



www.ffb.kit.edu

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Diese PowerPoint-Präsentation darf nicht kopiert oder verändert werden. Alle Urheber- und Leistungsschutzrechte bleiben vorbehalten.

Flashover / Backdraft / Druckbehälterzerknall

- Ursachen
- Auswirkungen
- Mögliche Gegenmaßnahmen

Die im Jahre 1950 gegründete und an die Universität Karlsruhe angegliederte Forschungsstelle für Brandschutztechnik beschäftigt sich mit Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des vorbeugenden und des abwehrenden Brandschutzes. Im einzelnen werden im Rahmen der Forschungstätigkeit zur Zeit folgende Bereiche bearbeitet

- **Brandentstehung und -ausbreitung**
- **Brandbekämpfung**
- **Brandrauchanalyse**
- **Hilfsmaßnahmen bei der Brandbekämpfung und Menschenrettung**

sowie die *Fachdokumentation Brandschutzwesen* herausgegeben.

I. Gefährdungen durch Brandrauch

- **Bereits in der Brandentstehungsphase (Schwelphase) bilden sich große Mengen an hochtoxischem Brandrauch.**

Die im Brandrauch enthaltenen Gase können innerhalb weniger Minuten zu Bewusstlosigkeit und dann zum Tode führen. Menschen werden häufig im Schlaf überrascht und unmittelbar bewusstlos. In brandrauchgefüllten Räumen und Treppenträumen ist die Orientierung schwierig bis unmöglich.

- **Eingeschränkte Sichtverhältnisse.**

Toxische Gase im Brandrauch verursachen bei sehr kurzen Einwirkungszeiten noch keine Gesundheitsschäden. Durch die eingeschränkten Sichtverhältnisse wird jedoch die Zeit für das Verlassen der mit den toxischen Gasen angefüllten Räume und Treppenträume vergrößert bzw. die Zeit bis zum Auffinden von an der Flucht gehinderten Personen durch Rettungskräfte verlängert, wodurch die Einwirkungsdauer so groß werden kann, daß dadurch Gesundheitsschäden auftreten.

- Bei geringem thermischen Auftrieb des Brandrauchs, dem Einfluß von Wind auf Öffnungen oder dem Einfluß von Löschanlagen kann eine **ausreichend schnelle Entrauchung beträchtlich erschwert** werden.

Gefährdungen durch Brandrauch und Sauerstoffmangel bei Bränden

- **Sauerstoff:** ≤ 12 Vol.-%: Sauerstoffmangelkrankheit: Kopfschmerzen, Gähnen, Konzentrationsmangel, rasche Ermüdbarkeit, Übelkeit, Sprachstörungen, Gangunsicherheit, Sehstörungen
3 Vol.-%: baldiger Erstickungstod
- **Kohlendioxid:** MAK-Wert: 5000 ppm*) (0,5 Vol.-%)
3 - 4 Vol.-% (Kurzzeiteinwirk.): 300%ige Erhöhung der Atmung, leichtes Unbehagen
5 - 6 Vol.-%: bei schnellem Anstieg der Konzentration: hämmernde Kopfschmerzen, Ohrensausen, Atemnot, Schweißausbruch, Ohnmacht
12 - 15 Vol.-%: nach wenigen Minuten Atemstillstand, bewußtlos
- **Kohlenmonoxid:** MAK-Wert: 30 ppm
800 ppm: Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 45 Min.
1.600 ppm: Kopfschmerzen, Brechreiz, Schwindel nach 20 Min.
3.200 ppm: Kopfschmerzen, Schwindel nach 5 - 10 Minuten, Bewußtlosigkeit und Tod nach 20 Minuten
6.400 ppm: Kopfschmerzen, Schwindel nach 2 - 3 Min., Tod nach 10 - 15 Min.
12.000 ppm: Tod nach 5 Minuten

Beispiel: Wohnzimmerbrand an der FFB (Meßstelle: zentral, 1,5 m über dem Brandraumboden)

- Sauerstoff:** 12 Vol.% nach 2 min 40 s, 3 Vol% nach 4 min 42 s unterschritten
- Kohlendioxid:** 12 Vol.-% nach 3 min überschritten (Meßwert: max. ca. 200.000 ppm)
- Kohlenmonoxid:** 1.600 ppm nach 1 min 40 s, 3.200 ppm nach 2 min 25 s überschritten
12.000 ppm nach 2 min 54 s überschritten (Meßwert: über 50.000 ppm)

Die Gefahren durch die Brandrauchbestandteile Ruß, aromatische Kohlenwasserstoffe, Reizgase und sonstige Pyrolyseprodukte sind zusätzlich zu berücksichtigen. Wie diese Brandrauchbestandteile sowie die Sauerstoff-, Kohlendioxid- und Kohlenmonoxidkonzentration in ihrer Zusammenwirkung den menschlichen bzw. tierischen Organismus schädigen, ist bis jetzt unzureichend geklärt.

*) 1 Vol.-% = 10.000 ppm

II. Gefährdungen durch Wärme; schnelle Brandausbreitung; Brandphänomene

Backdraft:

- Dieser tritt auf, wenn **brennbare Dämpfe**, die im Brandbereich entstanden sind, aufgrund von **Sauerstoffmangel** und/oder starker Abkühlung (z.B. an kalten Wänden) **nicht vollständig verbrennen konnten**.
- Durch **Einmischen von Frischluft** (z.B. Öffnen einer Tür oder Zerstörung eines Fensters) und bei **Vorhandensein einer Zündquelle** können diese brennbaren Dämpfe wieder gezündet werden und **verbrennen dann schlagartig mit dem Erscheinungsbild einer Verpuffung**.
- Zündquellen: z.B. die im Brandraum herrschende Temperatur, Bereiche mit Flammenbildung oder glimmende Bereiche
- **Besondere Gefährdung durch Feuerball, Stichflammenbildung, umherfliegende Teile und Glassplitter.**

• **Verpuffung** *)

Schwache Explosion, Verbrennungsprodukte können noch durch Öffnungen und Entlastungsöffnungen entweichen, bevor es zu einem nennenswerten Druckaufbau kommt.

Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront: weniger als 10 m/s,
Explosionsdruck: weniger als 0.01 MPa (0,1 bar)

• **Explosion** *)

Verbrennung im Gemisch (Gas, Dampf, Staub, Luft) breitet sich durch Wärme- und Stoffübertragungsvorgänge gesteuert aus. Da die gebildeten Verbrennungsprodukte nicht genügend schnell entweichen können und in kurzer Zeit große Wärmemengen freigesetzt werden, erfolgt ein Druckaufbau.

Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront: bis zu einigen 100 m/s,
Druck: bei Gasexplosionen bis 0,8 MPa (8 bar), bei Staubexplosionen bis 1,4 MPa (14 bar)

• **Detonation** *)

Aufs äußerste gesteigerte Explosion. Im Unterschied zu Explosionen erfolgt die Zündung des brennbaren Systems durch Verdichtungsstöße.

Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront: bis 4000 m/s,
Druck: bis 10 MPa (100 bar)

Nach **Untersuchungen von Gottuk, D. T. et al.:** The Development and Mitigation of Backdraft: A Real-Scale Shipboard Study (Fire Safety Journal 33 (1999), S. 261 - 282) wurden
beim Backdraft maximale Drücke bis zu 1.243 Pa (0,001243 MPa = 0,01243 bar) gemessen.

*) **Literaturquellen (References):** Bussenius, S.: Brand- und Explosionsschutz in der Industrie, Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin 1989;
Bussenius, S.: Wissenschaftliche Grundlagen des Brand- und Explosionsschutzes, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 1996



Schadensarten bei Explosionsdruckwellen

Maximale Druckamplitude der Druckwelle [bar]	Schadensart
0,01	Glasschäden an Gebäuden
0,03	Leichte Schäden an Bauwerksstrukturen
0,1	Schwere Schäden an Bauwerksstrukturen
0,17	Trommelfellverletzungen
0,6	Totale Zerstörung von üblichen Bauwerken
3	Tod durch Lungenriss

0,01 bar = 0,001 MPa = 1.000 Pa

Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Backdraft

- Oxygen below 15%
- Temperature throughout is high
- CO and carbon may cause backdraft

Hot Smoldering

- Low oxygen
- High heat
- Smoldering fire
- High fuel vapor concentrations

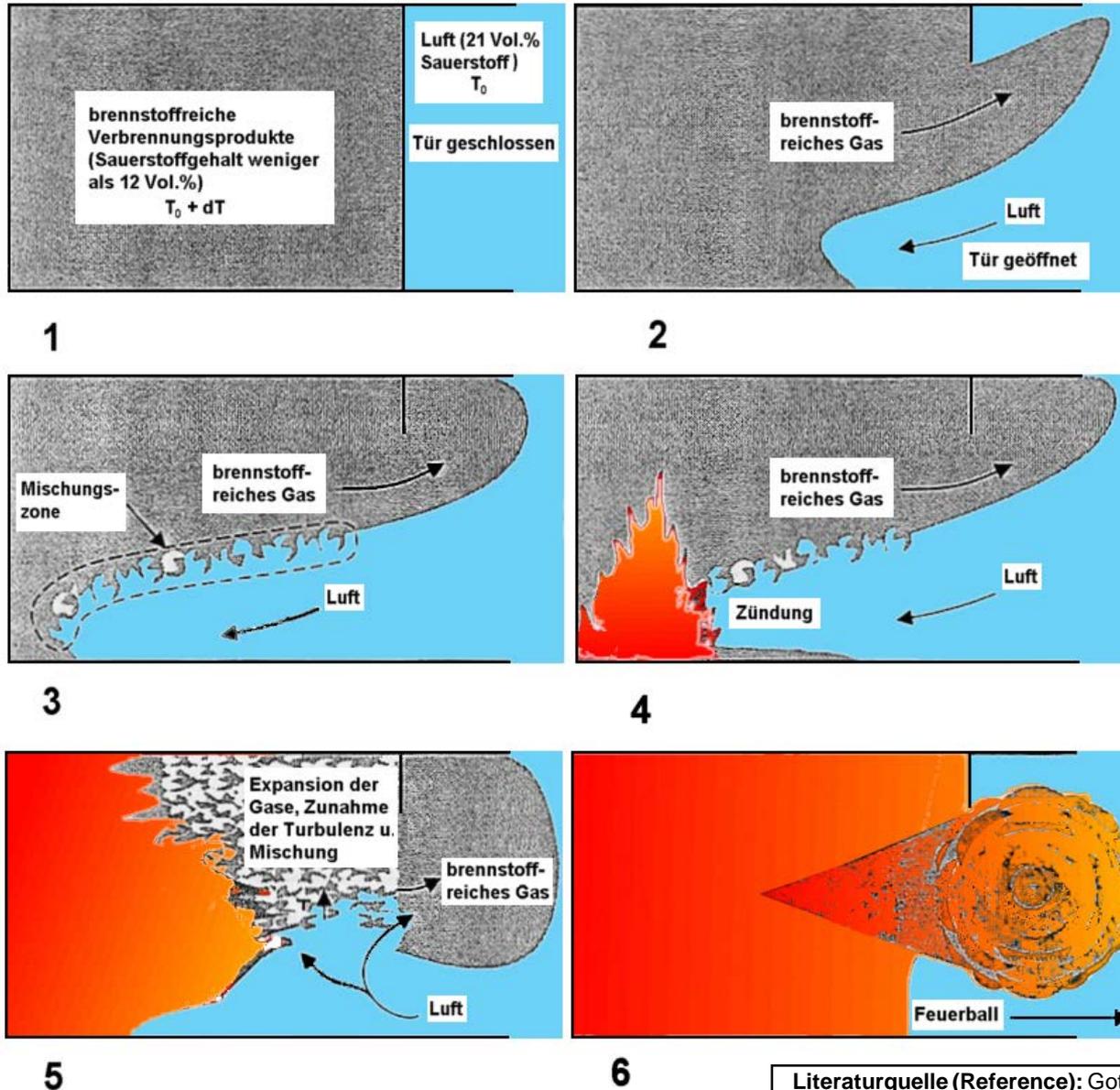
Prebackdraft

- Introduction of oxygen causes fire of explosive force

Backdraft

Literaturquelle (Reference): Wieder, M.A. et al.:
Essentials of Fire Fighting, The International Fire Service
Training Association, Fire Protection Publications,
Oklahoma State University, 1992

Entstehungsprinzip eines Backdraft



Literaturquelle (Reference): Gottuk, D. T. et al.: The development and mitigation of backdraft: a real-scale shipboard study. Fire Safety Journal 33 (1999), p. 261 – 282, Übersetzung und Colorierung: Jürgen Kunkelmann, FFB

Verschiedene Arten des Backdrafts

- **Einfacher Backdraft:**

Nach der Zündung folgen Flammenfront u. Druckwelle dem Weg der Zuluft und schlagen aus der Lüftungsöffnung.

- **Verlagerter Backdraft:**

Zündfähige Gemische befinden sich in einem anderen Raum, während der ursprüngliche Brandraum durch Querlüftung frei von zündfähigen Gasen ist. Bei Vorhandensein einer Zündquelle erfolgt im anderen Raum eine Explosion.

- **Umgekehrter Backdraft:**

Befinden sich Schwel- u. Pyrolysegase oberhalb der Zündtemperatur, erfolgt bei Kontakt mit Luftsauerstoff unmittelbar eine Zündung. Die Flammenfront folgt dem Weg der Zuluft von der Öffnung in den Raum hinein.

- **Verzögerter Backdraft:**

Explosionsfähiges Gemisch wird aufgrund einer fehlenden Zündquelle nicht sofort gezündet. Nach Erkaltung sinkt dieses Gemisch ab. Wird z.B. bei Aufräumarbeiten durch Einsatzkräfte ein Glutnest aufgewirbelt, erfolgt eine Explosion. Die besondere Gefahr ist hierbei, daß sich die Personen im Explosionsherd befinden.

Auswahl brennbarer Brandpyrolysegase

Pyrolysegas	Explosionsgrenze in Luft Vol.-%		Zündtemperatur °C	Dichte kg/m ³ (0°C, 1 bar) Luft: 1,29 kg/m ³
	untere	obere		
Kohlenmonoxid (CO)	10,9	76,0	605	1,25
Methan (CH ₄)	4,4	16,5	595	0,77
Acetylen (C ₂ H ₂)	2,4	88,0	325	1,16
Ethen (C ₂ H ₄)	2,7	34,0	425	1,25
Ethan (C ₂ H ₆)	2,7	16,0	515	1,35
Hexan (C ₆ H ₁₄)	1,0	7,4	240	3,83
Ammoniak (NH ₃)	15,0	30,0	630	0,77

Anzeichen für einen Backdraft

- Es gibt kein sicheres Anzeichen für einen bevorstehenden Backdraft.
- In den meisten Fällen ist die Gefährdung unmittelbar nach dem Öffnen eines Brandraumes am größten.

Folgende 4 Anzeichen deuten auf einen bevorstehenden Backdraft hin:
(Diese können einzeln, kombiniert oder auch alle zusammen vorher zu beobachten sein, jedoch kann hieraus keine Gesetzmäßigkeit abgeleitet werden.)

- Über lange Zeit unentdecktes oder ungestörtes Brandgeschehen.
- Heiße Türklinken bzw. -blätter und/oder heiße Fensterscheiben.
- Mit Brandrauch beschlagene Fensterscheiben oder Brandrauch quillt stoßweise aus Tür- und Fensterspalten.
- Luft wird nach dem Öffnen einer Tür in den Raum gesaugt.

Backdraft-Untersuchungen

Literaturquelle (Reference): Daniel Gojkovic: Initial Backdraft Experiments, Report 3121, Department of Fire Safety Engineering, Universität Lund/Schweden, 2000
<http://www.brand.lth.se/english/bibl/public.htm>



Backdraft-Container



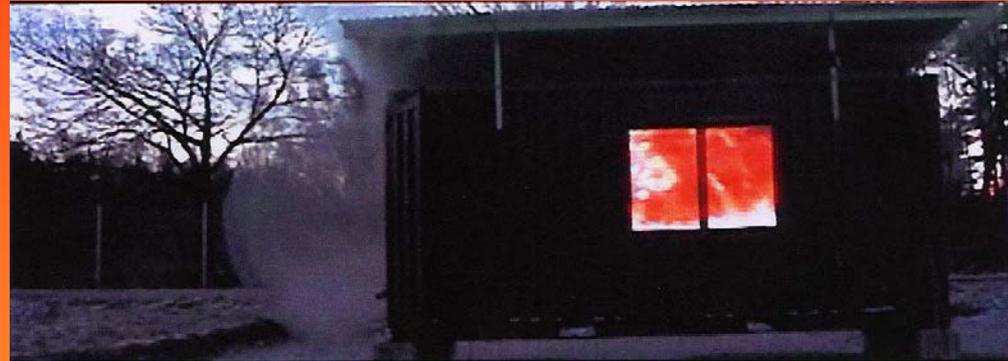
**Druckentlastungs-
öffnung
(beim Versuch
geschlossen)**



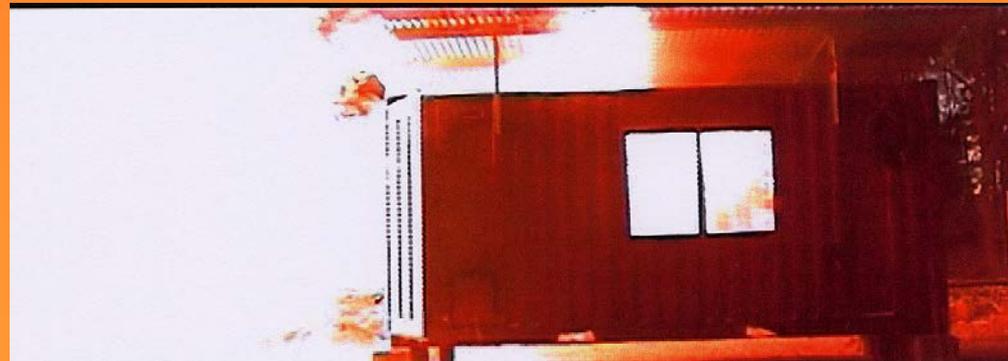
Ventilationsöffnung



Öffnung der Ventilationsöffnung und Vermischung der einströmenden Luft mit dem im Raum befindlichen, durch Luftmangel noch unverbrannten Erdgas - Entzündung an einem Heizdraht



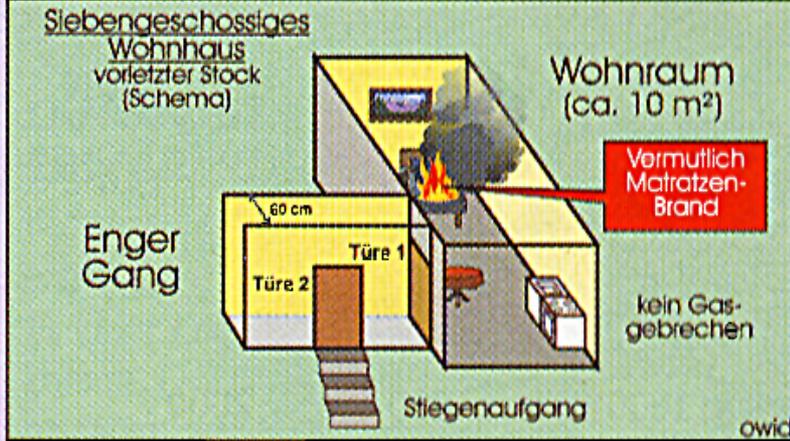
Wärmeentwicklung bewirkt Expansion der Brandgase - bis zu diesem Zeitpunkt noch unverbrannte Gase strömen aus der Ventilationsöffnung



Die unverbrannten Gase verbrennen in einem Feuerball außerhalb des Containers

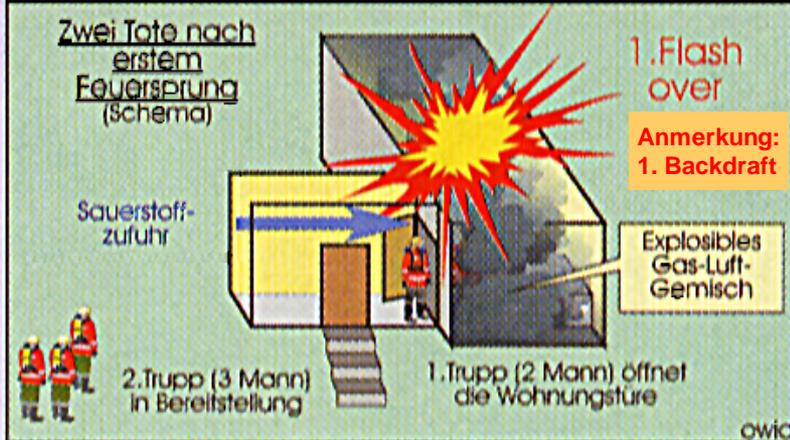
Tötung von fünf Feuerwehrmännern am 14. September 2002 in Paris durch zwei Backdrafts

Der Unfallort



Literaturquelle (Reference): Widetschek, O.: Tödlicher Feuersprung - Warum fünf Pariser Feuerwehrmänner sterben mussten. Blaulicht 10/2002, S. 14 - 15

Der erste Feuersprung



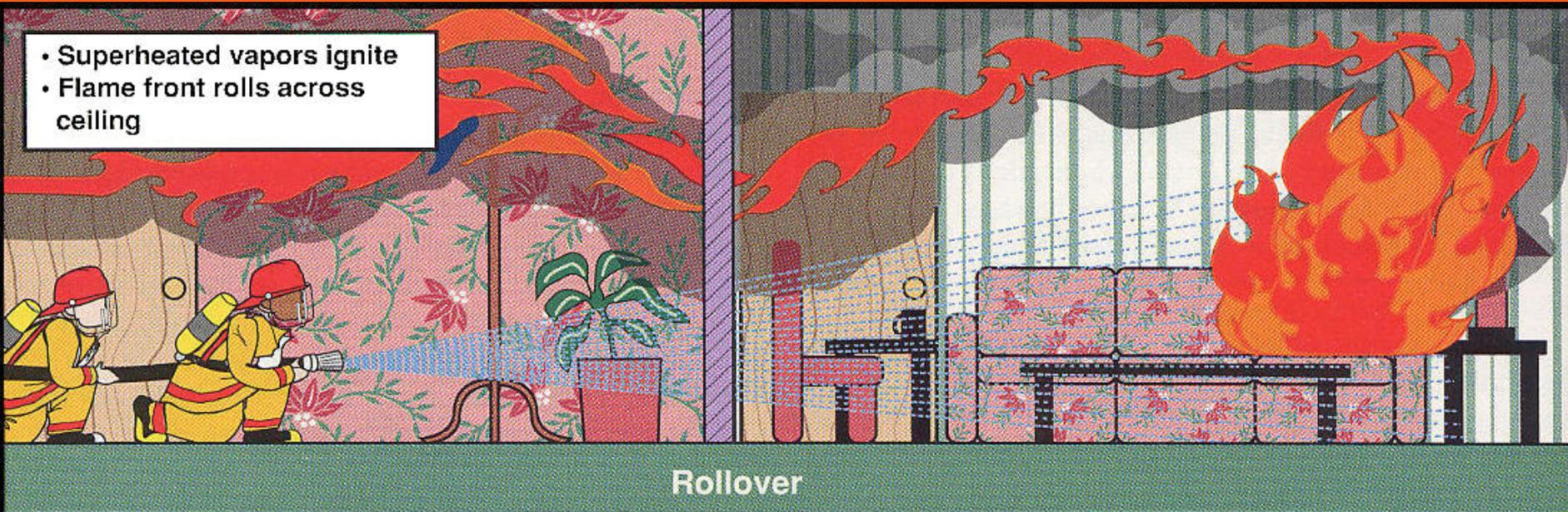
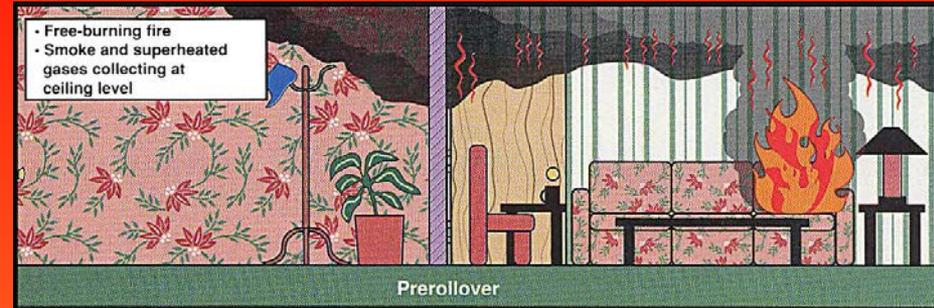
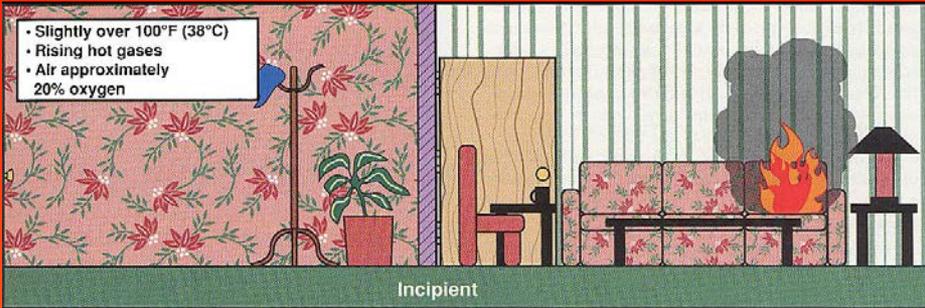
Der zweite Feuersprung



Rollover:

- **Überhitzte zündfähige Brandpyrolysegase und -dämpfe bilden eine Rauchschicht im Deckenbereich.** Bei eingeschränkter Sauerstoffzufuhr wächst die Konzentration der bei der Pyrolyse produzierten brennbaren Gase und von Kohlenmonoxid in der Rauchschicht trotz vorhandener Zündquelle über die obere Zündgrenze (Flammenzungen entstehen an der Grenzschicht Rauch/Luft, wo zündfähiges Konzentrationsverhältnis vorliegt). Die Brandpyrolysegase und -dämpfe können dabei unsichtbar (farblos) sein.
- Bei **Wiedererlangung zündfähiger Verhältnisse** (Durchströmen eines ausgedehnten oder verschachtelten Bauwerkes, Bersten eines Fensters oder Öffnen einer Tür) können sich die **Rauchgase mit einer Stichflamme in den Nachbarraum ausbreiten und z.B. die Feuerwehreinsatzkräfte überrollen.**
- **Durchzündung der Rauchschicht (häufig Stichflamme) erfolgt ohne signifikanten Druckanstieg** bei gerade ausreichender Sauerstoffzufuhr.
- Nur die Brandpyrolysegase und -dämpfe brennen, nicht die Raumeinrichtung (mit Ausnahme des Brandherdes).

Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Rollover



Literaturquelle (Reference): Wieder, M.A. et al.:
Essentials of Fire Fighting, The International Fire Service
Training Association, Fire Protection Publications,
Oklahoma State University, 1992



Rollover

während eines Brandversuches an
einem Industrieleichtdach an der FFB

Rollover

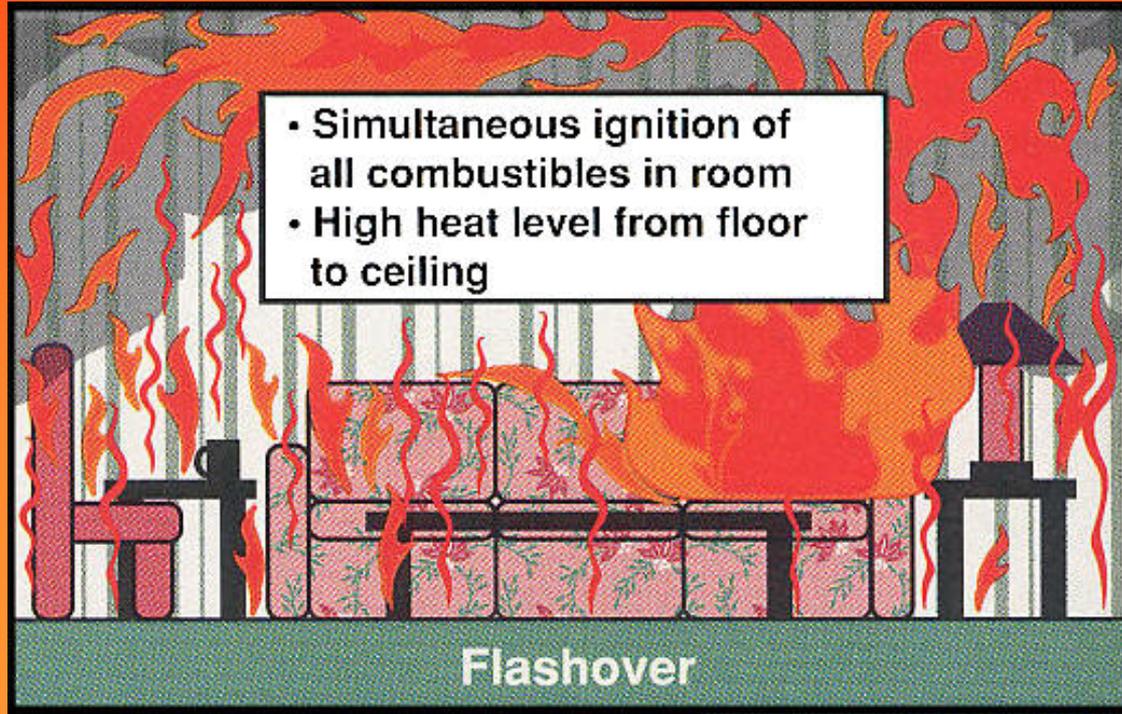
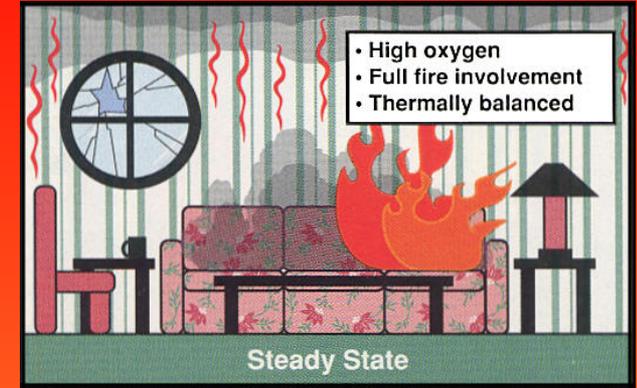
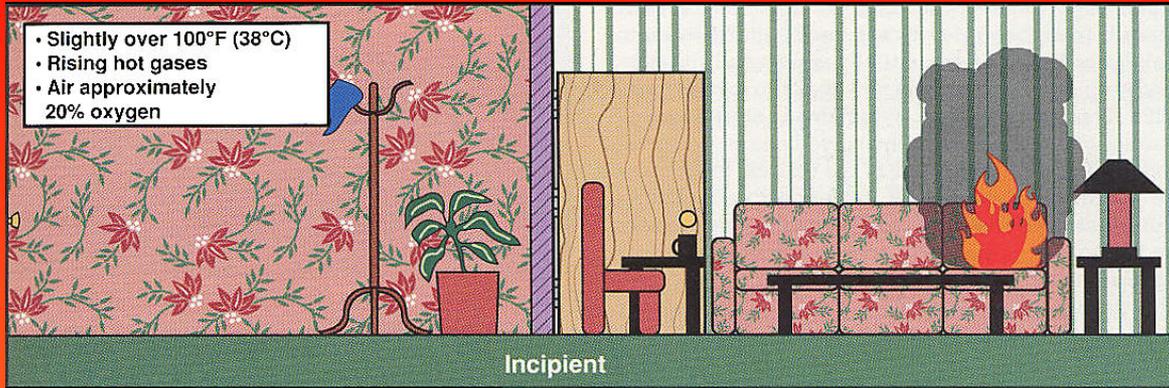
in der Brandübungsanlage der
Feuerwehr Karlsruhe

Flashover:

- Dieser tritt auf, wenn sich in einem Raum die **Oberfläche des brennbaren Materials** durch Wärmeeinstrahlung aus Flammen und heißer Rauchschiicht unterhalb der Decke **soweit aufgeheizt** hat, daß quasi schlagartig in großer Menge **brennbare Pyrolyse-gase und -dämpfe** entstehen, die mit der im Raum vorhandenen Luft ein zündfähiges Gemisch bilden und durch die vorhandenen Flammen oder durch andere Zündquellen gezündet werden.
- Er setzt dann ein, wenn:
 - **Temperatur in der Rauchschiicht: ca. 500 - 600°C**
 - **Wärmestrahlung im Bodenbereich ca. 20 kW/m² (Sonnenstrahlung ca. 1 kW/m²)**
- Der Flashover ist verbunden mit **beträchtlicher Pyrolysegasproduktion, Ruß-anreicherung und Sauerstoffverringierung in der Rauchschiicht mit kurzfristigem Temperaturabfall.**

Bei eingeschränkter Sauerstoff-Zufuhr in den Brandraum wächst die Konzentration der Pyrolysegase und von Kohlenmonoxid in der Rauchschiicht trotz vorhandener Zündquelle über die obere Zündgrenze an. Es bilden sich **Flammenzungen („dancing angels“)** an der Grenzschicht Rauch/Luft an den Stellen, wo ein zündfähiges Konzentrationsverhältnis vorliegt.
- **Nach dem Flashover brennt in der Regel das gesamte im Raum befindliche brennbare Material.**
- Beim Flashover erfolgt der Übergang vom brandlast- zum ventilationsgesteuerten Brand
=> Übergang von der Brandentwicklungsphase zum stationären Abbrand

Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Flashover



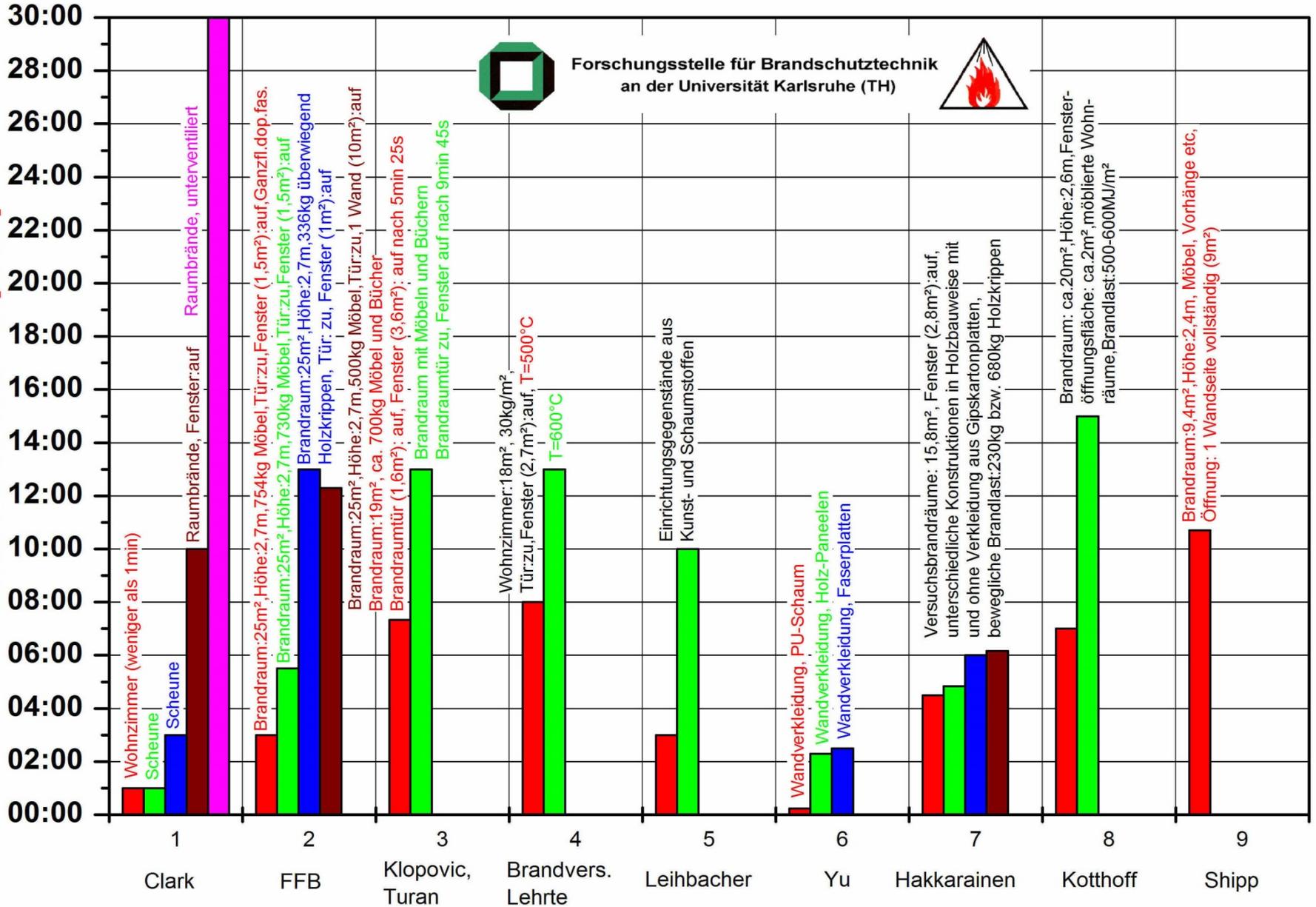
Literaturquelle (Reference): Wieder, M.A. et al.:
Essentials of Fire Fighting, The International Fire Service
Training Association, Fire Protection Publications,
Oklahoma State University, 1992

Temperatur und Wärmestrahlung im Brandraum beim Auftreten des Flashovers (verschiedene internationale Untersuchungen)

Quelle	Temperatur im Deckenbereich in °C	Wärmestrahlung im Bodenbereich in kW m ⁻²
- Hagglund (1974)	600	keine Angabe
- Parker und Lee (1974)	keine Angabe	20
- Fang (1975)	450 - 650	17 - 33
- Lee und Breese (1978)	650	17 - 30
- Babrauskas (1979)	600	20
- Budnick und Klein (1979)	673 - 771 634 - 734	15
- Fang und Breese (1980)	706 ± 92	20
- Thomas (1980)	520	22
- Quintiere und McCaffrey (1981)	600	17,7 - 25

Literaturquelle (Reference): Liang, F.M., Chow, W.K., Liu, S.D.: Preliminary Studies on Flashover Mechanism in Compartment Fires, Journal of Fire Sciences, Vol. 20 - March 2002, p. 87 - 112

Zeit bis zum Flashover [min:s]



Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)



Literaturquelle

Flashover bei einem Wohnzimmerbrand (FFB)



Videofilm siehe
http://www.ffb.kit.edu/download/Der_Flashover_04-3.zip

Rauchmelder
(fotoelektronisch)
rechts
links

Brandraum mit Wohnzimmerereinrichtung

Brandraum: 25 m², Höhe: ca. 2,7 m, Öffnung: ca. 10 m²

Brandlast: 500 kg Möbel

vor dem Versuch

Flashover bei einem Wohnzimmerbrand (FFB)



Wohnzimmer vor dem Brand



Flashover nach 12 min 18 s

Deckentemperatur (zentral): 722°C

Zeit = 12 min 42 s:

Maximale Wärmefreisetzung (Brutto): ca. 19 MW

Deckentemperatur (zentral): 1122°C

**Brandschäden nach
Ablöschen mit dem Strahlrohr**

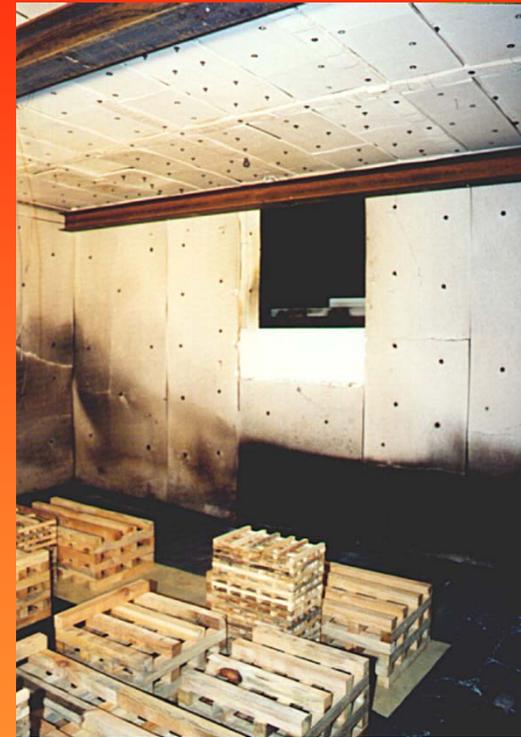


Einflussfaktoren für die Entstehung eines Flashovers

- Art, Zündverhalten, Heizwert, Menge und Anordnung der Brandlast
- Geometrie des Raumes
- Ventilationsbedingungen (z.B. Größe von Tür- und Fensteröffnungen)
- Thermische Eigenschaften von Wänden, Decke und Fußboden

Versuch: Thermische Belastung von Stahlträgern

Versuchsaufbau



Brandraum mit Stahlträger 1, 2 und Fensteröffnung



Brandraum mit Stahlträger 3 und Brandraumtür



Brandlast: ca. 336 kg (Holzkrippen: ca. 314 kg, Linoleum: ca. 19 kg, Nadelfilzteppichboden: ca. 2 kg, Heptan: 1 l)



Temperaturmeßstelle am Stahlträger



Messung der Durchbiegung von Stahlträger 1



Versuch: Thermische Belastung von Stahlträgern)

Versuchsablauf -1



1 min 8 s (nach Zündung)
im **Brandraum**



10 min 42 s (nach Zündung)
im **Brandraum**



10 min 42 s (nach Zündung)
an der **Fensteröffnung**



12 min 42 s (nach Zündung)
im **Brandraum**



12 min 58 s (nach Zündung)
im **Brandraum**
Flashover



12 min 58 s (nach Zündung)
an der **Fensteröffnung**
Flashover

Versuch: Thermische Belastung von Stahlträgern

Versuchsablauf -2



13 min 58 s (nach Zündung)
an der **Fensteröffnung**



21 min 1 s (nach Zündung)
an der **Fensteröffnung**
Löschbeginn der Feuerwehr
mit Fog Nail



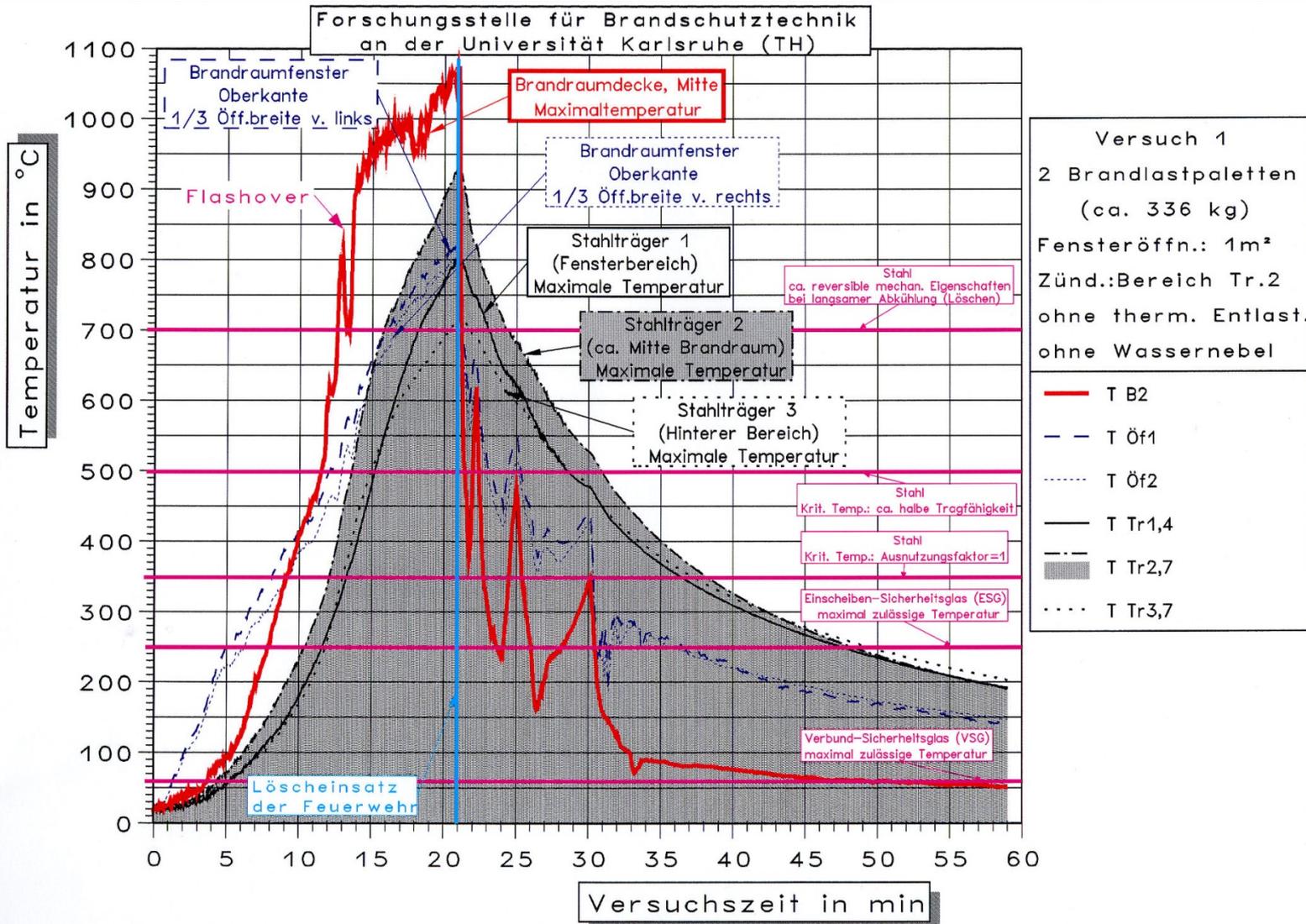
21 min 32 s (nach Zündung)
an der **Fensteröffnung**
Löschzeit mit Fog Nail: 31 s



21 min 50 s (nach Zündung) an der
Fensteröffnung - Öffnen der Brand-
raumtür und Nachlöscharbeiten der
Feuerwehr mit Strahlrohr

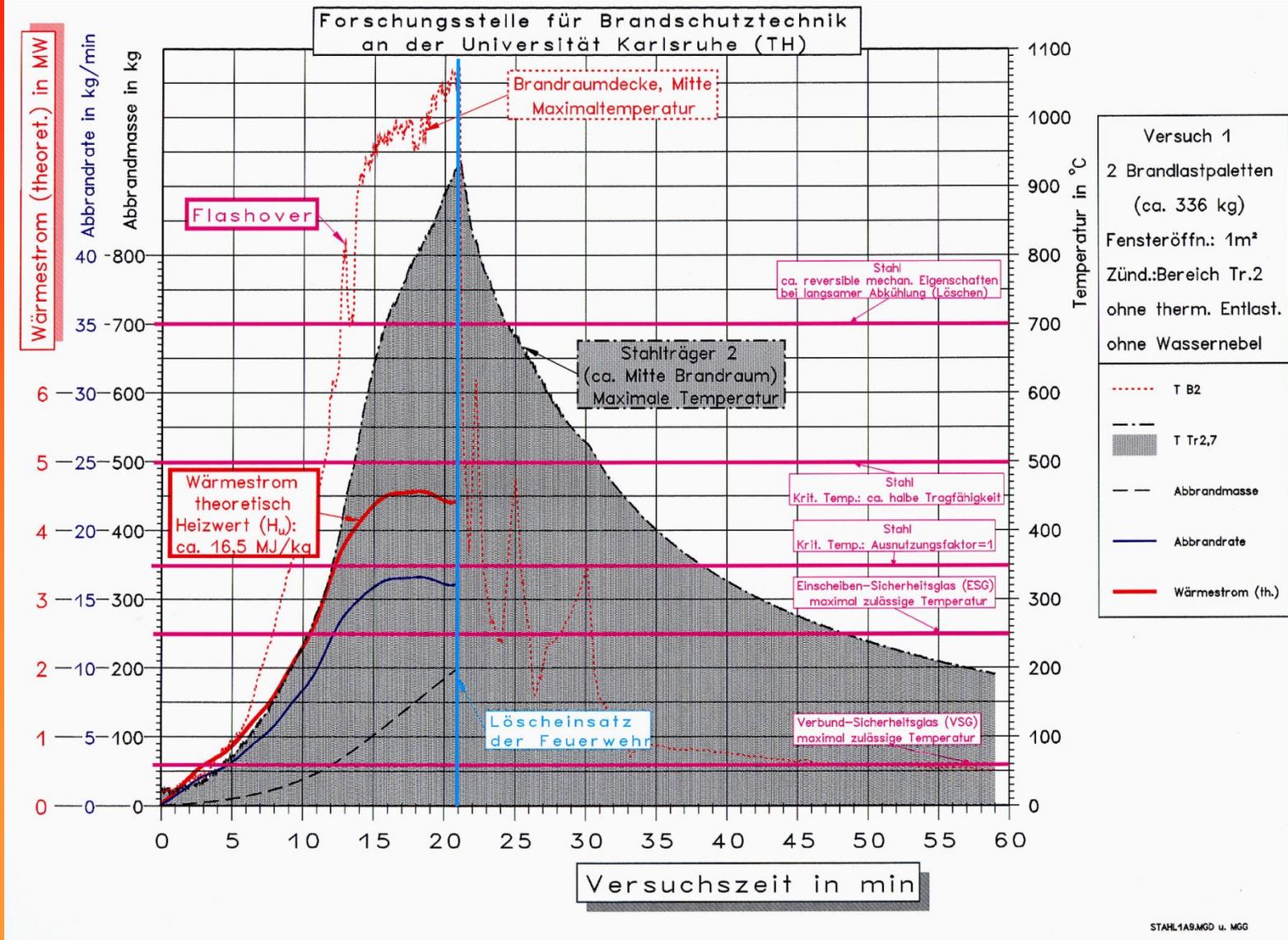


Versuch: Thermische Belastung von Stahlträgern Temperaturen



STAHL7TV.MGD u. MGG

Versuch: Thermische Belastung von Stahlträgern Temperaturen, Abbrandrate und Wärmestrom



Anmerkung: Wärmestrom (theoret.) ≡ Wärmestrom (Brutto)

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade Wohnzimmerbrand

Videofilm siehe

<http://www.ffb.kit.edu/download/GanzflaechendoppelfassadeV8.zip>



Versuchsaufbau:

Brandraum: 25 m², Höhe: 2,68 m, Brandraumtür geschlossen

Brandlast: Wohnzimmereinricht., 754 kg,

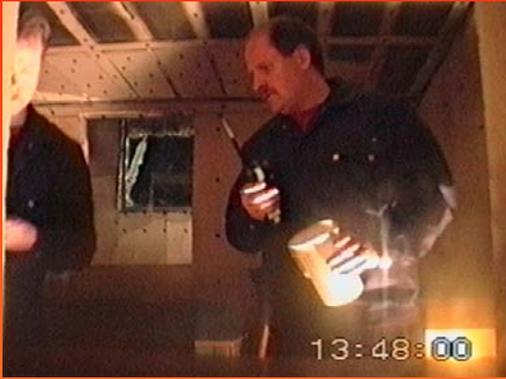
Zündquelle: 0,5 l Heptan **Innenfassade:** Fenster geöffnet (ohne Verglasung), ca. 1,5 m²

Außenfassade: ESG-Verglasung (8 mm ESG) in Aluminiumprofilsystem mit Glashalteleisten, ca. 3 m²

Zwischenfassadenbereich: ohne Abschottungen, Abstand zwischen Innen- u. Außenfassade: 1,2 m

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade

Wohnzimmerbrand – Versuchsablauf - 1



Zündung: 0 s
Brandraum



Zündung: 0 s
Fensteröffnung



1 min 34 s
Brandraum



1 min 34 s
Fensteröffnung



2 min 18 s
Brandraum



2 min 18 s
Fensteröffnung

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade

Wohnzimmerbrand – Versuchsablauf - 2



2 min 37 s **Brandraum**
Flammenzungen („dancing angels“)



2 min 37 s
Fensteröffnung



2 min 54 s
Brandraum
Flashover



2 min 54 s
Fensteröffnung
Flashover



2 min 58 s
Brandraum



2 min 58 s
Fensteröffnung

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade

Wohnzimmerbrand – Versuchsablauf - 3



3 min 1 s
Brandraum



3 min 1 s
Fensteröffnung



3 min 19 s
Brandraum



3 min 19 s
Fensteröffnung



3 min 29 s
Fensteröffnung



4 min 38 s
Fensteröffnung

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade

Wohnzimmerbrand – Versuchsablauf - 4



4 min 54 s
Fensteröffnung



5 min 1 s
Fensteröffnung



5 min 14 s
Fensteröffnung



6 min 8 s
Fensteröffnung



12 min 55 s
Fensteröffnung



13 min 2 s
Fensteröffnung
Löschbeginn der Feuerwehr

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade

Wohnzimmerbrand – Versuchsablauf - 5



13 min 32 s
Feuerwehreinsatz
Löschzeit: 30 s



13 min 50 s
Fensteröffnung Löschzeit:
48 s



14 min 16 s
Fensteröffnung
Löschzeit: 1 min 14 s



14 min 19 s
Fensteröffnung Löschzeit:
1 min 17 s



16 min 41 s
Fensteröffnung Löschzeit:
3 min 39 s



42 min 33 s
Fensteröffnung Löschzeit:
29 min 31 s

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade

Wohnzimmerbrand – Versuchsablauf - 6



Zwischenfassadenbereich
Zündung im Brandraum



Außenfassade
nach ca. 4 min
(Flashover im Brandraum
nach ca. 3 min)



Zwischenfassadenbereich: direkte Beflammung der Außenfassade,
Entzündung unverbrannter Rauchgase bei ca. 3 - 4 min



Außenfassade: Zerstörung der oberen ESG-Scheibe nach 5 min 53 s,
Flammen oberhalb der Fassadenoberkante

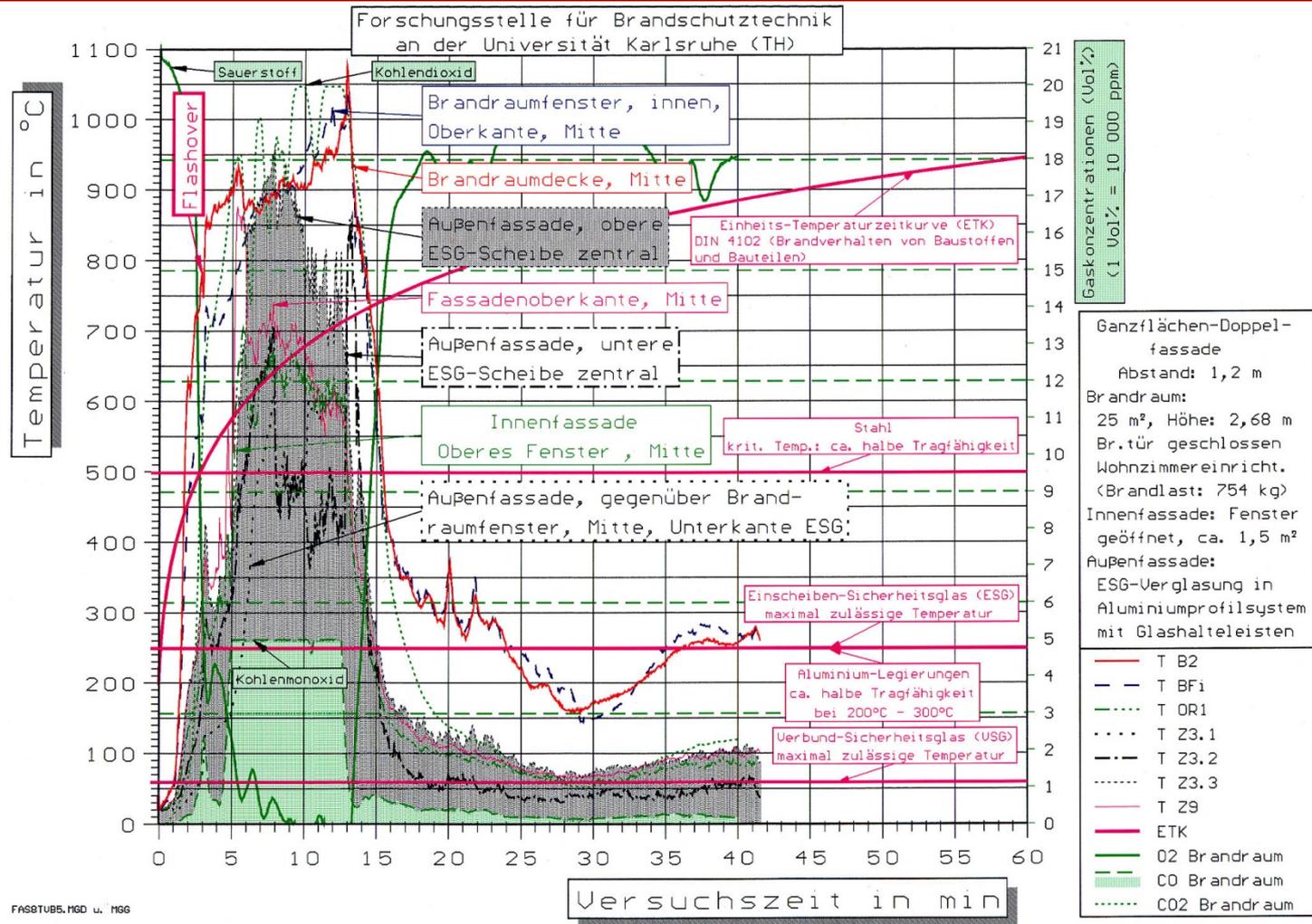


Außenfassade: Zerstörung der unteren ESG-Scheibe nach 7 min 50 s



Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade - Wohnzimmerbrand

Temperaturen und Brandgaskonzentrationen

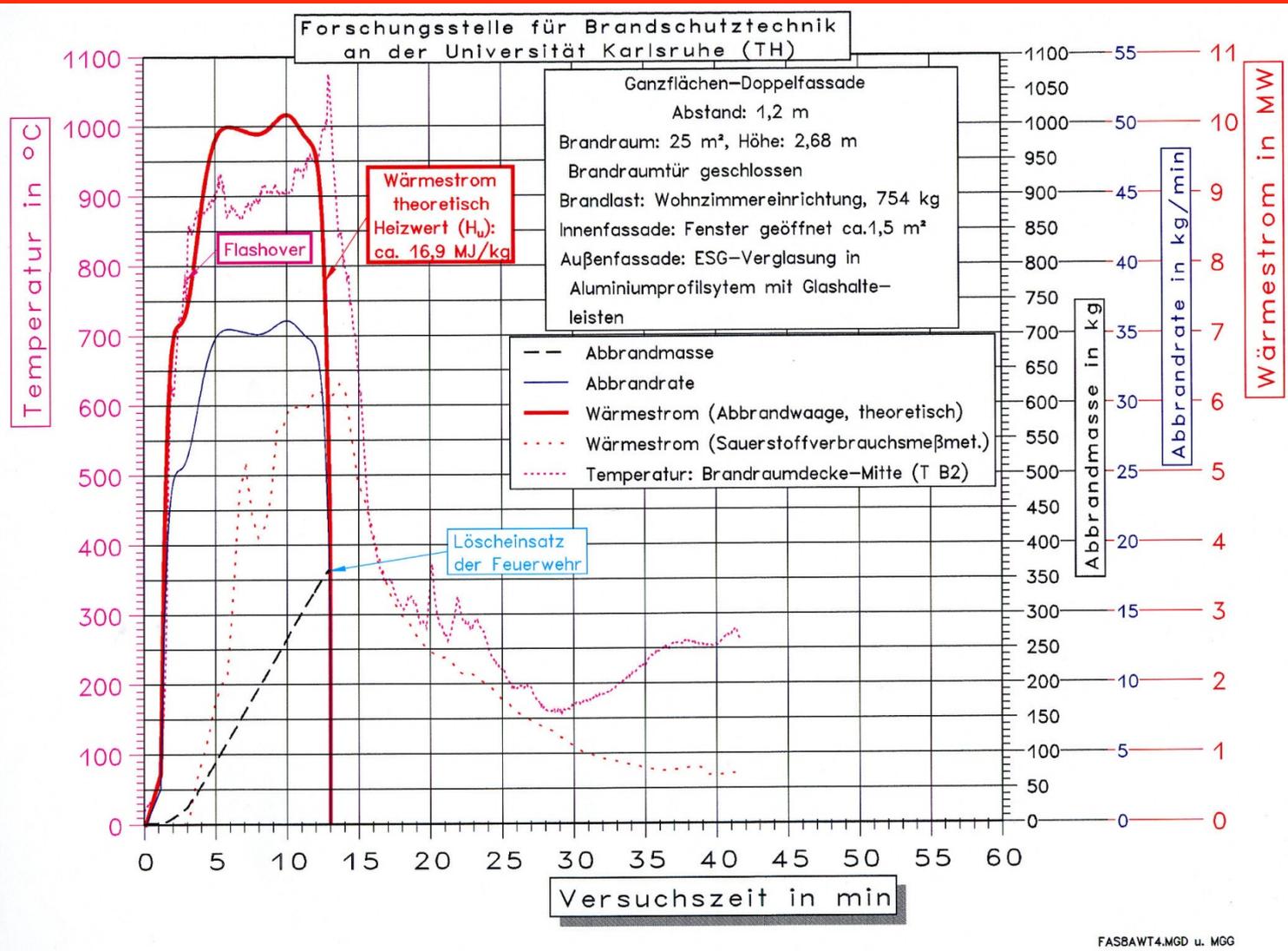


Maximale Wärmestrahlung an der Oberfläche der Innenfassade des über dem Brandraum liegenden Stockwerkes (Mitte Fensterbereich): 67 kW/m² nach ca. 12 min

(zum Vergleich: Selbstentzündung von: Holz: 25 - 34 kW/m²; Textilien, Baumwolle: 24 - 34 kW/m²)

Versuch mit Ganzflächen-Doppelfassade - Wohnzimmerbrand

Temperaturen, Abbrandrate und Wärmefreisetzung



FASBAWT4.MGD u. MGG

Anmerkung: Wärmestrom (theoretisch) \equiv Wärmestrom (Brutto)

Brand- und Rauchausbreitung bei der Kasten-Doppelfassade

Vertikale und horizontale Stahlabschottungen

Videofilm siehe

http://www.ffb.kit.edu/download/ffb_kastendoppelfassade_brandversuche-2-1.zip



Außenfassade



Zwischenfassadenbereich



Außenfassade: ESG-Scheibe hat während der Brandbelastung ihre Vorspannung verloren und fällt vollständig aus dem Aluminiumprofilsystem



ESG-Scheibe (nach der Brandbelastung ohne Vorspannung) zerspringt auf dem Boden in große Stücke



Zwischenfassadenbereich: links: Stahlabschottungen nach dem Brand intakt (Rauchdichtheit nicht überprüft), rechts: unteres Kastenfenster ohne Scheiben

Brand in einem Wohnzimmer (FFB, Brandraum: 25 m²) mit Löscheinsatz der Feuerwehr nach dem Flashover



**Gefährdung durch Stichflammen mit Temperaturen im Bereich von 1000°C
beim Öffnen der Brandraumtür**

Fußboden des Brandraumes ca. 60 cm höher als der Fußboden der Brandversuchshalle (Tritfläche der Feuerwehreinsatzkraft)

Druckbehälterzerknall und BLEVE (Boiling-Liquid-Expanding-Vapour-Explosion)

- **Gase, die sich bei Normaltemperatur nicht verflüssigen lassen (z.B. Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Argon Helium)**, werden mit Drücken bis zu 300 bar gasförmig verdichtet und in Flaschen gefüllt. Der maximal zulässige Fülldruck ist so bemessen, daß auch eine mögliche Drucksteigerung durch intensive Sonneneinstrahlung die Flasche nicht zum Bersten bringt. Dies kann aber eintreten, wenn die Flasche durch äußeres Feuer erhitzt wurde.
z.B.: Druckanstieg bei idealem Gas: Raumtemp.: 200 bar => ca. 300°C: 400 bar, ca. 600°C: 600 bar
- **Gase, die sich bei Normaltemperatur durch Druck verflüssigen lassen (z.B. Propan, Kohlendioxid, Ammoniak, Lachgas)** werden mit Drücken bis zu 60 bar in flüssigem Zustand in Flaschen gefüllt. Ein Behälter mit druckverflüssigtem Gas kann bersten, wenn er entweder mäßig überfüllt ist und geringfügig erwärmt wird oder normal gefüllt ist und erheblich z.B. durch Feuer erwärmt wird. In beiden Fällen bewirkt die Erwärmung eine Ausdehnung der Flüssigkeit, bis diese den Behälter vollständig füllt und der Druck der inkompressiblen Flüssigkeit den Behälter bei Überschreiten des Berstdruckes hydraulisch sprengt. Siedende Flüssigphase des Gases verdampft durch die Druckentlastung zu ca. 30 - 50 % schlagartig und reißt die noch vorhandene Flüssigphase als Aerosol mit: Es kommt zum **BLEVE**. Dieses Phänomen tritt auch auf bei unterdimensionierten Sicherheitseinrichtungen, wie Berstscheibe oder Sicherheitsventil, wenn aufgrund der Wärmeeinwirkung der Druck nicht ausreichend schnell abgebaut werden kann.
z.B. Temperatur bei Propan/Butan, ab der bei höchstzulässiger Füllmenge die hydraulische Sprengung auftreten kann: 60°C bis 70°C
- **Ist das Gas brennbar kommt es neben den umherfliegenden zerborstenen Teilen zur explosionsartigen Verbrennung mit Feuerball.**

Die Vorhersage der Zeitdauer bis zum BLEVE ist nicht möglich. Der Gefahrenbereich kann bis zu 1000 Meter, unter Umständen auch mehr betragen.

Besondere Problematik bei Acetylenflaschen (1)

- Acetylen ist chemisch instabil (spontane Zersetzung in Kohlenstoff (Ruß) und Wasserstoff ab 160°C bzw. ab einem Druck von 1,4 bar möglich) => hierdurch wird Wärme frei, die den Zersetzungsprozeß fördert und beschleunigt.
- Wegen der Instabilität wird Acetylen in Druckgasbehältern nicht gasförmig gespeichert, sondern unter Druck in einer Flüssigkeit (Aceton oder Dimethylformamid) in einer feinporösen Masse. (bei 15 bar lassen sich 400 l Acetylen in 1 l Aceton lösen).
- Bereits ab einer Flaschentemperatur von ca. 65°C kann bei einer vollen Flasche der Sicherheitsraum (10 Vol.-% für die Ausdehnung des Acetons im Rahmen üblicher Temperaturschwankungen (Sonneneinstrahlung)) mit Flüssigkeit ausgefüllt sein und eine weitere Temperaturerhöhung zu einer hydraulischen Sprengung des Druckgasbehälters führen.
- Die Acetylenzersetzung kann auch nach Beendigung der äußeren Erwärmung z.B. durch Brand fortschreiten, den Druck in der Flasche weiter steigern und noch nach Stunden zu einem Behälterzerknall führen.
- Chemische Zersetzung kann auch bei sehr starker mechanischer Beanspruchung (heftiger Schlag, Stoß) erfolgen, wenn es hierdurch zu einer Beschädigung der porösen Masse und damit zu unzulässigen Hohlräumen im Innern der Flasche kommt.

Besondere Problematik bei Acetylenflaschen (2)

- Beim Behälterzerknall ist mit einem Feuerball (Durchmesser bis ca. 30 m) und mit bis zu 300 m weit fliegenden zum Teil scharfkantigen Metallteilen zu rechnen.
- Der Sicherheitsabstand für Feuerwehreinsatzkräfte soll 20 – 30 m betragen. Direkt angrenzende Gebäude sowie ca. 300 m im Freien sind je nach Straßenverlauf und Bebauung möglichst zu räumen. In weiter entfernt liegenden Gebäuden sollen sich Menschen auf der der Einsatzstelle abgewandten Seite aufhalten.
- Die äußere Temperatur der Acetylenflasche ist ein wichtiger Indikator für einen evtl. ablaufenden Zersetzungsprozeß. Da sich eine Acetylenzersetzung im Flascheninnern örtlich unterschiedlich ausbreiten kann, ist bei Betrachtung der Oberflächentemperatur (Wärmebildkamera, Fernthermometer) immer der gesamte Flaschenmantel einzubeziehen. Ein deutlicher und kräftiger Temperaturanstieg ist in der Regel ein Vorbote für ein unmittelbar bevorstehendes Bersten der Acetylenflasche.
- Nach frühestens 30 Min. intensiver Kühlung ist der Zustand der Flasche erneut zu bewerten. Erst wenn bei einer „handwarmen“ Gasflasche über einen Zeitraum von mindestens 10 Min. ohne Kühlung keine erneute Erwärmung mehr festzustellen ist, kann sie geborgen werden und in ein Wasserbad gelegt werden.

Besondere Problematik bei Acetylenflaschen (3)

- Tritt Acetylen gas brennend aus, ist der Gefährdungsbereich zu räumen und die Flasche kontrolliert ausbrennen zu lassen. Die gleichzeitige Kühlung des Flaschenmantels hat so zu erfolgen, daß die Flammen nicht gelöscht werden. Beaufschlagt die Flamme jedoch den Flaschenkörper oder weitere Druckgasbehälter, so ist unverzüglich zu löschen. Ab diesem Zeitpunkt besteht aber wegen des extrem weiten Zündbereichs des unverbrannt austretenden Acetylens eine sehr große Explosionsgefahr.
- Ein Schließen des Flaschenventils darf nur erfolgen, wenn die Flasche kalt ist und reines Gas (ohne Rußspuren und abnormalem Geruch => keine Acetylenzersetzung) entweicht.

Gefährdungspotential durch Brände von Einwegfeuerzeugen



**Geschädigte Feuerzeuge
mit Blasen und Löchern**

Abbrandzeiten:

Einzelfeuerzeug:	20 - 80 s
50er Packung:	4 min
zwei 50er Packungen:	7 min
drei 50er Packungen:	13 min
24.000er Palette:	17 min



30 s: Kamineffekt



**90 s: erste gezündete
Gaswolke**



**150 s: Bildung dunklen
Rauchs**



**5 min: Stichflammen und
starke Raumentwicklung
beim Abbrand der 24.000
Feuerzeuge**

Literaturquelle (Reference): Feutlinske, K., Borsch, J.:
Das Zeug zum Feuer (Fotos: BAM in Berlin), Gefährliche
Ladung, 39. Jahrg., Nr. 1/1994, S. 12 - 14

Gefährdungspotential durch Brände von Spraydosen mit Propan/Butan-Treibgas



Feuerball von nur einer Druckgaspackung; tritt dies in einem geschlossenen Raum auf...

Literaturquelle (Reference): Pözl, A.:
Schwerer Unfall mit Spraydosen, (Foto: Dr.
Otto Widetschek), Blaulicht 2/93, S. 24 – 26



Zündung mit drei Liter Benzin



Brandentwicklung nach
eineinhalb Minuten



Brandentwicklung nach drei
Minuten

In Kartons verpackte Spraydosen,
auf einem Regal gelagert.

Literaturquelle (Reference): Widetschek,
O.: Spraydosen: Wie geht es weiter?,
Blaulicht 7/89, S. 4 - 6

Gefährdungspotential durch Brände von Spraydosen mit brennbarem Treibgas



Palette mit 30 Kisten à 60 Dosen mit Deo-Spray (Aluminium 150 ml) auf Holzstapel (Versuch 1)



Holzstapelfeuer unmittelbar nach Zündung



Vollständige Flammeneinhüllung, Bersten erster Dosen nach 1 min 15 s



Flammenbild zum Zeitpunkt größter Heftigkeit



Brandentwicklung 2 min nach Zündung (Feuerballdurchmesser max. 10 m)



Schadensbilder bei den Druckgaspackungen

Literaturquelle (Reference): Heller, W., Ludwig, J.: Deo-Brand, (Fotos: BAM in Berlin), Gefährliche Ladung, 2/2001, S. 27 - 30

Mögliche Gegenmaßnahmen bei Flashover, Backdraft etc.

Anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen

- Brandmelder und Brandmeldeanlagen
- Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA)
- Automatische ortsfeste Löschanlagen (Sprinkler- bzw. Wassernebellöschanlagen)

Einsatz der Feuerwehr

- **Raumkühlung:** Abkühlen der raumabschließenden Wände (insbesondere der Decke) und gezielte Erzeugung von Wasserdampf zur Verringerung der Zündfähigkeit und der Freisetzung von Brandgasen sowie von weiteren Brandpyrolyseprodukten durch einen geeigneten (schmalen oder breiten) Sprühstahl. **Anmerkung: Gefährdungen aufgrund einer „Dampfexplosion“ möglich.**
- **Brandrauchkühlung:** Abkühlung und Kontraktion der Brandgase durch direkte Aufgabe eines geeigneten (schmalen oder breiten) Sprühstrahles direkt in den Rauch. Verringerung der Zündfähigkeit der Rauchschiicht und Verhinderung der Durchzündung.



Brand in einem Wohnzimmer – FFB - (Brandraum: 25 m²) Löschbeginn mit Druckluftschaum

Bildung eines Feuerballs am Brandraumfenster nach Sprühen an die aufgeheizte Decke beim vollentwickelten Brand

(„Decke kühlen“ => „Dampfexplosion“,

siehe auch <http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/DLS2003.pdf>)

Einsatzrichtlinien für einen evtl. bevorstehenden Druckbehälterzerknall bzw. BLEVE

- Der Wärme ausgesetzte Druckbehälter sind aus der Deckung heraus zu kühlen.
- Hierzu Rohre mit großer Wurfweite einsetzen, wenn möglich unbemannte Wasserwerfer.
- Beim Niederschlagen von wasserlöslichen Dämpfen (z.B. Ammoniak, Chlor, Phosgen) ist zu beachten, daß der Druckbehälter nicht vom Wasser getroffen und dadurch aufgeheizt wird.
- Zum Instellungbringen der Löschgeräte sollte Hitzeschutzkleidung verwendet werden.
- Bei Ansprechen des Sicherheitsventils, Verfärbung der Behälterlackierung, Austreten von Flüssigphase oder plötzlicher Verformung des Behälters besteht höchste Berstgefahr.
In diesem Fall bleibt nur der sofortige Rückzug.

Löscheinsatz mit Fognail® bei einem Wohnzimmerbrand an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik durch die Berufsfeuerwehr Karlsruhe



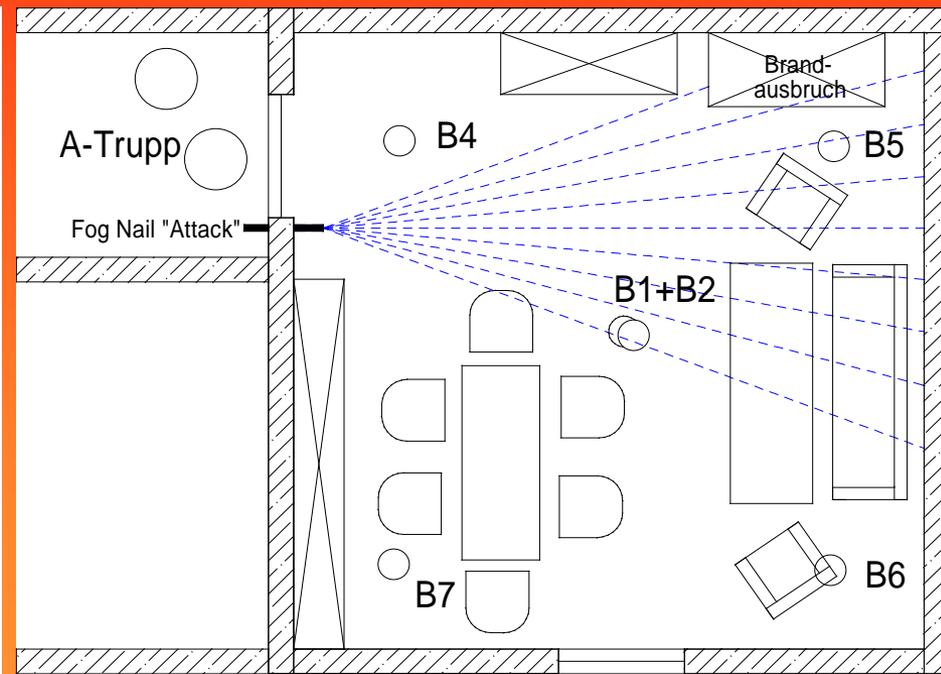
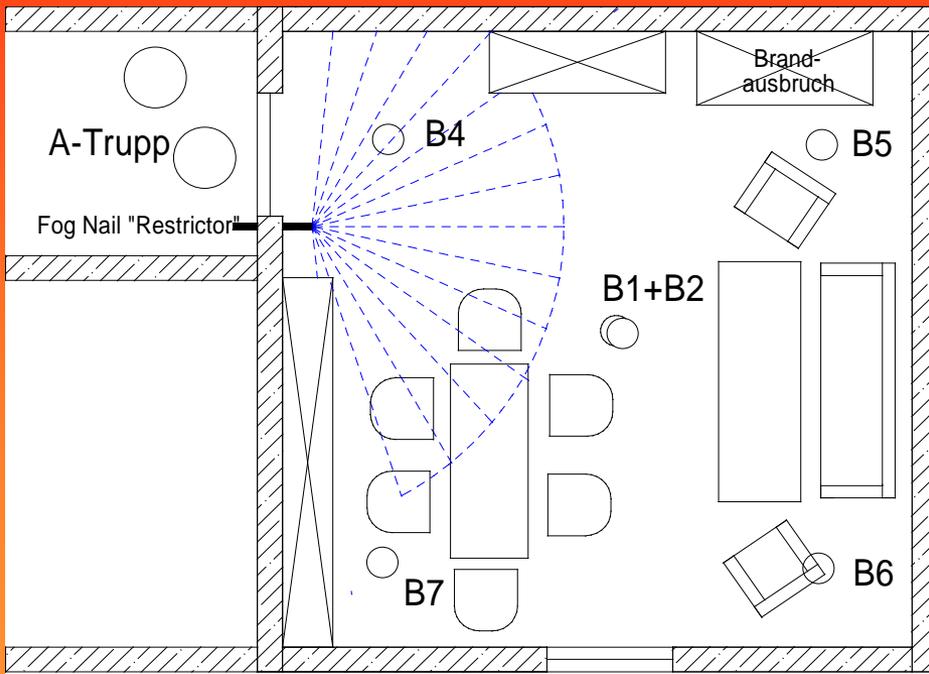
Wirkungsweise des Fognails® :

Mit Hilfe des Fog Nails ist es möglich, Löschwasser in feinverteilter Form durch geschlossene Türen und Fenster, durch Wände und Decken in den Brandraum zu befördern.

Löschmechanismen: Kühlwirkung und Sauerstoffverdrängung

Wasserversorgung: D-Schlauch, 70 l/min bei 8 bar

Löscheinsatz mit Fog Nail® bei einem Wohnzimmerbrand an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik durch die Berufsfeuerwehr Karlsruhe



Literaturquelle (Reference): Pulm, M.: Fog Nail - Der Sprinkler für danach. Brandhilfe 10/1999, S. 345 - 352

Vorteile durch den Einsatz des Fognails®:

- Reduzierung der Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Backdraft, Rollover, Flashover, Druckbehälterzerknall und BLEVE beim Innenangriff aufgrund der geschlossenen Tür und der Wirkmechanismen des Wassernebels:

Schnelle Absenkung der Brandraumtemperaturen und damit

- eine Reduzierung der Beanspruchung von Bauteilen
- eine Verlangsamung der Reaktionsgeschwindigkeit
- eine Reduzierung der Abbrandrate bzw. der Wärmefreisetzung
- ein Unterbinden des Flammenaustritts aus dem Fenster und damit
- die Verhinderung einer Brandausbreitung u.a. über die Außenfassade

- Reduzierung der Brand- und Rauchausbreitung in angrenzende Räume und Treppenträume.
- Verringerung der Kontamination von angrenzenden Räumen und Treppenträumen durch Ruß und andere Brandpyrolyseprodukte.
- Keine Gefährdung durch Wasserdampfbildung beim Löschangriff mit Wassernebel aufgrund der geschlossenen Tür.
- Reduzierung der Gefährdung bei Bränden in besonderen Objekten z.B. in Laboratorien, in denen mit biologischen, chemischen oder radioaktiven Stoffen umgegangen wird.

Forschungsbericht

Flashover / Backdraft

Ursachen, Auswirkungen, mögliche Gegenmaßnahmen

Nr. 130, im Auftrag der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung,

Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH),

Karlsruhe, 2003

<http://www.ffb.kit.edu/392.php>