erreicht werden durch intensive Forschung in folgenden Bereichen:

Technischer Brandschutz insbesondere:

- Weiterentwicklung von Sprinkleranlagen für den speziellen Einsatz in kleinen Räumen mit geringer Höhe, wie wir sie im Wohnungs- und Bürobau häufig antreffen. Durch die Verwendung von kleineren Tropfen bis hin zum Wassernebel lässt sich die Wassermenge und damit der Wasserschaden massiv begrenzen.
- Alarmübertragung mit gegenüber Industrieanlagen einfacheren und kostengünstigeren Methoden.

Vertiefte Kenntnisse zum Materialverhalten insbesondere:

- Abbrandverhalten von Holz unter Naturbrandbedingungen insbesondere Einfluss von Luftzug durch Spalten und Naturbrandtemperaturverläufe.
- Verhalten von Verkleidungsmaterialien, wie Gipsplatten unter Berücksichtigung der Befestigung und Plattengrösse, sowie der dahinterliegenden Materialien.
- Verhalten von unterschiedlichen Leimen bei erhöhten Temperaturen.
- Abbrandverhalten von Holz mit „Brandschutzanstrichen“
- Verhalten von geschützten Bauteilen nach Versagen der Verkleidung (Fragestellung der erhöhten Abbrandgeschwindigkeit)

Konstruktion insbesondere:

- Details wie Anschlüsse, d.h. der Bereich, wo ein Bauteil auf ein anderes trifft, hier müssen spezielle Konstruktionsgrundsätze beachtet werden, um zu verhindern, dass das Feuer durch Hohlräume in den Bauteilen von einem Brandabschnitt in einen anderen gelangen können.
- Verhalten von Fugen.
- Verhalten von Verbindungen. Der Eurocode gibt zwar einige erste Angaben von Verhalten von Verbindungen. Durch die grosse Vielzahl der im Holzbau vorhandenen Verbindungsarten wird aber nur ein kleiner Bereich abgedeckt. Hier besteht weiterhin grosser Forschungsbedarf.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Grosse Anstrengungen der Holzbranche und der Forschungsstellen haben in den letzten Jahren wesentliche Erkenntnisse zum Brandverhalten von Holz und zur Sicherheit von Holzbauten im Brandfall gebracht. Das Projekt „Brandsicherheit und Holzbau“ von Lignum und Holz21 hat durch die Vernetzung von Holzbranche Forschung und Behörden zu einem beispielhaften Schub für die Brandsicherheit von Holzbauten geführt.

Grundlagen und Berechnungsmodelle für die Sicherstellung der Brandschutzanforderungen sind vorhanden. Es liegt nun an allen Beteiligten der Holzbranche und den Planern, dass die neuen Möglichkeiten sicher und wirtschaftlich genutzt werden.

6 Literatur

- [1] VKF Brandschutzvorschriften, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bundesgasse 20, 3011 Bern, Ausgabe 2003
- [2] Kolb, J.; Neue Schweizerische Brandschutzvorschriften VKF: Öffnung und Fortschritte, 37. Fortbildungskurs der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, 2./3. November 2005, Weinfelden
- [3] Fontana, M., Starck, Ch.; Brandschutzziele und Konzepte - Berechnungsverfahren, 37. Fortbildungskurs der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, 2./3. November 2005, Weinfelden
- [4] Frangi, A.; Baustoffverhalten, Feuerwiderstand – Berechnungsmethoden, 37. Fortbildungskurs der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, 2./3. November 2005, Weinfelden
- [5] Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen: "Auszug aus der Schadenstatistik 1998", VKF, Bern, 1998
- [6] Fontana, M.; Favre, J.P.; Fetz, C.: "A survey of 40'000 building fires in Switzerland", Fire Safety Journal 32 (1999) pp. 137 - 158, Elsevier Science Ltd., Amsterdam, 1999
- [7] Fontana, M., Maag T., Lienert C., Favre J.-P.; Statistische Untersuchungen zu Gebäudebränden, s+s report, VdS-Magazin No. 1, Köln, Februar 2002
- [8] Maag T., Fontana M.: Brandversuche an Modulhotels aus Holz, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft Nr. 25, pp. 562-566, Zürich, Juni 2000
- [9] Wiederkehr, R.; Fassaden – konstruktive Umsetzung im Beispiel, 37. Fortbildungskurs der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, 2./3. November 2005, Weinfelden
- [10] Brandschutzregister, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bundesgasse 20, 3011 Bern
- [11] EN 1995-1-2 Design of timber structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design, CEN, Brussels, 2004