



Gutachten

Nr. GU III / B-04-061
vom 12.10.2004, 1. Ausfertigung

Gegenstand: Brandschutztechnische Bewertung der
flammenhemmenden und brandverzögernden
Wirkung des Flammenschutzsprays
„Anti-Flame“ (Spezifikation „BBT.S:A:F 2050 W“)
bei lokaler Beanspruchung weihnachtlicher
Dekorationen (Christbäume, Adventsgestecke etc.)
durch kleine Zündinitiale

Auftraggeber: **BBT-Bio-Brandschutz-Technologie**
Risegg 5
CH – 94422 Staad

Bearbeiter: Dipl.-Phys. Ingolf Kotthoff,
geschäftsführender Gesellschafter
Bereichsleiter Bauphysik / Baulicher Brandschutz
Arbeitsgruppenleiter Originalbrände

Diese gutachterliche Stellungnahme besteht aus 18 Seiten.

Dieses Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung – auch auszugsweise – bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verfassers oder der MFPA Leipzig GmbH.

1. Veranlassung

Die BBT Bio- Brandschutz-Technologie GmbH vertreibt in Lizenz ein Flammenschutzspray „BBT-S:A:F 2050 W“ welches u.a. zum Schutz von Christbäumen und Adventsgestecken aus Nadelholzzweigen gegen Einwirkung kleiner lokaler Zündquellen (Kerzen, Wunderkerzen, elektrische Defekte etc.) sowohl in privaten Haushalten als auch in öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden soll. Bei dem Flammenschutzspray handelt es sich um kein Bauprodukt, da es weder dauerhaft mit dem Bauwerk verbunden ist, noch Teile davon schützt. Das Produkt dient ausschließlich der Verzögerung der Brandentwicklung mobiler, baurechtlich nicht geregelter, durch die Nutzer in Wohn- oder Aufenthaltsräume eingebrachter Brandlasten (Christbäume, Adventsgestecke etc.). Eine brandschutztechnische Klassifizierung in eine Baustoffklasse nach DIN 4102-1 bzw. nach EN 13501-1 ist demzufolge weder möglich, noch erforderlich. Die Einschätzung der brandschutztechnischen Präventivwirkung des Flammenschutzsprays kann daher nur durch einen Vergleich der Brandentwicklung unbehandelter und behandelter weihnachtlicher Dekorationen und der Abschätzung des möglichen brandschutztechnischen Risikopotentials unter besonderen Beachtung der Gefährdung von Personen auf der Grundlage originalmaßstäblicher experimenteller Untersuchungen erfolgen, wobei die Erfassung der möglichen Brandverzögerung vom Entstehungsbrand zum Vollbrand in einem Raum im Mittelpunkt stehen muss.

An der EMPA in St. Gallen wurden erste orientierende Brandversuche an Weihnachtsbäumen durchgeführt, die mit dem Flammenschutzspray geschützt waren. Dem Produkt „Flammenschutzspray BBT-S:A:F 2050 W“ wurde bei lokaler Brandbeanspruchung durch eine brennende Wachs- bzw. Wunderkerze (offene Flamme) in der Brandentstehungsphase eine brandverzögernde, flammenhemmende Wirkung bescheinigt. Weitergehende Aussagen wurden nicht getroffen. In der MFPA Leipzig erfolgten ergänzende und fortführenden Brandversuche, die zum Ziel hatten bei einem Raumbrand mit realer Möblierung die Wirkung des Abbrands eines ungeschützten Weihnachtsbaums insbesondere hinsichtlich der Energiefreisetzung, der entstehenden Temperaturen und der Rauchgaszusammensetzung zu dokumentieren und die gewonnenen Daten mit bereits vorhandenen Ergebnissen von Raumbränden ohne Christbäume zu vergleichen. Ergänzend wurde die generelle Wirkung des Brandschutzsprays bei lokaler Flammenbeanspruchung durch kleine Zündinitiale an verschiedenen Baumarten untersucht.

Ziel dieser Ausarbeitung ist es diese Ergebnisse vergleichend interpretieren, das brandschutztechnische Risikopotential von Weihnachtsbaumbränden abzuschätzen und so die Wirksamkeit des Flammenschutzsprays gutachterlich zu bewerten.

2. Verwendete Unterlagen

- Musterbauordnung (MBO) der Bundesrepublik Deutschland und Kommentar in der Fassung vom November 2002
- DIN 4102-1 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Baustoffe“
- DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1 – 2: Allgemeine Einwirkungen, Brandwirkungen auf Tragwerke
- „Wirkung von Flammenschutzspray „BBT-S:A:F:2050 W“ beim Einsatz auf Christbäumen und Adventskränzen“, Untersuchungsbericht Nr. 128896 der EMPA St. Gallen vom August 1997
- „Scotch pine Christmas tree fire tests“, FR 1041 des NIST vom Dezember 1999“
- „Brandverhalten von Christbäumen und Adventsgestecken mit und ohne Behandlung durch ein Flammenschutzspray „BBT-S:A:F:2050 W“, Untersuchungsbericht UB III / B-04-044 der MFPA Leipzig vom Oktober 2004
- Prüfzeugnis Nr. 01 04 155 des Instituts für Holzforschung München
- „Erarbeitung realer Prüfbedingungen für die Durchführung von Original-Brandprüfungen an B 1-Fassadensystemen und eines Verfahrens zur Berechnung von Brandabläufen an Fassaden“, Kotthoff, I.; Bundesforschungsbericht Bf5-8001 96-18
- „Experimentelle Untersuchungen an Flachgläsern verschiedener Art bei thermischer Belastung im Brandfall“, Kotthoff, I.; 2000 (unveröffentlicht)
- „Untersuchung der Brandausbreitung innerhalb von Gebäuden unter besonderer Beachtung der natürlichen Rauchabführung in Treppenhäusern“, Kotthoff, I.; Wilk, E.; unveröffentlicht
- „Untersuchungen zum Brandverhalten möblierter Räume mit Flammenaustritt auf die Außenwand“, Raumbrandversuche Serie 1 - 4 (84) 2002, Kotthoff, I.; unveröffentlicht

- „Brandversuche zur Ermittlung des Flammenbildes einer eingeschränkt brennenden Flamme“, Kotthoff, I.; Eigenuntersuchungen (unveröffentlicht)
- „Originalbrandversuche zur Darstellung der Brandentwicklung in Räumen und zur Brandbelastung der Fassade“, Kotthoff, I., Wilk, E., Redmer, T., Wagner, S.; MPFA Leipzig / Brandschutz Consult Leipzig (BCL); Polizeipräsidium Dresden / Landeskriminalamt Sachsen
- „Originalbrandversuche zur Klärung des Einflusses der Brandlastdichte auf einen Raumbrand“, Kotthoff, I.; Eigenuntersuchungen (unveröffentlicht)
- „Der Raumbrand und seine Wirkungen“, Rudolph, D.; Dipl.- Arbeit Universität Leipzig / Februar 2004
- „Die Wirkung von Sauerstoffmangel auf Menschen“, Wilk, Lässig etc., Jahrestagung der Gesellschaft für Rechtsmedizin, Heidelberg im September 2004
- „The size of flames from natural fires“, Thomas, 9. Symposium of Combustion
- „Brandrisikobewertung – Berechnungsverfahren“, SIA Dokumentation 81
- „Momentum implications for buoyant diffusion flames“, McCaffrey, B.J.; Combustion and Flame 52 (1983)
- „Aufgabensammlung zur Wärmeübertragung“, Baschkirzew, M. P.; Staatsverlag Berlin; 1979
- SFPE „Handbook of Fire Protection Engineering“
- Rettungshilfegesetz der Bundesrepublik Deutschland
- Produktbeschreibung des Flammenschutzspray „BBT-S:A:F:2050 W“ der BBT Biobrandschutztechnologie
- Erfahrungen aus der Analyse realer Schadensfälle im Zuge von Brandursachenermittlungen

3. Brandentwicklung in Wohnräumen

Die nachfolgend angeführten Aussagen basieren auf den Ergebnissen von 130 Raumbrandversuchen, die in den letzten 15 Jahren in der MFPA Leipzig durchgeführt wurden und ergänzenden Berechnungen auf der Grundlage von Ingenieurmethoden und Brandsimulationen mit Zonen- und Feldmodellen.

Ein Brand in einem Raum entwickelt sich generell in Abhängigkeit von Art und Anordnung der in ihm befindlichen brennbaren Materialien, der „Brandlast“, sowie den gegebenen Ventilationsbedingungen.

3.1. Brandlast

Die Brandbelastung entspricht der Wärmemenge sämtlicher in einem Raum anzurechnender brennbarer Stoffe, bezogen auf die Grundfläche des Raumes. Die Gesamtbrandlast als Summe der immobilen und mobilen Brandlasten ist sehr stark abhängig von Art und Nutzung des jeweiligen Raumes. In der Literatur findet man zu diesem Thema sehr widersprüchliche bzw. veraltete Angaben. Auch bei einer Beschränkung der Betrachtung auf Gebäude normaler Art und Nutzung, also Wohn- und Bürogebäude, schwanken die Werte erheblich. Als Orientierung konnten bisher die vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein angegebenen Durchschnittswerte von ca. 600 MJ/m² für Wohnungen und 800 bis 1000 MJ/m² für Büros gelten. Mit der Einführung des Eurocode EN 1991-1-2 (Tabelle E.4) [16] wurden aktuelle, den heute üblichen Raumausstattungen angepasste Werte veröffentlicht. Die mobile Brandlastdichte für Wohnungen wird mit 780 MJ/m² angegeben und die für Büros mit 420 MJ/m². Zusätzliche, stationäre Brandlasten durch das Bauwerk (Tragelemente, Bekleidungen, Installationen und Beschichtungen) sind zu diesen Werten zu addieren. Eigene Untersuchungen und die praktischen Erfahrungen beim Einrichten der Prüfräume zeigten, dass eine Brandlastdichte von 500 bis 600 MJ/m² als hinreichend hoher Durchschnitts- und Orientierungswert angesehen werden kann.

3.2. Ventilationsbedingungen

Die Ventilationsbedingungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung eines Brandes in einem Raum, da ohne ausreichendes Angebot an Luftsauerstoff eine Verbrennung der Brandlast nicht möglich ist. Im folgenden wird am Beispiel eines einzelnen Raumes bei unterschiedlichen Öffnungsverhältnissen der Einfluss der Ventilationsbedingungen auf den Brandverlauf im Raum diskutiert. Vereinfachend sei angenommen, dass es sich bei dem betrachteten Raum um einen Wohn- oder Büroraum mit einer Grundfläche von ca. 20 m² bei einer Raumhöhe von 3 m handelt, der nur zwei Öffnungen - eine Tür sowie ein Fenster in der Fassade - aufweist. Die Brandlastdichte wird obigem Ansatz folgend mit 500 bis 600 MJ/m² angenommen.

3.3. Brandverlauf in einem Raum

3.3.1. Beide Raumöffnungen (Fenster und Tür) geschlossen

Nach der Zündung verläuft der Brand in der Phase des Entstehungsbrandes zunächst brandlast-gesteuert, d.h., in der Raumluft ist mehr Sauerstoff vorhanden, als für eine stöchiometrische Verbrennung der Brandlast zu diesem Zeitpunkt benötigt wird. Da das Raumluftvolumen und damit das Sauerstoffangebot jedoch begrenzt ist, steht nach kurzer Zeit nicht mehr genügend Sauerstoff für den Verbrennungsprozess zur Verfügung. Unter Sauerstoffmangel verläuft der Brand ventilations-gesteuert. Das Feuer mit offenen Flammen geht in einen Schwel- bzw. Glimmbrand über, der im günstigsten Falle selbständig verlöschen kann.

Im Zuge hausinterner Untersuchungen wurde die Situation eines extrem unterventilierten Brandes in originalmaßstäblichen Raumbrandversuchen mit praxisüblicher Möblierung mehrfach nachgestellt. Die Fensteröffnung und die Raumtür waren geschlossen. Der Brandraum war vollständig möbliert (500 bis 600 MJ/m²). Die Zündung erfolgte an einer Couch mit PUR-Weichschaumdämmung über flächig verschütteten Brandvermittler. Ab der 5. Prüfminute war der Brandraum ab einer Höhe von 0,5 m oberhalb des Fußbodens mit Rauch gefüllt. Bis zur 7. Prüfminute waren durch die Scheiben des Fensters noch intermittierend Flammen wahrnehmbar. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Brandfläche ca. 2 m² und die Flammenhöhen 2 m (Energieabgabe 0,8 bis 1,2 MW). Der Raum füllte sich im Anschluss über seine gesamte Höhe mit Rauch. Die Temperaturmessungen wiesen einen starken Rückgang der Brandintensität aus. In der 25. Prüfminute wurde das Fenster mechanisch zerstört. Nach zunächst starkem Rauchaustritt kam es zur erneuten Entflammung des Mobiliars im Bereich der Zündstelle und der Entstehungsbrand ging nach ca. 5 Minuten in einen Vollbrand mit Flammenaustritt auf die Fassade über.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Temperaturschichtung über die Höhe (in einem Raster von 0,5 m von der Decke) in der Mitte des Brandraums. Bis zur 7. Prüfminute stiegen die Temperaturen kontinuierlich an, erreichten dann ihr Maximum (320 °C) und kühlten danach stetig ab. Deutlich erkennbar ist die, sich über die Zeit verringernde, Temperaturschichtung. Unterhalb der Decke wurden während der Phase des sich entwickelnden Entstehungsbrandes Temperaturen bis zu 320 °C ermittelt. In der „Schwelbrandphase“ sanken die Temperaturen deutlich unter 100 °C.

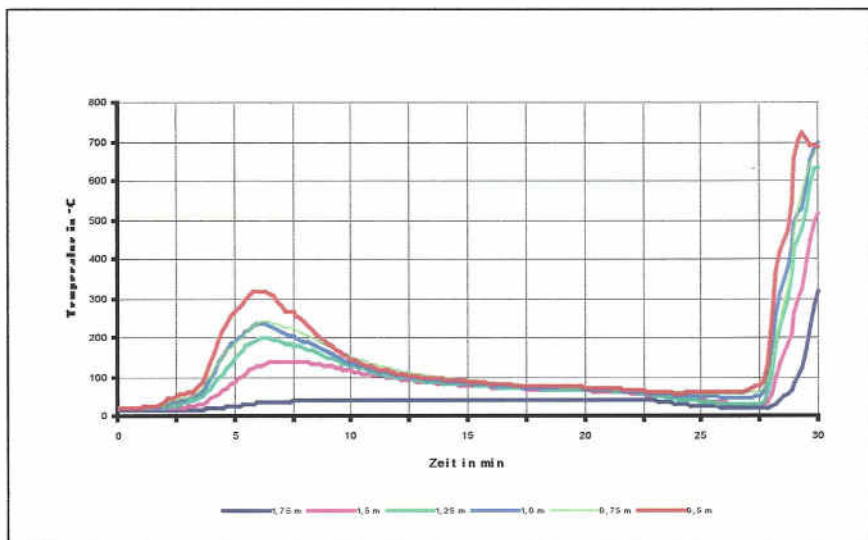


Abbildung 1:
Temperaturen über die
Raumhöhe im Abstand
zur Decke (Raster 0,5 m)

In der 25. Prüfminute
wurde eine Zuluftöffnung
geöffnet.

Die dargestellten Ergebnisse sind für die gezeigte Raumgröße durchaus zu verallgemeinern, wie frühere Untersuchungen bestätigen.

3.3.2. Tür oder Fenster geöffnet

Für die rasche Entwicklung eines Brandes zum Vollbrand sind günstige Bedingungen gegeben. Das geöffnete Fenster oder die Tür dienen sowohl als Öffnung für die von außen nachströmende Frischluft als auch zur Abführung der Brandgase aus dem Raum. Im oberen Bereich der Fensteröffnung strömen heiße Rauchgase aus dem Brandraum aus (Überdruck), und im unteren Bereich fließt Frischluft nach (Unterdruck), zwischen diesen bildet sich die sogenannte neutrale Zone. Beim Übergang zum Vollbrand und in der Vollbrandphase verläuft der Brand ventilationsgesteuert. Die folgenden Bilder verdeutlichen an einem Beispiel die Brandentwicklung in einem Raum vom Ent-

stehungsbrand über den entwickelten Brand bis zur Durchzündung (flash-over) und dem Übergang in den Vollbrand für einen Brandraum mit einer Grundfläche von ca. 20 m² (Höhe 2,8 m), einer 2 m breiten und 1,4 m hohen Fensteröffnung bei einer praxisgerechten Wohnraummöblierung mit einer Brandlastdichte von ca. 600 MJ/m².

Entstehungsbrand



**Abbildung 2:
Entstehungsbrand**

- örtlich begrenzt Brandfläche maximal 1 m²
- Temperaturen unter Decke kleiner als 200°C
- beginnende Rauchschiichtung, kein Rauchaustritt vor die Fassade
- Energieabgabe < 0,5 MW

Entwickelter Brand



**Abbildung 3:
Entwickelter Brand**

- räumliche Ausdehnung > 1 < 4 m²
- Flammen unter der Decke lokal über der Zündstelle 500°C
- Heißgasschicht 200 – 350°C
- Rauchaustritt auf die Fassade Temperaturen < 300 °C
- Energieabgabe 0,8 bis 1,5 MW

• „flash-over“ (Durchzündung)



**Abbildung 4:
„flash-over“ (Durchzündung)**

- rasche Vergrößerung der Brandfläche
- Heißgasschicht unter der Decke (500 – 600 °C)
- Pyrolyse aller Möbeloberflächen durch Wärmestrahlung
- Gasexplosion mit spontaner Volumenvergrößerung
- Energieabgabe 2 bis 3 MW

• Vollbrand

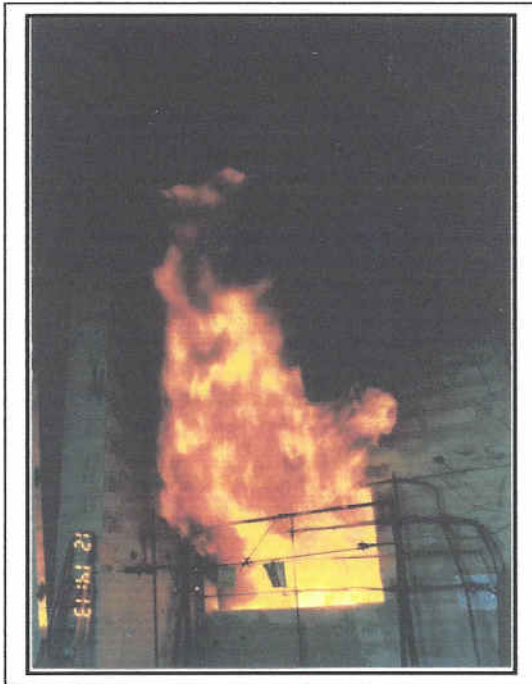


Abbildung 5: Vollbrand

- **der Raum ist vollständig mit Flammen erfüllt**
- Temperaturen im gesamten Raum über die Höhe zwischen 600 und 1000°C
- flächige Beanspruchung der raumbegrenzenden Bauteile
- Flammenaustritt auf die Fassade oder in den angrenzenden Flur
- „Abfackeln“ unverbrannter Pyrolysegase nach Durchmischung mit Frischluft („Gasbrenner“)
- Energieabgabe:
 - ~ im Raum: 4 – 6 MW
 - ~ außerhalb des Raums: 1 – 2 MW

3.4. Ausgewählte Messergebnisse

• Temperaturen unterhalb der Brandraumdecke im Vergleich zur ETK nach DIN 4102-2

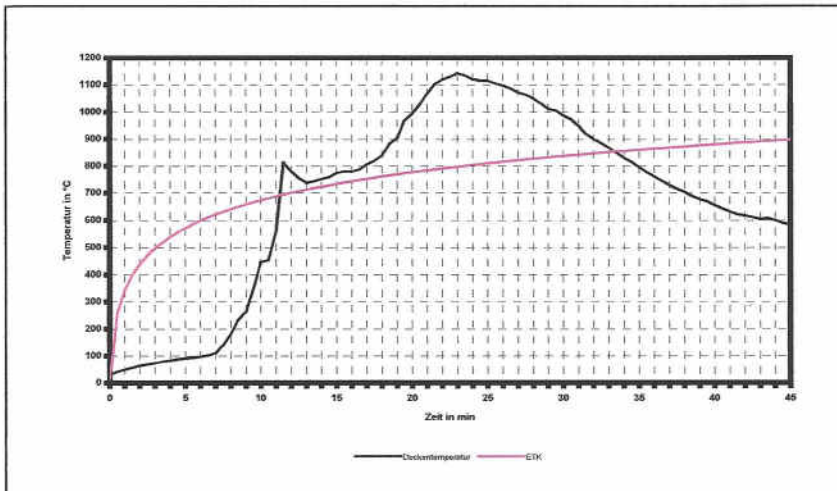


Abbildung 6:

Temperatur-Zeit-Verlauf der Temperaturen unterhalb der Brandraumdecke

Erst mit der Durchzündung des Brandraums in der 10. – 11- Minute steigen die Temperaturen über Werte von 500 °C an.

• Temperaturen über die Höhe des Brandraums

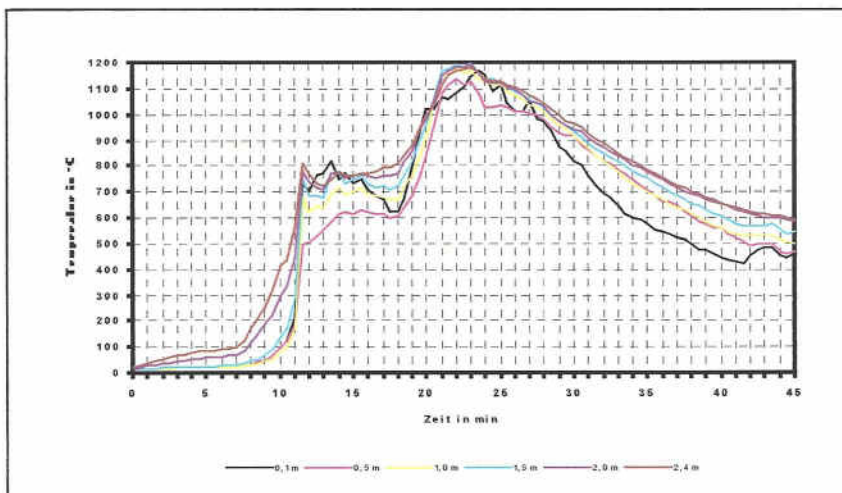


Abbildung 7:

Temperatur-Zeit-Verläufe der Temperaturen über die Raumhöhe in 0,5 m Raster

Erst in der 11. Prüfminute – kurz vor dem flash-over – erreichten die Temperaturen unterhalb von 1,5 m Höhe Werte von mehr als 200 °C.

- Gaskonzentrationen in einer Höhe von 1,5 m im Brandraum

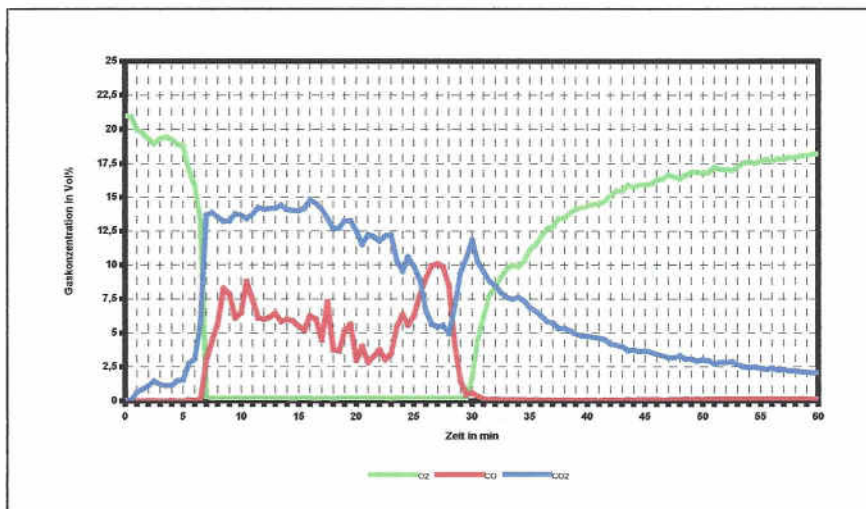


Abbildung 8:
Zeitliche Veränderung
verschiedener Gas-
konzentrationen in der
Raumluft

Erst ab der ca. 7. Prüfminute
kommt es zu einer signi-
fikanten Änderung der Gas-
konzentrationen.

- Energiefreisetzung

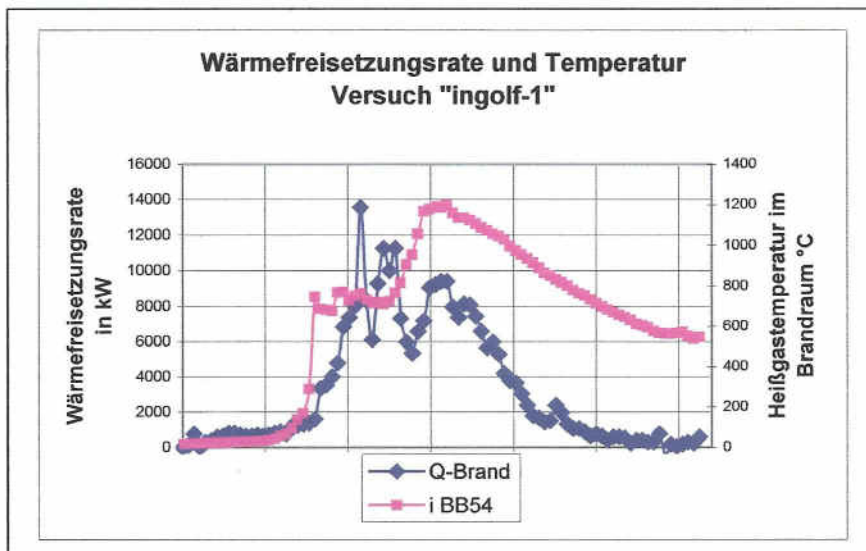


Abbildung 9:
Zeitliche Veränderung
Wärmeenergiefreisetzung

Die durchschnittliche,
repräsentative
Energiefreisetzung eines
brennenden Wohnraums wird
mit 4 bis 6 MW angesetzt.

3.5. Wirkung auf den Menschen

Die Komplexität der Einflussgrößen eines Brandes auf Menschen kann im Rahmen dieser Ausarbeitung nur in verkürzter Form aufgezeigt werden. Die Todesursachen sind bei Brandopfern in der Regel CO- oder HCN-Intoxikationen bzw. kombinierte Vergiftungen bei Rauchgaseinatmungen. Es handelt sich dabei in ca. 80 % der Fälle um Wohnungsbrände mit entsprechender Mischbrandlast. Die in Wohnungen sehr verbreiteten Kunststoffe führen dabei zu hohen HCN-Konzentrationen und die Holzwerkstoffe zu entsprechend starker CO-Anreicherung. Neben den Intoxikationen werden als Todesursache teilweise Inhalationstraumen mit einhergehendem Schock (IHS) beobachtet. Die wesentlichen Parameter bei einem Raumbrand sind:

- Thermische Wirkung:

- Konvektion (Heißgase)

Das Einatmen heißer Rauchgase mit Temperaturen $>180^{\circ}\text{C}$ führt zu reflektorischen Verkrampfungen der Atmungswege und zum Tod (Inhalationsschlag IHS). Unterhalb von 120°C kommt es zu einer Erhöhung der Körpertemperatur, oberhalb von 120°C zu Hautschmerzen. Kurzzeitig sind Gastemperaturen von maximal $80 - 100^{\circ}\text{C}$ ertragbar. Brennbarer Bekleidung kann durch Heißgase mit Temperaturen von mehr als 400° entflammen.

- Wärmestrahlung:

Die Toleranzschwelle für die ungeschützte menschliche Haut liegt bei ca. 25 kW/m^2 , darüber ist die Strahlung nur wenige Sekunden (2 – 4 sec) ertragbar, darunter einige Minuten. Die Möglichkeit der Entflammung brennbarer Bekleidung bei längerer Einwirkungsdauer besteht.

- **Wirkung von Rauchgasen**

- Sauerstoffmangel

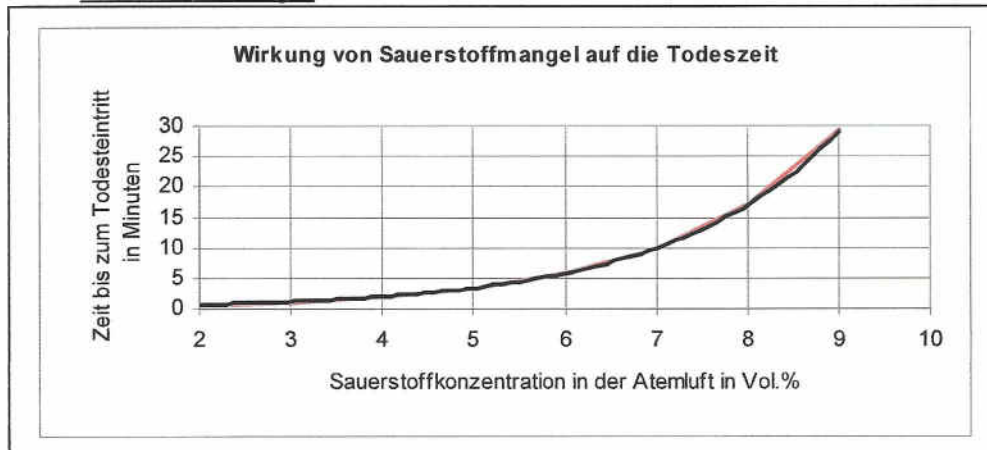


Abbildung 10:
Abhängig der
Todeszeit von der
Sauerstoff-
konzentration

Ein Sauerstoffmangel in der Atemluft führt bei 10 – 12 Vol% zur Handlungsunfähigkeit und Bewusstseinsstrübung und bei Konzentrationen von 10 – 8 Vol% zur Bewusstlosigkeit und zum Tod.

- Kohlenmonoxiderhöhung

Kurzzeitig ist eine Konzentration von 0,1 Vol% in der Atemluft ertragbar, länger 0,07 Vol%. Die lethale Konzentration ist mit **0,4 Vol%** angesetzt.

- Kohlendioxidkonzentration

Bei einer Konzentration von 3 - 6 Vol% treten Atembeschwerden auf, 6 - 7 Vol% führen zu starker Atemnot und Schwindel. Bei 7 - 10 Vol% setzt Bewusstlosigkeit mit Übergang zum Tod ein.

- Weitere kritische Gase

Hier ist insbesondere HCN zu nennen, das beim Verbrennen von PUR oder Bettfedern aber auch bei Tannennadeln freigesetzt wird.

- Sichtbehinderung

Die Schwebeteilchen des Rauchs können zu einer starken Sichtbehinderung führen.

Verallgemeinernd ist bei Wohnraumbränden von folgender Temperaturbeanspruchung und Gaskonzentration auszugehen.

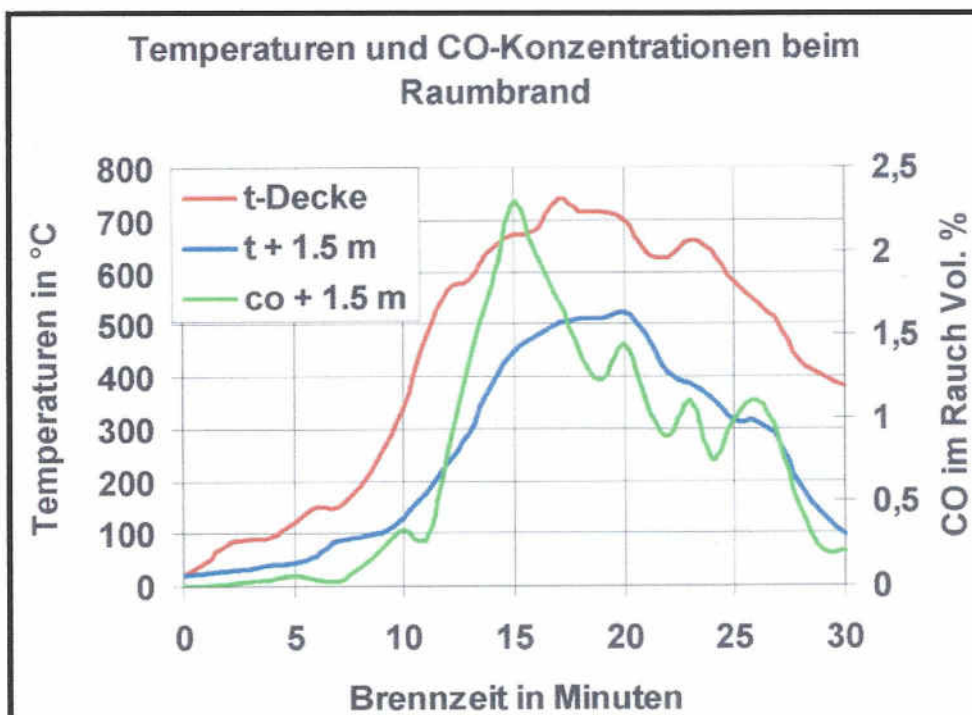


Abbildung 11:
Verallgemeinernde
Darstellung wesentlicher
Einflussgrößen auf den
Menschen bei einem
Wohnraumbaubrand

Die Handlungsunfähigkeit eines gesunden Menschen tritt nach ca. 12 Minuten ein, mit dem Todeintritt ist nach ca. 18 Minuten zu rechnen. Diese Zeiten gehen von einer durchschnittlichen Brandentwicklung mit einem Übergang in den Vollbrand nach ca. 12 Minuten aus.

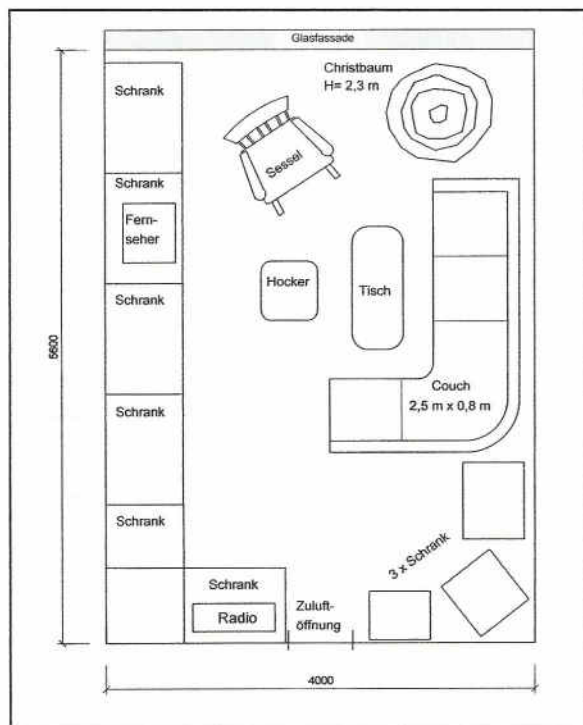
4. Brandverhalten von Weihnachtsbäumen und Adventsgestecken

Aus eigenen Brandursachenermittlungen und der Literatur ist die immense Gefährlichkeit von Bränden von Christbäumen in der Weihnachtszeit bekannt. Die bereits in der Regel ca. 4 Wochen vor Weihnachten geschlagenen Bäume trocknen unter Raumtemperaturen um die 22 °C insbesondere an den Nadeln sehr rasch aus. Bei Kontakt mit einer offenen Flamme (Kerzen bzw. sogenannte „Wunderkerzen“) oder aber auch Defekte einer elektrischen Beleuchtung führen zur sofortigen Entflammung und einem explosionsartigem Abbrand, der innerhalb weniger Sekunden zu einer hohen Temperaturentwicklung im Raum führt. Bei schlafenden Menschen oder aber auch bei ungünstiger Positionierung des Christbaums in der Nähe des Rettungsweges (Tür) kommt oft jede Rettung zu spät. Im Folgenden soll am Beispiel eines in der MFPA Leipzig durchgeführten Versuchs dieses Brandverhalten aufgezeigt werden.

4.1. Brandverlauf

• Brandlastverteilung

Ein ca. 20 m² großer Brandraum wurde mit Sperrmüllmöbeln eingerichtet. Die Brandlastdichte im Raum betrug ca. 700 MJ/m².



Abbildungen 12 und 13:
Brandlastverteilung im Versuchsraum



Abbildung 14:
Ansicht des Prüfraums von außen

Die Vorderfront des Brandraums war vollflächig mit einer Glasfassade versehen (Aluminium-Rahmenwerk mit einer Verglasung aus VSG (2 x 4 mm Floatglas) in den beiden linken Segmenten und im rechten Segment mit einem 3 mm {oberes Segment, Höhe 1,2 m} bzw. 8 mm {unteres Segment} dicken Floatglas. Die Arretierung des ca. 650 kg schweren Fassadenelements erfolgte an der darüber liegenden Geschossdecke und durch je zwei Dübel an den Längsseiten.

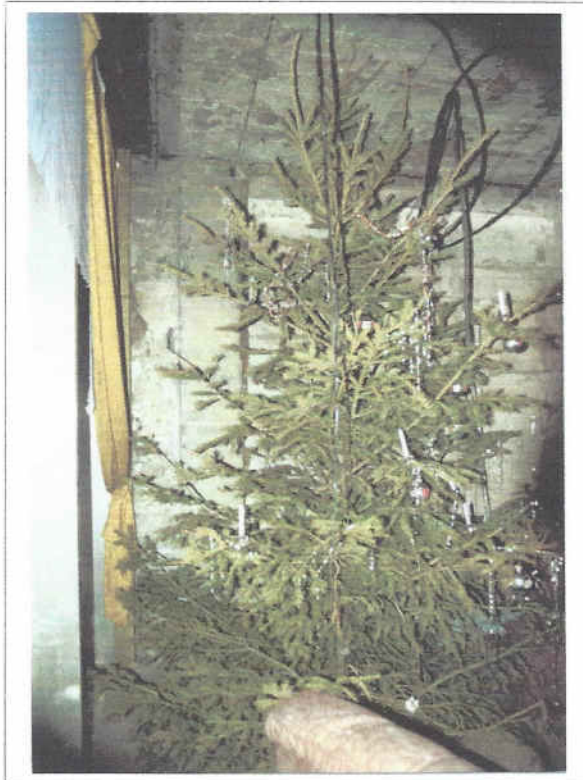
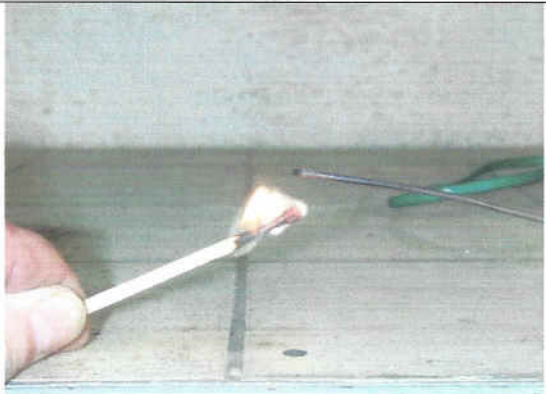
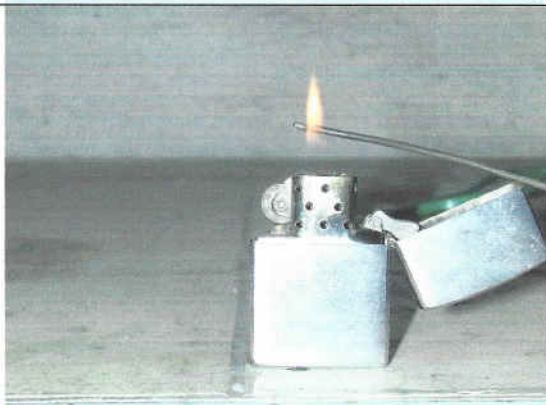


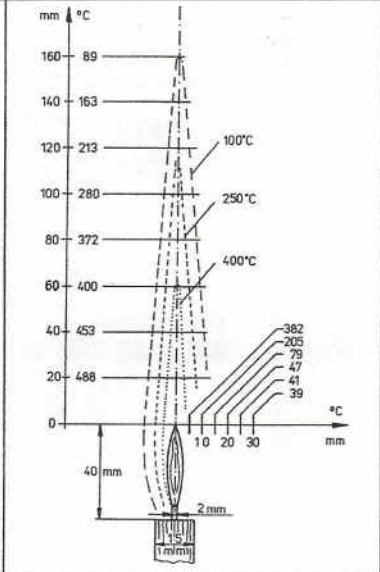
Abbildung 15: Christbaum

Als Weihnachtsbaum wurde eine hinreichend - über 4 Wochen - getrocknete (Strunkfeuchte am Prüftag 41 %, kleine Äste problemlos brechbar, Nadel bei starker Bewegung abfallend) Fichte (Rottanne, *Picea Abies*) von einem Gewicht von ca. 7 kg bei einer Höhe von ca. 2,3 m verwendet, die in einem Abstand von 0,5 m vor der Verglasung platziert wurde.

• Zündinitiale

Prinzipiell ist die Entzündung eines Weihnachtsbaums in einem Wohnraum oder einem Aufenthaltsraum durch folgende Zündquellen denkbar.

Zündquelle	Brennzeit [t]	Flammen-temp. und -höhe	Energie [Q]	Ansicht
Zündholz	10 s	650°C 2 cm	150 W	
Feuerzeug	180 – 600 s	800 – 850 °C max. 5 cm	70 – 280 W	

Wachskerze	je nach Länge 300 – 3600 s	640 – 900 °C max. 4 cm	200 W	
sogenannte „Wunderkerze“	30 – 50 s	700 – 980 °C	390 W	
Flamme einer Spray-Dose als „Flammenwerfer“	120 – 180 s	850 °C 1 m	1500 W	
Fackel aus Textilien und Paraffin	3600 s	630 °C 0,3 m	300 W	

Brandflasche „Molotow- cocktail“ Fassungsvermögen 0,5 l (die Zusammensetzung wird aus Sicherheitsgründen nicht bekanntgegeben)	70 – 90 sec	700 °C bis 2 m	240 kW	
--	-------------	-----------------------	--------	--

Die am häufigsten auftretende Zündquelle für weihnachtliche Dekorationen durch Christbäume und Adventsgestecke stellen in der Praxis zweifelsohne Wachskerzen dar. Die Gefährdung kann dabei durch einen zu geringen Abstand der Flamme der „neuen“ Kerze zu den Nadeln oder durch einen sich verkürzenden Abstand bei „abbrennender“ Kerze entstehen. Auch durch elektrische Defekte an einer entsprechenden Weihnachtsbaumbeleuchtung kann es bei ungünstiger Lage der Zündstelle zu einer Entflammung der Nadeln kommen. Zur Vermeidung einer Gefährdung des Versuchspersonals erfolgte im vorliegenden Fall eine Fremdzündung einer Alkoholwanne mit einer Oberfläche von ca. 100 cm² am Fuße des Weihnachtsbaums.

• Versuchsverlauf

Prüfzeit	Beobachtungen
0 (14:53:05)	Versuchsbeginn - Entzündung der Zündquelle am Fuße des Christbaums über elektrische Zündung (Fenster und Tür geschlossen)
1. 14:53:20	Durchzündung am Baum mit hohem Überdruck im Raum, der Prüfraum ist im oberen Drittel flächig mit Flammen gefüllt, nach einer Prüfzeit von ca. 25 s wird durch den hohen Druck der Rahmen der Verglasung aus der Verankerung gerissen und um ca. 0,3 m nach außen gedrückt, die rechte obere Scheibe der Verglasung (3 mm Float) im rechten Segment wird durch den Überdruck zerstört, Rissbildung im unteren Segment (8 mm Float)
1. (14:53:36)	der Rauchmelder unter der Decke löst aus, infolge des immer noch vorhandenen Sauerstoffmangels ist der Brand stark unterventiliert
1. (14:53:50)	die rückwärtige Tür wird auf einem Querschnitt von 0,2 m ² teilweise geöffnet (Simulation der Deformation des Türblatts durch Überdruck), um das Sauerstoffangebot zu verbessern
2. (14:54:16)	erneute Zunahme der Brandintensität, fortschreitender Abbrand des Christbaumes, Entflammung benachbarter Möbel, Ausbreitung im Raum
3. - 6.	weiterhin Zunahme der Brandintensität, weitere Scheiben bersten
7.	Vollbrand im Raum - flash over - Flammenaustritt vor die Fassade
8. - 11.	die Verglasung ist nahezu vollständig zerstört, unverminderte Brandintensität
12. - 18.	gleichmäßiger Abbrand der Brandlast mit mittleren Flammenhöhen von 2 – 3 m vor der Fassade
19.	kein Flammenaustritt aus dem Brandraum mehr
20. - 39.	Reste der Brandlast verbrennen im Raum
40.	Versuchsende keine Branderscheinungen am Prüfaufbau mehr



Abbildung 16: 15. sec
Durchzündung des Baums

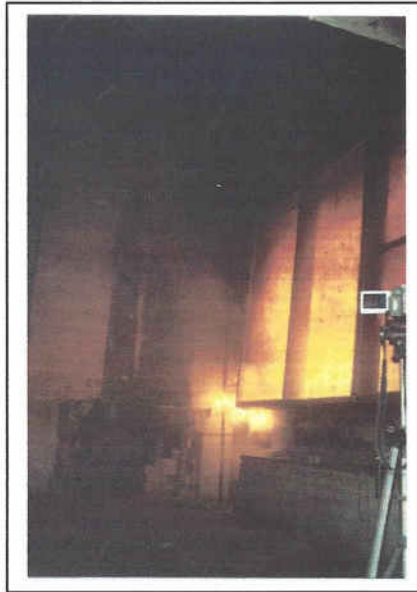


Abbildung 17: 25 sec
Fassade vorgedrückt

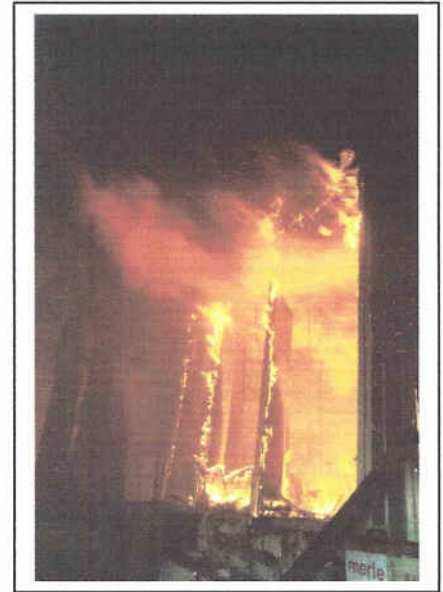


Abbildung 18: 11. min:
Vollbrand im Raum

4.2. Messergebnisse

Im Folgenden werden im Rahmen dieser Ausarbeitung nur ausgewählte Messergebnisse dargestellt, die im unmittelbaren Zusammenhang mit der Gefährdung von Menschen innerhalb des Brandraums stehen oder zur Abschätzung des allgemeinen Risikopotentials dienen, eine ausführliche Darstellung erfolgt im Untersuchungsbericht UB III / B-04-044 der MFPA Leipzig vom Oktober 2004.

• Temperaturen unterhalb der Brandraumdecke im Vergleich zur ETK nach DIN 4102-2

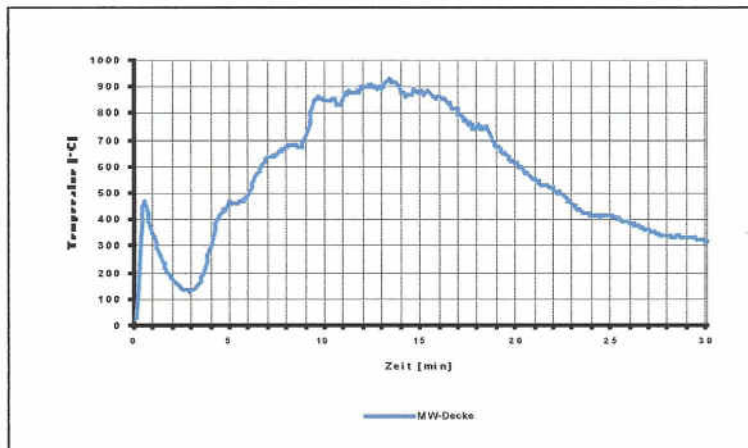


Abbildung 19:

Temperatur-Zeit-Verlauf der Messpunkte
250 mm unterhalb der Brandraumdecke

Der Mittelwert der gleichmäßig über die Deckenfläche verteilten Messpunkte erreichte nach 35 Sekunden ein Maximum von 450 °C, der höchste Einzelwert unmittelbar an der Rückwand (ca. 4,3 m vom Christbaum entfernt) erreichte nach 30 Sekunden ein Maximum von 667 °C, d.h. die gesamte Decke war mindestens in dieser Dicke (0,25 m) mit Flammen bedeckt.

• Temperaturen über die Höhe des Brandraums in der Raummitte (ca. 2 m vom Christbaum)

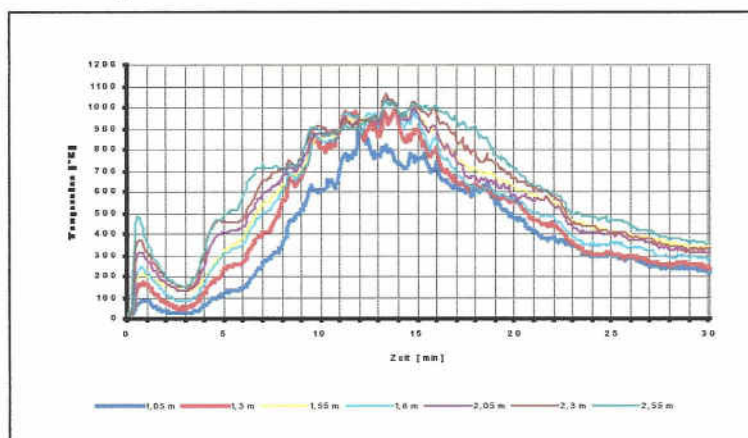


Abbildung 20:

Temperatur-Zeit-Verläufe der Messpunkte
Temperaturen über die Raumhöhe in
0,25 m Raster in der Raummitte ca. 2 m
vom Christbaum entfernt

Die Temperaturmaxima wurden in der 45. Sekunde ermittelt. In einer Höhe von 1,55 m vom Brandraumboden erreichten die Temperaturen noch Werte von 211 °C.

- Temperaturen unmittelbar neben dem Stamm des Christbaums über die Höhe

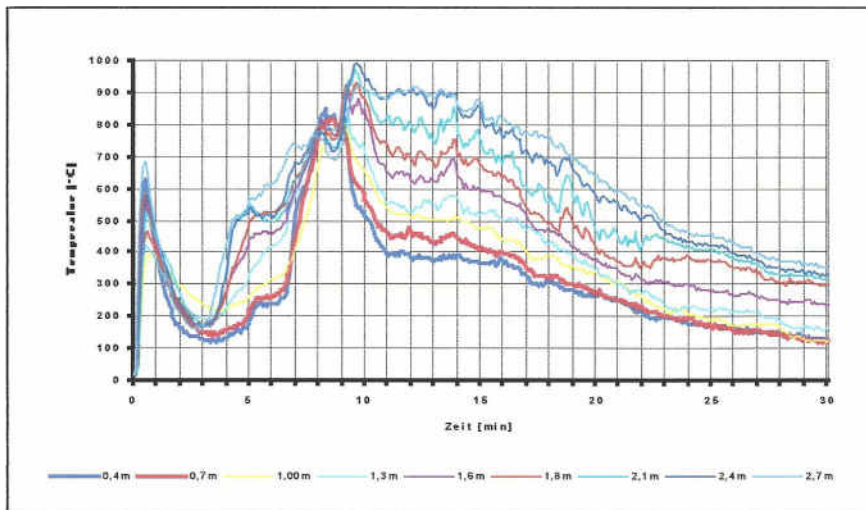


Abbildung 21:

Temperatur-Zeit-Verläufe der Messpunkte über die Raumhöhe in einem Raster von 0,3 m in der Raummitte ca. 2 m vom Christbaum entfernt

Die Temperaturmaxima wurden in der 45. Sekunde ermittelt. In einer Höhe von 1,6 m erreichten die Temperaturen Maximalwerte von Werte von 500 °C, die höchsten Temperaturen betrugen 688 °C.

- Gaskonzentrationen in einer Höhe von 1,5 m im Brandraum

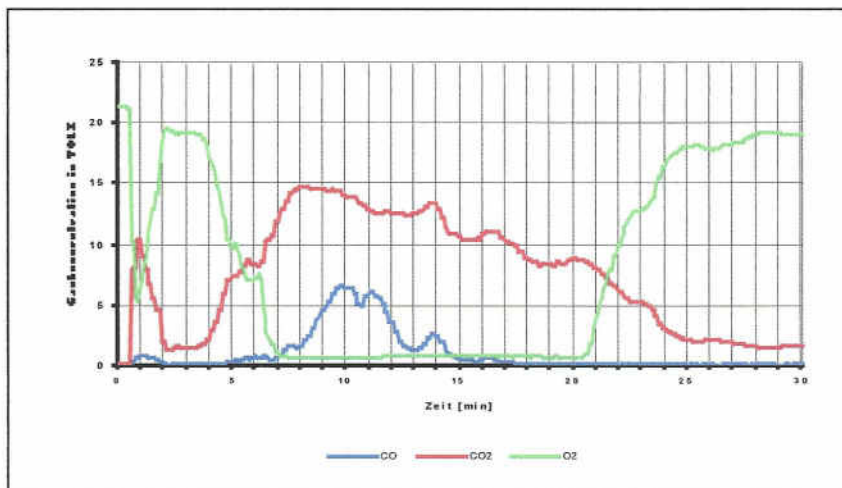


Abbildung 22:

Zeitliche Veränderung verschiedener Gaskonzentrationen in der Raumluft in einer Höhe von 1,5 m

Bereits nach 35 Sekunden änderten sich die Gaskonzentrationen deutlich.

In der 50. Sekunde wurde eine minimale Sauerstoffkonzentration von 5,3 Vol%, eine maximale Kohlendioxidkonzentration von 10,4 Vol% und eine Kohlenmonoxidkonzentration von 0,9 Vol% ermittelt.

- Druckerhöhung im Brandraum in 0,8 m Höhe innerhalb von 90 Sekunden

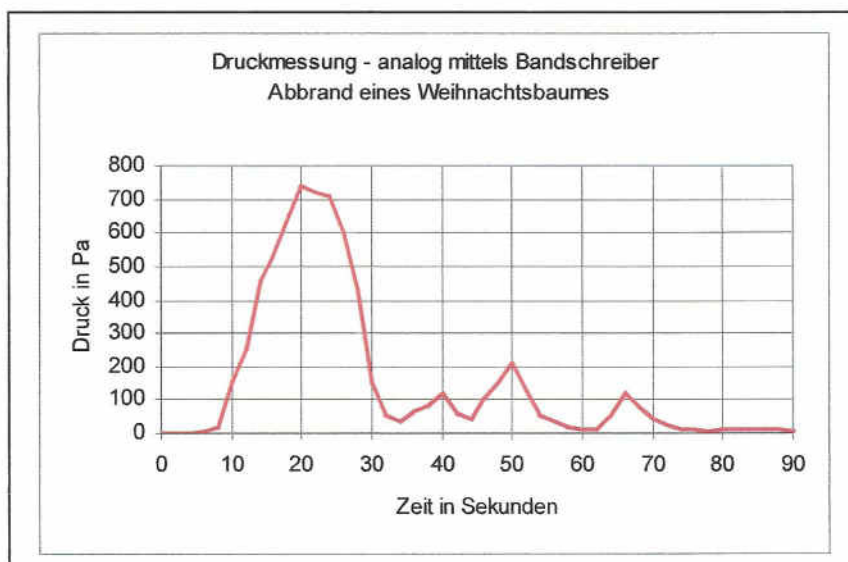


Abbildung 23:

Druckerhöhung im Brandraum

Der immense Druck (üblicher Brandraumdruck in der Vollbrandphase ca. 10 –25 Pa) von maximal **740 Pa** führte bereits nach 20 Sekunden einem „Herausdrücken“ bzw. „Herausreißen“ der 650 kg schweren Glasfasse aus ihren Verankerungen und zur Zerstörung der Floatverglasung und erst danach zu einer langsamen Druckentlastung bis zur 90. Sekunde.

• Energiefreisetzung im Brandraum

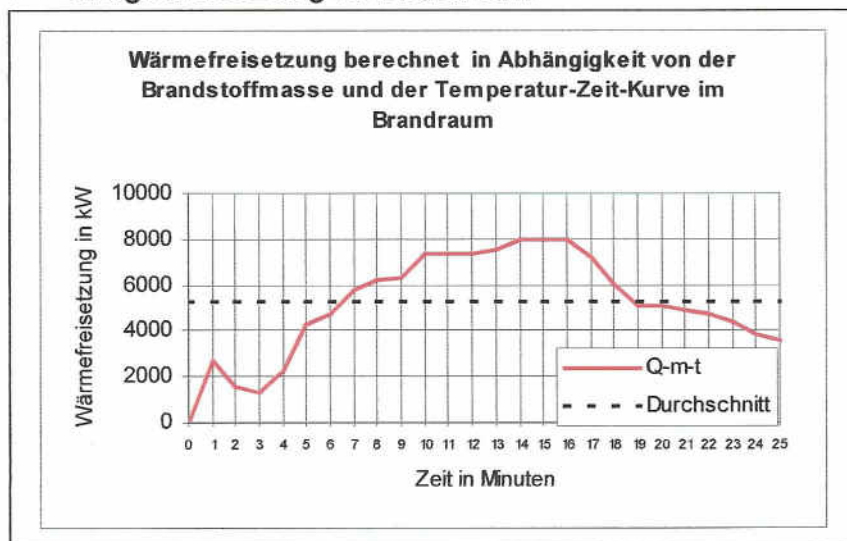


Abbildung 24:
Wärmefreisetzung im Brandraum

Die Energiefreisetzung innerhalb der 1. Prüfminute erreichte einen Spitzenwert von 2,7 MW und damit ca. die Hälfte der Wärmeabgabe eines vollentwickelten Raumbrands. Derartige Werte erscheinen bei einer ersten Betrachtung nicht realistisch zu sein, finden in der Literatur jedoch ihre Bestätigung.

Experimentelle Untersuchungen an schottischen Kiefern in einer amerikanischen Studie die durch das NIST durchgeführt wurde ergaben Energieabgaben von 2 bis 4 MW nach 40 – 60 Sekunden. Die im Raumbrand in der MFPA Leipzig ermittelten Werte können somit als gesichert angenommen werden. Die Strahlungsintensität in einem Abstand zur Zündquelle von 2 m betrug 15 – 30 kW/m².

5. Vergleich der Brandentwicklung bei einem „herkömmlichen“ Wohnraumbrand und einem mit einer Zündung durch einen Christbaum

Im Folgenden soll die Brandentwicklung und die daraus resultierende Wirkung auf den Menschen zwischen einem „herkömmlichen“ Wohnraum- oder Bürobrand in einem ca. 20 m² großen Raum mit der eines durch einen Christbaum gezündeten verglichen werden. Die folgenden Gegenüberstellungen können selbstverständlich nicht alle möglichen Brandszenarien bei Raumbränden berücksichtigen, sondern dienen lediglich der Verdeutlichung der Unterschiede zwischen beiden Brandverläufen auf der Grundlage eigener experimenteller Untersuchungen.

• Brandentwicklung

Beeinflussende Größe	„herkömmlicher“ Raumbrand	Christbaumbrand
Entstehungsbrandphase - Temperaturen unterhalb von 200 °C - Energieabgabe < 0,5 MW	in der Regel bis zur 5. bis 7. Minute	kleiner als 10 Sekunden
„entwickelter Brand“ - Flammen unter der Decke lokal über der Zündstelle 500°C - Heißgasschicht 200 – 350°C - Energieabgabe 0,8 bis 1,5 MW - Übergang zum Schwelbrand <u>oder</u> zum Vollbrand	in der Regel nach 5 – 7 Minuten nur bei hinreichenden Raumöffnungen (Tür oder Fenster) Übergang zum Vollbrand, ansonsten Übergang in einen Schwelbrand	bereits nach 60 Sekunden geringe Wahrscheinlichkeit des Übergangs in einen Schwelbrand, da durch den extrem hohen Druck mit hoher Sicherheit Verglasungen zerstört oder herausgedrückt werden.
Vollbrand im Raum - Temperaturen im gesamten Raum über die Höhe zwischen 600 und 1000°C - flächige Beanspruchung der raumbegrenzenden Bauteile - Flammenaustritt auf die Fassade oder in den angrenzenden Flur - Energieabgabe: ~ im Raum: 4 – 6 MW ~ außerhalb des Raums: 1 – 2 MW	in der Regel nach 12 Minuten	nach 7 Minuten

• **Wirkung auf den Menschen**

Beeinflussende Größe	„herkömmlicher“ Raumbrand	Christbaumbrand
Inhalationshitzeschock	möglich im gesamten Raum ab der 11. Minute	möglich im gesamten Raum nach 45 Sekunden
Wärmestrahlung	keine Gefährdung bei einem Abstand von mehr als 2 m von der Brandstelle bis zur 10. Minute	keine Gefährdung bei einem Abstand von mehr als 2 m von der Brandstelle bis zur 6. Minute
Gaskonzentrationen		
Sauerstoffgehalt:	keine Gefährdung bis zur 7., durchschnittlich 12. Minute, danach mit Sicherheit Handlungsunfähigkeit	keine Gefährdung bis 50. – 60. Sekunde, danach mit Sicherheit Handlungsunfähigkeit oder zumindest -beeinträchtigung
Kohlendioxid		
Kohlenmonoxid		
Fazit:	Handlungsunfähigkeit nach 7, durchschnittlich 12 Minuten Todeseintritt nach ca. 18 Minuten	starke Handlungsbeeinträchtigung bis zur Handlungsunfähigkeit nach spätestens einer Minute Todeseintritt nach ca. 8 Minuten

Durch den Vergleich wird deutlich, welche immense Gefährdung für Menschen vom Abbrand eines trockenen, ungeschützten Weihnachtsbaums innerhalb von Gebäuden ausgeht. Bedingt durch die explosionsartige Durchzündung haben gesunde Menschen nur dann eine Chance, den Brandraum lebend zu verlassen, wenn der Weihnachtsbaum nicht den Fluchtweg (nicht in der Nähe der Tür platziert) versperrt. Die Selbstrettung von Kindern und älteren oder pflegebedürftigen bzw. kranken Menschen ist in jedem Fall zweifelhaft, wenn nicht gar unmöglich. Die Gefährdung gegenüber einem „herkömmlichen“ Raumbrand potenziert sich.

6. Wirkung des Brandschutzsprays

Der Schutz von Christbäumen, aber auch Adventskränzen und sonstigen weihnachtlichen Dekorationen unter Verwendung von Nadelholzszweigen oder ganzen Bäumen gegen Brandeinwirkung ist in jedem Fall aus brandschutztechnischer Sicht empfehlenswert. Die Firma BBT Bio-Brandschutztechnologie vertreibt ein Flammenschutzspray „Anti-flame“ Spezifikation „BBT.S:A:F 2050 W“, das dem Schutz derartiger Dekorationen gegen Wirkung durch kleine Zündquellen dienen soll. Gleichzeitig ist das Mittel laut Prüfzeugnis der Nr. 01 4 155 des Instituts für Holzforschung München bereits zur Behandlung von saugfähigen ungestrichenen Papieren sowie saugfähigen Textilien aus 100 % Zellulosefasern (ohne Jute) als Brandschutzmittel geeignet und erfüllt in der geprüften Anordnung (bis zum Abtropfen genässt) die Anforderungen für die Ausrüstung der genannten saugfähigen Trägerbahnen als schwerentflammbare Dekorationsartikel (Baustoffklasse B1 nach DIN 4102-1).

In der EMPA in St. Gallen wurden Brandversuche an vorgetrockneten Weihnachtsbäumen und Adventsgestecken aus Rot- und Weißtannen durchgeführt, die vorher mit dem Flammenschutzspray behandelt wurden. Als Zündinitiale kamen kleine, typische Brandquellen, wie z.B. brennende Wachs- bzw. Wunderkerzen (offene Flamme) zum Einsatz. Bei Brandbeanspruchung durch diese Zündinitiale kam es zwar zum lokalen Mitbrennen über eine Dauer von 30 – 50 Sekunden, jedoch in jedem Fall zu einem selbständigen Verlöschen. Die EMPA bescheinigte dem Produkt demzufolge eine positive Wirkung auf die Flammenausbreitung mit vorbeugendem Flammenschutz, das jedoch prinzipiell die Risiken eines Vollbrandes nicht ausschließen kann.

In der MFPA Leipzig wurde ein Teil der Versuche wiederholt bzw. ergänzt. In jedem Fall wurde das, nach Aussagen des Herstellers giftfreie, flüssige Flammenschutzmittel auf der Basis organischer und anorganischer Salze aus einem Abstand von ca. 15 – 20 cm auf die vorgetrockneten Christbäume bzw. Adventsgestecke aus einer Sprayflasche vollflächig aufgesprüht. Für einen ca. 2 m hohen Christbaum wurde dabei eine 0,5 l fassende Sprayflasche verbraucht. Als Versuchsmaterial dienten Fichten (Rottanne, *Picea Abies*) und Weißtannen (*Abies Alba*), die in einem Klimaraum vier Wochen vorgetrocknet wurden. Untersucht wurden je ein Christbaum (Höhe ca. 2 – 2,5 m, Gewicht ca. 6 kg nach Lagerung). Die Strunkfeuchte betrug zum Prüfzeitpunkt ca. 40 %, die Äste waren leicht brechbar und die Nadeln begannen auszufallen.

Die folgenden Abbildungen des Brandverhaltens - der in Deutschland häufiger verwendeten Fichte - dienen der Verdeutlichung der Unterschiede des Brandverhaltens behandelter und unbehandelter Bäume.

- **Christbäume**

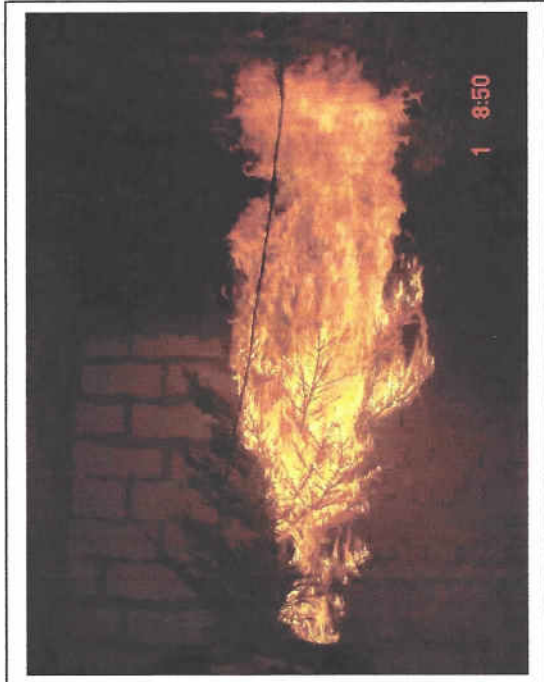


Abbildung 25: unbehandelte Fichte (30 s)

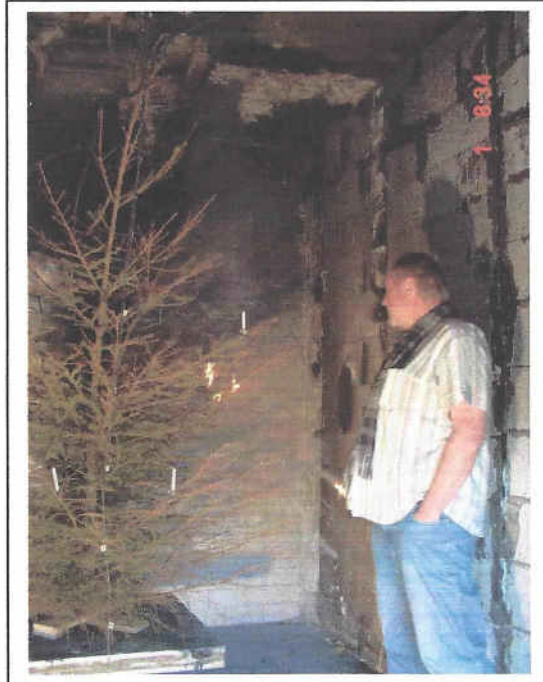


Abbildung 26: Zündversuche mit einem Zündlicht

- **Adventsgestecke**



Abbildung 27: unbehandelte Fichte (10 s)



Abbildung 28: behandelte Fichte (10 s)



Abbildung 29: vollständig verbrannt



Abbildung 30: nur partielle Schädigung

Insgesamt wurde je ein Brandversuch an einem behandelten bzw. unbehandelten Christbaum und Adventsgesteck aus Fichte und Weißtanne durchgeführt.

Versuchsergebnisse

- Die ungeschützten Christbäume und Adventsgestecke, sowohl aus Fichte als auch aus Weißtanne, brannten bei Kontakt mit einer offenen Flamme sofort intensiv bis zum Verzehr alles Brandguts.
- Die mit dem Flammenschutzspray geschützten Christbäume und Adventsgestecke brannten nur geringfügig über den Einwirkungsbereich der Flammen der Zündquelle (Zündlicht mit einer Brenndauer von einer Minute, Flammentemperatur > 900 °C, Flammenlänge ca. 50 mm, Wärmeabgabe ca. 500 W) hinaus und verlöschten nach einer Prüfzeit von ca. 15 Sekunden selbständig.

7. Gutachterliche Wertung

Der Vergleich der Brandverläufe eines „herkömmlichen“ Raumbrands und eines durch den Abbrand eines Christbaums initiierten verdeutlicht welche immense Gefährdung für Menschen vom Abbrand eines trockenen, ungeschützten Weihnachtsbaums ausgeht, wie bedauerlicherweise auch die Anzahl der Todesfälle und im günstigen Fall der erheblichen Sachschäden ausweist. Bedingt durch die explosionsartige Durchzündung haben gesunde Menschen nur dann eine Chance den Brandraum lebend zu verlassen wenn der Weihnachtsbaum nicht den Fluchtweg (nicht in der Nähe der Tür) versperrt. Die Selbstrettung von Kindern und älteren oder pflegebedürftigen Menschen ist in jedem Fall zweifelhaft, wenn nicht gar unmöglich. Die gerade in der Brandentstehungsphase dringend zur Selbstrettung benötigte Zeit wird auf unter eine Minute verkürzt, gegenüber der sonst durchschnittlich anzusetzenden Zeit von 5 bis 7 Minuten. Gleichzeitig kann es durch den auftretenden extrem hohen Druck zur Zerstörung bis dahin geschlossener verglaster Flächen (Fenster, Fassaden) und damit zu einer weiteren Brandintensivierung kommen. Die Gefährdung gegenüber einem „herkömmlichen“ Raumbrand potenziert sich.

Die Verwendung des geprüften Flammenschutzsprays „Anti-flame“ Spezifikation „BBT.S:A:F 2050 W“ der Firma BBT Bio-Brandschutztechnologie gewährleistet einen wirksamen Schutz derartiger weihnachtlicher Dekorationen unter Verwendung von Nadelholzzweigen gegen eine Entflammung mit kleinen Zündinitialen (Wachskerzen, Streichhölzern, „Wunderkerzen“, Wachsackeln etc.) bis zu einer Energieabgabe von ca. 500 Watt. Die explosionsartige Brandentwicklung und Brandausbreitung wird verhindert. Zwar kommt es im unmittelbaren Einwirkungsbereich der Flammen der Zündquelle zum Brennen mit kleinen Flammen, die aber jedoch zeitnah selbständig verlöschen. Eine Gefährdung für Menschen tritt in dieser Brandphase nicht ein (siehe auch Abbildung 26 die den Autor bei Zündversuchen zeigt).

Dem Flammenschutzspray kann daher bei sachgerechter, den Verarbeitungsrichtlinien des Herstellers entsprechender Anwendung eine flammenhemmende und brandverzögernde Wirkung bescheinigt werden. Die Anwendung ist sowohl im privaten Bereich als auch insbesondere in öffentlichen Gebäuden wie Bahnhöfen, Pflegeheimen, Krankenzimmern und Veranstaltungsräumen aus brandschutztechnischer Sicht zu empfehlen.

Aussagen zur Wirksamkeit des Flammenschutzsprays bei „Vandalfeuern“ wie „Molotowcocktails“ mit einer höheren Energieabgabe (bis zu 250 kW) können zur Zeit noch nicht getroffen werden und bilden den Gegenstand ergänzender Untersuchungen.

8. Abschließende Bemerkungen

Die getroffenen Aussagen unterstellen die Beibehaltung der geprüften Qualität des Brandschutzsprays. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Änderungen auch im Detail möglicherweise zu anderen Schlüssen führen könnten.

Diese gutachterliche Wertung stellt keinen Verwendbarkeitsnachweis im baurechtlichen Sinne dar, sondern dient ausschließlich der brandschutztechnischen Bewertung des Flammenschutzsprays auf der Grundlage experimentell gesicherter Ergebnisse.

Dipl. Phys. Kotthoff

