

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 118 (2000)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Brandversuche an Modulhotels aus Holz  
**Autor:** Fontana, Mario / Maag, Trond  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79937>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Mario Fontana, Trond Maag, Zürich

## Brandversuche an Modulhotels aus Holz

**Im Frühjahr und Herbst 1999 führte das Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich Naturbrandversuche mit Modulhotels aus Holz für die Expo.02 durch. Untersucht wurden sowohl spezifische Problemstellungen zur Brandsicherheit solcher Expohotels, als auch grundsätzliche Fragestellungen zum Brandverhalten mehrgeschossiger Holzbauten. Neben baulichen Brandschutzmassnahmen interessierte insbesondere die Wirksamkeit von Brandmelde- und Sprinkleranlagen.**

Die Expo legt grossen Wert auf ökologisches Bauen. Dabei spielt das Konzept des Precycling eine wichtige Rolle, d.h. die Planer müssen sich schon im Entwurf Gedanken zur Wiederverwendung der Bauteile oder Bauten nach der Ausstellung machen. Dieses Konzept gilt auch für die Hotelbauten der Expo, die den grossen Bedarf an Übernachtungsmöglichkeiten während der Ausstellung abdecken und nach der Expo nicht mehr benötigt werden. Im Herbst 1996 lancierte daher die damalige Expo.01 zusammen mit dem Hotelierverein und der Schweizerischen Holzwirtschaftskonferenz den Wettbewerb «Modulhotel» für Bausysteme zur preisgünstigen Beherbergung von Ausstellungsbesuchern. Zielsetzung war, ökologisch günstige sowie technisch und wirtschaftlich machbare Lösungsvorschläge zu erhalten.

Zusammen mit anderen Projekten wurde das Projekt «Expohotel» der Bauart Architekten aus Bern ausgezeichnet. Dieses Projekt ist aus dem Holzbausystem Modular-T hervorgegangen, das unter anderem für Schulhausbauten in Thun und

Zürich (Bild 1) eingesetzt worden war. Das «Expohotel» besteht aus einem mehrgeschossigen, modular aufgebautem Hoteltrakt mit angrenzendem Korridorbau. Rezeption, Lobby, Restaurant und weitere Räume für unterschiedliche Nutzungen können je nach Bedarf beigefügt werden. Nach der Expo können die einzelnen Module leicht an einen anderen Standort, z.B. in eine Skiregion, transportiert und zu einem neuen Hotel zusammengefügt werden. Die Module des Projekts «Expohotel» waren Ausgangspunkt für die in diesem Bericht vorgestellten Brandversuche.

Die Modulhotels in Holzbauweise stehen jedoch im Widerspruch zu den geltenden Brandschutzvorschriften [1], die die Verwendung einer brennbaren Tragstruktur für mehrgeschossige Hotelbauten nicht zulassen. Im Sinne einer Ausnahmegenehmigung waren die kantonalen Feuerpolizeibehörden allerdings bereit die ökologisch günstige Holzbauweise für die Modulbauweise zuzulassen, sofern der Nachweis eines akzeptierbaren Brandrisikos erbracht würde.

In einem gemeinsamen Projekt der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), der Aktion Holz 2000 des Buwal und mehrerer Industriepartner (Kasten) zusammen mit der ETH Zürich wurde daher eine Forschungsarbeit zur Brandsicherheit der Modulhotels durchgeführt. Die Bedeutung des Forschungsprojekts reicht über die Expo hinaus, weil einerseits die Hotels nach der Expo an anderen Standorten wieder aufgebaut werden sollen und andererseits die neuen Musterfeuerpolizeivorschriften der VKF ab 2003 neue Einsatzbereiche für Holz bei mehrgeschossigen Bauten vorsehen.

### Durchgeführte Brandversuche

Der experimentelle Teil des Forschungsprojekts bestand aus Versuchen im Brandlabor der Empa in Dübendorf und Naturbrandversuchen in der Zivilschutzanlage Andelfingen im Massstab 1:1. Die Versuche hatten zum Ziel, eventuell vorhandene Schwachstellen in der Brandsicherheit der Modulhotels zu finden und gleichzeitig Grundlagen zum Brandverhalten mehrgeschossiger Bauten in Holzbauweise zu liefern. Neben dem Feuerwiderstand der Tragkonstruktion interessierten die Brand-

ausbreitung über brennbare und nicht brennbare Oberflächen sowie der Einfluss von Sprinkler- und Brandmeldeanlagen auf die Brandsicherheit.

Als Vorbereitung für die Grossversuche wurden im Herbst 1998 vier mögliche Wandaufbauten für die Modulhotels auf ihre brandabschnittsbildende Wirkung im Vertikalofen der Empa untersucht. Diese Versuche wurden im entsprechenden IBK-Bericht [2] bereits ausführlich dokumentiert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für die Konstruktion der Hotelmodule, deren Brandverhalten mit Naturbrandversuchen geprüft wurde. Konstruktion, Einrichtung und Ausbau entsprachen weitgehend den «richtigen» Hotelmodulen. Die Naturbrandversuche gliederten sich in zwei Versuchsserien, die unterschiedliche Fragen beantworten sollten:

In der ersten Serie wurde die lokale Brandentwicklung im Hotelmodul selbst untersucht. Ein von einer Matratze ausgehender Brand wurde beobachtet, um zu klären, ob er auf weiteres Brandgut oder sogar auf die Raumbofläche übergreifen kann, bevor ihn die Sprinkleranlage eindämmt, und nach welcher Zeit die Löschkräfte durch die Brandmeldeanlage alarmiert werden. Untersucht wurden insbesondere die Wirksamkeit der Sprinkler- und Brandmeldeanlage bei unterschiedlichen Lüftungsbedingungen und der Einfluss brennbarer Raumboflächen auf die Brandentwicklung.

Die zweite Serie klärte die Frage, ob ohne Löschmassnahmen ein Matratzenbrand auf weitere Hotelmodule übergreift oder ob er auf den Brandraum begrenzt bleibt. Dazu wurde im unteren Modul die Sprinkleranlage ausgeschaltet und das Fenster geöffnet, so dass sich das Feuer aufgrund der grossen Luftzufuhr rasch und ungehindert entwickeln konnte. Die Versuche sollten zudem darüber Aufschluss geben, wie lange bei einem Vollbrand die statische Tragfähigkeit der Module erhalten bleibt und wie lange im darüber liegenden Modul für Menschen ertragbare Bedingungen herrschen. Im Bereich der Fassaden wurde die Brandausbreitung über brennbare Oberflächen und die Hinterlüftung untersucht.

Die Versuche wurden in der Zivilschutzanlage Andelfingen durchgeführt, die über eine gute Infrastruktur (Brandwanne zum Auffangen der Löschmittel, Feuerwehr vor Ort usw.) verfügt. Die Gemeinde Andelfingen und das Amt für Abfall, Wasser,

1

Schulhaus Modular-T



Energie und Luft hatten der Durchführung der Versuche unter der Bedingung des Einhaltens organisatorischer und ökologischer Auflagen zugestimmt. So durften z.B. im Sommer wegen der Ozonbelastung keine Versuche durchgeführt werden. Die fünf ersten Versuche fanden daher im Frühling 1999 und ein letzter Versuch im Herbst 1999 statt.

Bild 2 zeigt einen Überblick über die durchgeführten Versuche. Neben den hier dargestellten wurden einige weitere, kleinere Versuche zu Schwelbränden und zum Materialabbrandverhalten durchgeführt. Die ersten Versuchsergebnisse wurden im Sommer 1999 an der ETH Höggerberg vorgestellt und bei dieser Gelegenheit mit dem interessierten Fachpublikum auch die Randbedingungen für den abschliessenden Versuch im Herbst 1999 diskutiert, der der Überprüfung der aus den bisherigen Versuchen abgeleiteten Massnahmen dienen und zeigen sollte, dass moderner Holzbau brandsicher konstruiert werden kann.

### Konstruktion der Hotelmodule

Die Hotelmodule aus Holz haben eine Grösse von 6,6 m × 3,1 m × 2,8 m; sie wurden im Werk vollständig vorfabriziert und auf Lastwagen nach Andelfingen transportiert. Die Modultypen waren in ihrer Konstruktion identisch, unterschieden sich aber in den Wand- und Deckenaufbauten, insbesondere in der Brennbarkeit der Innenverkleidung, da diesem Aspekt aus Brandschutzsicht grosse Bedeutung beigemessen wird. Die Aufbauten der Wände, Decken und des Bodens sind in Bild 3 zusammengestellt. Alle Module waren mit handelsüblichen Türen T30 (ohne Prüfnachweis) inklusive Beobachtungsfenster R30 und Fenstern mit doppelter Isolierverglasung ausgestattet. Während der Versuche wurde die Türe mit einer isolierten Holzplatte verstärkt, damit sich der Brand nicht über die Türe ausbreiten und dadurch die Messeinrichtung gefährden konnte. Auf die Ausstattung mit

einer Nasszelle wurde aus Umwelt- und Kostengründen verzichtet.

Nicht nur der Brandschutz bestimmte die Materialien für die Konstruktion der Module, sondern auch verschiedene Anforderungen bezüglich Bauphysik, Wirtschaftlichkeit, Ökologie, Behaglichkeit usw. Die Ständerkonstruktion aus BSH-Rahmen und die Kantholzausfachung sowie die Dreischichtplatten bestanden aus Fichten- bzw. Tannenholz. Als nicht brennbare Innenverkleidung wurden mit Klammern befestigte Gipsfaserplatten mit verspachtelter Fuge verwendet. Als Wärmedämmmaterial wurden Holzfaserplatten in die Ständerkonstruktion geklemmt. Die Vorversuche an der Empa zeigten, dass die Platten mit steigender Temperatur schrumpfen und aus der Ständerkonstruktion herausfallen können. Um dies zu verhindern, wurden sie durch ein zwanzig Millimeter starkes, auf die Ausfachung der Ständerkonstruktion montiertes Brett gehalten, wozu die Holzfaserplatten gefalzt

## 2

### Durchgeführte Versuche mit typischen Ereignissen

Versuchsserie Bezeichnung	Brandentwicklung			Brandübergreif					
	BE bb g	BE bb o I	BE bb o II	BÜ nbb		BÜ bb		BÜ demo	
Datum	26.4.99	27.4.99	3.5.99	10.5.99		12.5.99		24.11.99	
Modul	H1	H1	H1	G1 unten	H2 oben	H1 unten	H2 oben	G2 unten	H2 oben
Fenster	zu	offen	offen	offen	zu	offen	zu	offen	zu
Entzündung	ca.	ca.	ca.	ca.	-	ca.	-	ca.	-
Matratze	01'50"	02'00"	01'20"	01'30"	-	01'40"	-	01'40"	-
Feuersprung (Flashover)	-	-	-	ca. 10'00"	-	04'27"	-	06'58"	-
Bersten äussere Scheibe	-	n.v.	n.v.	n.v.	13'57"	n.v.	06'09"	n.v.	14'25"
Bersten innere Scheibe	-	n.v.	n.v.	n.v.	42'35"	n.v.	07'28"	n.v.	40'16"
Deckensprinkler	57 °C	68 °C	57 °C (Luft)	68 °C (Luft)	68 °C	68 °C (Luft)	68 °C	68 °C (Luft)	68 °C (Luft)
Auslösung	02'45"	03'03"	02'01"	02'15"	42'40"	03'20"	-	02'35"	42'30"
Seitenwand- sprinkler	68 °C (Luft)	68 °C (Luft)	68 °C	68 °C (Luft)	68 °C	68 °C (Luft)	68 °C	68 °C (Luft)	68 °C (Luft)
Auslösung	-	-	02'15"	02'20"	42'41"	03'27"	07'30"	02'44"	41'21"
BMA 1	00'21"	00'30"	00'33"	00'25"	15'10"	01'10"	06'54"	eigener Vorversuch	18'37"
BMA 2	00'33"	00'33"	00'36"	00'29"	15'31"	01'10"	07'00"		19'26"
BMA 3	01'02"	01'15"	00'50"	00'59"	19'54"	01'17"	07'16"		20'33"
BMA 4	01'27"	01'46"	01'19"	01'26"	31'27"	01'50"	07'30"		28'48"

#### Erläuterungen:

BE/BÜ	Brandentwicklung/Brandübergreif
bb/nbb	Innenverkleidung brennbar/nicht brennbar
o/g	Fenster offen/geschlossen
demo	Der Öffentlichkeit zugänglicher Demonstrationsversuch
(Luft)	Sprinkleranlage deaktiviert, aber unter Pressluft, zur akustischen Bestimmung der Auslösezeit
n.v.	nicht vorhanden
-	nicht aufgetreten, keine Messwerte vorhanden
BMA	Brandmeldeanlage mit vier Parametersätzen

Modul	H1, H2 – brennbar	G1 – nicht brennbar	G2 – nicht brennbar
Boden	Linoleum 3 mm Dreischichtplatte 20 mm Holzfaserplatte 140 mm Dreischichtplatte 35 mm	Linoleum 3 mm Dreischichtplatte 20 mm Holzfaserplatte 140 mm Dreischichtplatte 35 mm	Linoleum 3 mm Kastenelement 195 mm (Wandstärke 31 mm) mit Steinwolle
Längswand	Spanplatte OSB 18 mm Holzfaserplatte 80 mm Dreischichtplatte 35 mm	Gipsfaserplatte 18 mm Holzfaserplatte 80 mm Dreischichtplatte 35 mm	Gipsfaserplatte 15+12,5 mm Holzfaserplatte 80 mm Dreischichtplatte 27 mm
Querwand Türe	Spanplatte OSB 18 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 35 mm	Gipsfaserplatte 18 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 35 mm	Gipsfaserplatte 15+12,5 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 27 mm
Querwand Fenster	Spanplatte OSB 18 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 35 mm Hinterlüftung 20 mm Dreischichtplatte 20 mm	Gipsfaserplatte 18 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 35 mm Hinterlüftung 20 mm Dreischichtplatte 20 mm	Gipsfaserplatte 15+12,5 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 27 mm Hinterlüftung 20 mm Dreischichtplatte 20 mm
Decke	Dreischichtplatte 20 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 35 mm	Gipsfaserplatte 18 mm Holzfaserplatte 120 mm Dreischichtplatte 35 mm	Gipsfaserpl. 15+15+12,5 mm Steinwolle 120 mm Dreischichtplatte 27 mm

3

Wand-, Decken- und Bodenaufbau  
Modulhotel (von innen nach aus-  
sen)

werden mussten. Als brennbare Innenverkleidung wurden grobspanige Faserplatten (Oriented Strand Board) verwendet. Die Befestigung der Spanplatten auf der Ständerkonstruktion erfolgte mit Klammern. Der Bodenaufbau des Versuchs «BÜ demo» (Bild 2) vom 24. November 1999 bestand aus 195 mm hohen Kastenelementen aus Fichten- und Tannenholz mit einer Wandstärke von 31 mm. Dämmplatten aus Steinwolle dienten als Isolation.

### Sprinkler- und Brandmeldeanlage

Für die Versuche wurden alle Module mit einer Brandmeldeanlage, bestehend aus vier punktförmigen Brandmeldern für jeweils einen Empfindlichkeitsparametersatz, ausgerüstet. Die Brandmeldeanlage unterscheidet für jeden Parametersatz drei Gefahrenstufen: G1 dient der korrekten Einstellung des Brandmelders, was für den Benutzer nicht von Bedeutung ist. Die Gefahrenstufe G2 löst eine erste Warnung bzw. einen Voralarm aus, der sich z.B. an den Haus- oder Sicherheitsdienst eines Gebäudes richtet. Erst die Gefahrenstufe G3 löst im Regelfall die Alarmierung der Feuerwehr aus.

Pro Modul waren sowohl eine Decken- als auch eine Wandsprinkleranlage mit je zwei schnell ansprechenden Glasfass-Sprinklerköpfen (RTI 35 bis 50 [m·s]<sup>0,5</sup>) montiert. Die Ansprechtemperatur der Deckensprinkler betrug je nach Versuch 57 oder 68 °C, die der Wandsprinkler stets 68 °C. Der RTI-Wert (Response Time Index) drückt das dynamische Ansprechverhalten des Sprinklers aus. Je geringer er ist, um so schneller folgt die Temperatur des Auslösemechanismus der

Umgebungstemperatur (in Hotels wäre es sogar möglich noch schnellere Personenschutzsprinkler mit einem RTI-Wert von 20 bis 25 [m·s]<sup>0,5</sup> einzusetzen). Die Decken- und Seitenwandsprinkleranlage wurden je autonom mit Wasser versorgt, um das Verhalten beider Anlagen unabhängig untersuchen zu können. Zudem bestand die Möglichkeit, die Leitungen mit Druckluft zu füllen, um bei den Versuchen ohne Sprinklereinsatz den Auslösezeitpunkt der Sprinkler dennoch feststellen zu können.

### Messtechnik

Während der Versuche wurde der Temperaturverlauf an bis zu hundert Messstellen ermittelt. Im Modulinnern massen Thermoelemente die Lufttemperatur in verschiedenen Höhen. In den Wänden, im Boden und in der Decke wurden jeweils an den Oberflächen und den Werkstoffübergängen die Materialtemperaturen ermittelt. An den Fenstern wurde die Gastemperatur an der Oberfläche der Innen- und Aussenseite des Fensters gemessen. Die Anordnung der Messstellen war nicht für alle Versuche gleich, sondern wurde auf die jeweiligen Versuche abgestimmt.

Das Gewicht des gesamten Versuchsaufbaus wurde durch vier an den Ecken der Module befestigte Kraftmessdosen erfasst, um den Gewichtsverlust infolge Abbrand und Wasserverdampfung zu bestimmen.

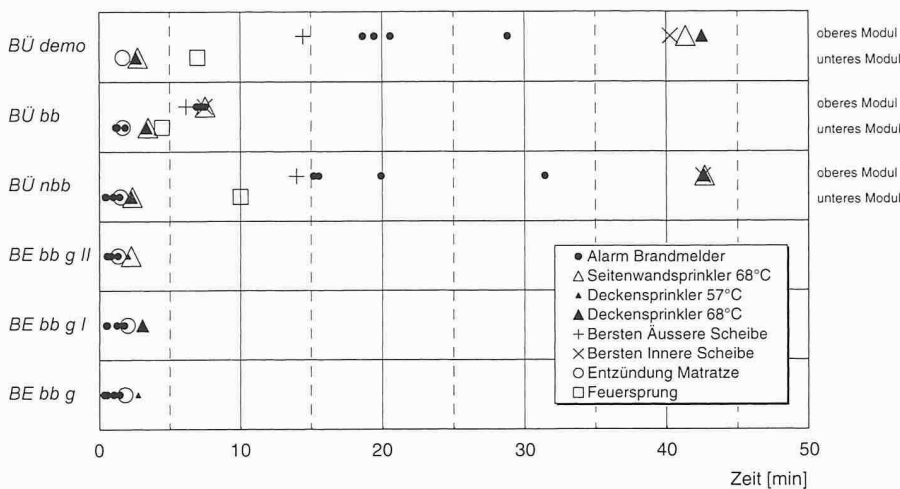
Die Gaskonzentrationen überwachte ein mit Sensoren zur Bestimmung der Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentration ausgerüstetes Gasmessgerät. Eine im Messgerät sitzende Pumpe saugte im Modulinnern rund einen Meter

über Boden Rauchgase ab und führte sie über einen hitzeresistenten Teflonschlauch den Sensoren zu.

Alle Versuche wurden mit Video- und Fotoaufnahmen sowie mit schriftlichen Protokollen dokumentiert. Fest installierte Videokameras zeichneten die Modulfront, die Seitenansicht und das Modulinnere von aussen auf. Beim Versuch «BÜ demo» wurde sogar eine Kamera im Modulinnern installiert. Sie zeichnete immerhin sieben Minuten des Versuchs auf, bis sie durch die Hitze zerstört wurde. Weitere Beobachtungen des Versuchsablaufs wurden von mobilen Video- und Fotokameras aufgezeichnet. Ein professionelles Videoteam erstellte zu den Versuchen eine entsprechende Dokumentation [3].

Bei den Versuchen «BÜ nbb» und «BÜ bb» (Bild 2) wurden von der Modulfront Infrarotbilder aufgezeichnet, die vor allem der Beurteilung der Temperaturverteilung im Bereich der Fassade dienten. Insbesondere während der Entstehungs- und Lösphase eines Brandes ist die Brandhitze für den Menschen oft nicht sichtbar, er nimmt höchstens den Qualm und eventuell die Wärmestrahlung wahr, während die Infrarotkamera die Intensität der Wärmestrahlung erkennt und die Wärmequelle genau orten kann, selbst wenn diese verdeckt ist. So konnten z.B. die Wirksamkeit des oberhalb des Fensters montierten, flammenabweisenden Blechs beurteilt und auch unsichtbare Glutnester bei den Lösarbeiten erkannt werden.

Mit einem Widerstandsmessgerät wurde die stark witterungsabhängige Holzfeuchtigkeit der Module jeweils unmittelbar vor den Versuchen an ausgewählten Stellen gemessen. Auf den Verlauf der Brandversuche war der Einfluss der



4

Graphische Zusammenfassung des Versuchsablaufs

Witterung jedoch nur gering. So traten lediglich während der Entstehungsphase des Brandes Unterschiede auf. Nach der Entzündung der Möblierung hatte die Witterung kaum mehr einen Einfluss auf den Versuchsablauf.

### Brandbelastung und Zündung

Bei den Versuchen zur Brandentwicklung und zum Brandübergreif wurde jeweils eine auf vier Holzpaletten liegende Matratze mit vier Dezilitern n-Heptan in Brand gesetzt. Die handelsübliche Schaumstoffmatratze (1,6 m × 2,0 m) mit Polyurethankern war mit einem Baumwolltuch bedeckt. Das n-Heptan befand sich in einem unter der Matratze stehenden Blechgefäss und wurde mit einer Lunte gezündet. Die Entflammung des n-Heptans im Blechgefäss galt als Startzeit. Als zusätzliche mobile Brandlast wurden bei den Versuchen zum Brandübergreif sieben weitere Holzpaletten verwendet.

Als weitere Brandlast wirkte bei allen drei Versuchen zum Brandübergreif die Bodenplatte mit der Linoleumabdeckung. Beim Versuch «BÜ bb» brannten auch die Decken- und die Wandverkleidung sowie nach deren Durchbrand die herausfallende, brennbare Isolation. Beim Versuch «BÜ nbb» brannten nach dem Versagen der Gipsfaserplatten die herausfallenden Holzfaserplatten. Die brennbare Isolation war nur beim Versuch «BÜ demo» ausreichend geschützt, so dass sie weder völlig freigelegt wurde noch herausfallen konnte.

Die Entwicklung des Feuers war während der Anfangsphase der Versuche von der Witterung und der jeweils verwendeten Matratze abhängig. Die Schaum-

stoffmatratzen mit Polyurethankern waren Überschussware von unterschiedlichen Herstellern und brannten somit etwas unterschiedlich schnell ab. Die Luftfeuchtigkeit hatte direkten Einfluss auf die Holzfeuchtigkeit der im offenen Unterstand gelagerten Möblierung. Daraus resultierten die unterschiedlichen Ansprechzeiten der Sprinkler- und Brandmeldeanlage bei gleicher oder ähnlicher Versuchsanordnung. Auf die gesamte Versuchsdauer bezogen sind die Unterschiede aber unbedeutend.

### Versuche zur Brandentwicklung

Bei den Versuchen zur Brandentwicklung konnte die Sprinkleranlage den Brand innerhalb kürzester Zeit kontrollieren, obwohl die Zündung der Schaumstoffmatratze von unten erfolgte. Bild 4 zeigt, dass bei allen Versuchen die Sprinkleranlage innert zwei bis dreieinhalb Minuten nach der Zündung auslöste. Dabei spielte es keine Rolle, ob eine Decken- oder Wandsprinkleranlage verwendet wurde; die Unterschiede von einigen Sekunden zwischen den Auslösezeiten sind unbedeutend. Die Versuche haben auch gezeigt, dass die Lüftungsbedingungen das Ansprechverhalten der Sprinkler nicht wesentlich beeinflussten.

Noch bevor weiteres Brandgut oder sogar der Innenraum sich entzündeten konnten, löschte die Sprinkleranlage den Brand. Selbst an den Wänden und Decken mit Holzoberflächen zeigten sich praktisch keine Brandspuren. Im Gegensatz dazu entzündeten sich bei den Versuchen ohne aktivierte Sprinkleranlage jeweils kurz nach dem fiktiven Auslösezeitpunkt der deaktivierten Sprinkleranlage die Möblie-

rung und die brennbare Innenraumverkleidung. Die Raumtemperatur unter der Decke lag bei Sprinklerauslösung bei allen Versuchen zwischen 100 und 200 °C. Da ein Feuersprung erst bei einer höheren Temperatur auftritt, hat die Brennbarkeit der Innenraumverkleidung in der Anfangsphase eines Brandes keinen Einfluss auf das Ansprechverhalten der Sprinkleranlage. Das rasche Löschen bei Verwendung einer Sprinkleranlage benötigte nur wenig Wasser, so dass bloss ein geringer Wasserschaden entstand und die Module wieder verwendet werden konnten.

Die Brandmeldeanlage entdeckte die Brände innerhalb von zwei Minuten mit allen Parametersätzen, d. h. noch etwas rascher als die Sprinkleranlage (Bild 4), und konnte selbst einen erst schwelenden Brand schnell erkennen.

### Versuche zum Brandübergreif

Bei den Versuchen «BÜ nbb», «BÜ bb» und «BÜ demo» wurde der Brandübergreif bei fehlenden Löschmassnahmen (keine Feuerwehr, Sprinkleranlage deaktiviert) vom unteren ins obere Modul untersucht (Bild 5). In allen Versuchen erfolgte der Brandübergreif über die Fassade und nie aufgrund eines Durchbrands der Decke oder der Wände. Der Brandübergreif erfolgte bei allen drei Versuchen unabhängig davon, ob der Innenraum brennbar oder nicht brennbar verkleidet war. Die Energiefreisetzung war jedoch bei den Versuchen mit nicht brennbarer Innenverkleidung deutlich geringer, so dass der Brandübergreif auf das obere Modul erst nach 40 bzw. 42 Minuten erfolgte (Bild 2). Beim Versuch mit brennbarer Innenverkleidung ereignete sich der Brandübergreif hingegen bereits nach knapp acht Minuten. Kritische Stellen für den Brandübergreif auf das obere Modul sind also nicht die brennbaren Wände oder Decken, sondern die Türen, Fenster oder Durchbrüche für die Haustechnik. Die Versuche haben aber gezeigt, dass ein Brandübergreif ins obere Modul über zerstörte Fenster oder Türen wirkungsvoll mit einer Sprinkleranlage im oberen Modul verhindert werden kann.

Ein an der Moduloberkante befestigtes, 25 Zentimeter breites Stahlblech trennte die Hinterlüftungsebene zwischen den zwei Modulen, so dass jedes Modul einzeln hinterlüftet war. Das Blech konnte eine Brandausbreitung in der Hinterlüftung über alle Geschosse (Kaminwirkung) wirkungsvoll verhindern und die Schäden an der Fassade lokal begrenzen. Zudem verzögerte es die Entzündung der darüber liegenden Fassade. Zur Verhinderung eines Brandübergreif wäre jedoch ein wesent-



5

Versuch «BÜ demo» vom 24. November 1999

#### Projekt- und Industriepartner

- Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) ETH Zürich
- Holz 2000 (Buwal, HWK, Lignum)
- Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) und Kantonale Feuerpolizeibehörden
- Kommission für Technologie und Innovation (KTI) (Vorversuche an Wandmodulen)
- Empa Dübendorf (Bauphysik, Feuerhaus)
- Zivilschutzanlage Andelfingen und Gemeinde Andelfingen
- Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL)
- Bauart Architekten, Bern, und Makiol + Wiederkehr (Ingenieure), Beinwil am See
- Wey Elementbau AG, Villmergen
- HPM AG, Kleindöttingen (Holzfaserplatte Pavatherm)
- Fels-Werke GmbH, Münsingen (Gipsfaserplatte Fermacell)
- Sperrholzplatten AG, Aarau (Dreischichtplatten)
- Kronospan AG, Menznau (Spanplatten OSB)
- Schilliger Holz AG, Goldau (Konstruktionsholz)
- Lignatur AG, Waldstatt (Bodenelement Demoversuch)
- FFN AG, Niederwil (Fenster)
- Bollhalder Autokran AG, Wil
- Cerbex AG, Männedorf (Sprinkleranlage)
- Cerberus AG, Männedorf (Brandmeldeanlage)
- Dräger AG, Dietlikon (Gasmessanlage)
- Hauser & Schoch, Zürich (Videoproduktion)

lich weiter auskragendes und steiferes Blech erforderlich.

Die Stärke der nicht brennbaren Innenraumverkleidung war von Bedeutung für den Schutz der darunterliegenden Konstruktion und insbesondere der brennbaren Isolation. Die beim Versuch «BÜ nbb» gewählte einlagige Gipsfaserplattenverkleidung von 18 mm Dicke und der Befestigungsabstand von einer halben Plattenbreite (62 cm) zeigte im Naturbrandversuch bereits nach etwa 25 Minuten erste Risse. Beim Versuch «BÜ demo» wurden daher bei gleichbleibendem Befestigungsabstand je eine 15 und eine 12,5 mm starke, versetzt angeordnete Gipsfaserplatte verwendet. Beim Naturbrandversuch waren nun die ersten, zur Isolation reichenden Risse nach etwa 45 Minuten erkennbar. In der Decke wurde zusätzlich noch eine dritte 15 mm dicke Gipsfaserplatte montiert und der Befestigungsabstand auf 41 cm (Plattendrittel) verkürzt. Es traten während des Versuchs keine Risse in der hintersten Gipsfaserplatte auf. Die mittlere Schicht war aufgerissen, hatte sich zum Teil gelöst und war zu Boden gefallen. Der Befestigungsabstand der Platten und der mehrlagige Aufbau der Verkleidung sind von grosser Bedeutung. So waren beim Versuch «BÜ demo» an der Decke (Befestigungsabstand 41 cm) die ersten Risse in der vorderen Lage der Verkleidung erst nach etwa 38 Minuten erkennbar, während in der Wand (Befestigungsabstand 61 cm) die ersten Risse bereits nach etwa 26 Minuten auftraten. Bei beiden Fällen betrug die Plattendicke der ersten Lage 12,5 mm.

Das Bodenelement war bei allen Modulen brennbar und unverkleidet. Insbesondere der letzte Versuch «BÜ demo» zeigte deutlich, dass der Boden nach Ausbrand des Mobiliars weiterbrannte, wenn auch mit geringerer Heftigkeit. Möchte man dies verhindern, so müsste auch der Boden nicht brennbar verkleidet werden.

#### Zusammenfassung und Folgerungen

Die Versuche im Frühling 1999 haben gezeigt, dass ein mit einer schnell ansprechenden Sprinkleranlage ausgestattetes Holzgebäude eine sehr hohe Brandsicherheit aufweist. Der Schaden beschränkte sich auf Teile des Mobiliars. Die Rauminnenverkleidung oder gar die Tragstruktur wurden nicht beschädigt. Ein Brandübergang auf andere Räume wurde nicht beobachtet. Der Wasserschaden war gering, und die Module konnten weiterverwendet werden.

Der Versuch im Herbst 1999 hat zudem gezeigt, dass auch ohne Sprinkleranlage ein Modul mit nicht brennbarer Innenverkleidung und richtiger Fassadenausbildung der Feuerwehr ausreichend Zeit lässt, um einen Brandübergang auf ein benachbartes Modul zu verhindern. Es war sogar ein Ausbrennen des gesamten Mobiliars möglich, ohne dass die Tragkonstruktion beschädigt wurde. Die im darüber liegenden Hotelmodul gemessenen Rauchgaskonzentrationen blieben bis zum Bersten des Fensters gering. Allerdings war der Sachschaden im Brandraum wesentlich höher als bei einem durch eine Sprinkleranlage geschützten Modul.

Hotels aus Holz sind ökologisch sinnvoll und für die Gäste behaglich und sicher, sofern sie richtig geplant und gut ausgerüstet sind. Eine sorgfältige Bauausführung und Qualitätskontrolle sind für den Erfolg der Brandschutzmassnahmen aber wichtig. Bereits heute lassen die Brandschutzvorschriften in Gebieten mit traditioneller Holzbauweise mehrgeschossige Hotels in Holzbauweise zu. Für die Modulhotels in Holzbauweise der Expo.02 und späterer Standorte können die hier vorgestellten Versuche von den Behörden als Grundlagen für die Bewilligung und die Festlegung der Brandschutzmassnahmen genutzt werden.

#### Adresse der Verfasser

Mario Fontana, dipl. Ing. ETH, Prof. Dr. sc. techn., Trond Maag, dipl. Ing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Höggerberg, 8093 Zürich

#### Literatur

- [1] Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF): Brandschutznorm, Bern 1993
- [2] Fontana M., Frangi, A.: Brandversuche an Holzmodulwänden. IBK-Bericht Nr. 238, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich 1999
- [3] Maag T., Fontana M.: Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise. Hauser & Schoch, Zürich 2000