



[www.ffb.kit.edu](http://www.ffb.kit.edu)

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

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

## Brandschutz in mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen

### Einsatz von Wasser- und Gaslöschanlagen

- Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden – Allgemeine Gefährdungsdarstellung
- Biologische Gefährdung – Besonderheiten in Gebäuden mit mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen S3 und S4
- Eigenschaften von ortsfesten Löschanlagen (Sprinkler, Wassernebel, Inertgas, Sauerstoffreduktion, Halonersatzstoffe)
- Beurteilungskriterien für den Einsatz von ortsfesten Löschanlagen in mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen

# 1. Gefährdungen durch Brandrauch

- Bereits in der **Brandentstehungsphase (Schwelphase)** bilden sich große Mengen an **hochtoxischem Brandrauch**.
- Innerhalb weniger Minuten: **Bewusstlosigkeit** oder **Tod**
- **Orientierung im Raum schwierig bis unmöglich.**
- **Personen werden im Brandraum zumeist und in erster Linie**
  - durch die aus der **Inneneinrichtung der Räume** resultierende Brandlast
  - und erst im **weiteren Brandverlauf durch die Brandlast, welche die Gebäudekonstruktion beinhaltet, gefährdet.**

# 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:**
  - Arbeitsplatzgrenzwert (AGW-Wert): 5000 ppm\*) (0,5 Vol.-%)
  - 3 - 4 Vol.-% (Kurzezeitwirkung.): 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:**
  - AGW-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: **Brandraum in Massivbauweise - Flashover: ca. 3 Min.**

- 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 Kohlenmonoxid-Konzentration in ihrer Zusammenwirkung den (menschlichen bzw. tierischen) Organismus schädigen, ist bis jetzt unzureichend geklärt.

\*) 1 Vol.-% = 10.000 ppm    \*\*) Meßstelle: zentral, 1,5 m über dem Brandraumboden

## 2. 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**, die im 1/100 - s- Bereich abläuft.
- Zündquellen sind z.B. die im Brandraum herrschende Temperatur, Bereiche mit Flammenbildung oder glimmende Bereiche
- **Besondere Gefährdung durch Feuerball, Stichflammenbildung, umherfliegende Teile und Glassplitter.**
- Es gibt kein sicheres Anzeichen für einen bevorstehenden Backdraft

# Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Backdraft

- O<sub>2</sub>-Konzentration im Raum unter 15 Vol.-%
- Raumtemperatur ist hoch
- CO und unverbrannter Kohlenstoff können einen Backdraft bewirken

Hot Smoldering

- Geringe Sauerstoffkonzentration
- große Wärme
- Schwelbrand
- Hohe Konzentration an brennbaren Brandzersetzungsprodukten

Prebackdraft

Einmischung von Luftsauerstoff führt zu einer Verpuffung

Backdraft

Quelle: Wieder, M.A. et al.: Essentials of Fire Fighting, The International Fire Service Training Association, Fire Protection Publications, Oklahoma State University, 1992  
Deutsche Übersetzung: KIT-FFB

# Auswahl brennbarer Brandpyrolysegase

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

## • Deflagration (Verpuffung)\*)

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

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront: bis ca. 10 m/s

Druck: weniger als 0.01 MPa (0,1 bar)

### **Backdraft**

**maximale Drücke bis zu 1.243 Pa (0,001243 MPa = 0,01243 bar)\*\*)**

## • Explosion\*)

Da die gebildeten Verbrennungsprodukte nicht genügend schnell entweichen können und in kurzer Zeit große Wärmemengen freigesetzt werden, erfolgt ein Druckaufbau.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit 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.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront: bis 4000 m/s

Druck: bis 10 MPa (100 bar)

\*) Quelle: 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

\*\*) Quelle: Gottuk, D. T. et al.: The development and mitigation of backdraft: a real-scale shipboard study. Fire Safety Journal 33 (1999), p. 261 – 282,



## 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

# 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.

# Rollover / Rauchdurchzündung:

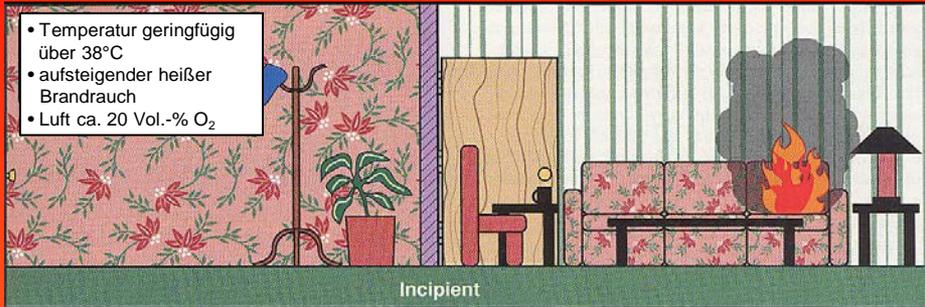
- **Überhitzte zündfähige Brandpyrolysegase bilden zusammen mit bereits verbrannten Produkten eine Rauchschiicht unter der Raumdecke.**

Bei eingeschränkter Sauerstoffzufuhr wächst die Konzentration der brennbaren Gase (im Regelfall bei hoher Konzentration von Kohlenmonoxid) in der Rauchschiicht trotz vorhandener Zündquelle über die obere Zündgrenze an, so dass die weitere Verbrennung unterbleibt (Flammenzungen entstehen jedoch an der Grenzschicht Rauch/Luft, wo noch ein zündfähiges Konzentrationsverhältnis vorliegt).

- **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 Nachbarräum ausbreiten und z.B. die Feuerwehreinsatzkräfte überrollen, wobei diese Entstehung im 1/10-s-Bereich erfolgen kann.**
- Durchzündung der Rauchschiicht erfolgt ohne signifikanten Druckanstieg bei gerade ausreichender Sauerstoffzufuhr.
- Zunächst brennen nur die Brandpyrolysegase, nicht die Raumeinrichtung (mit Ausnahme des Brandherdes).

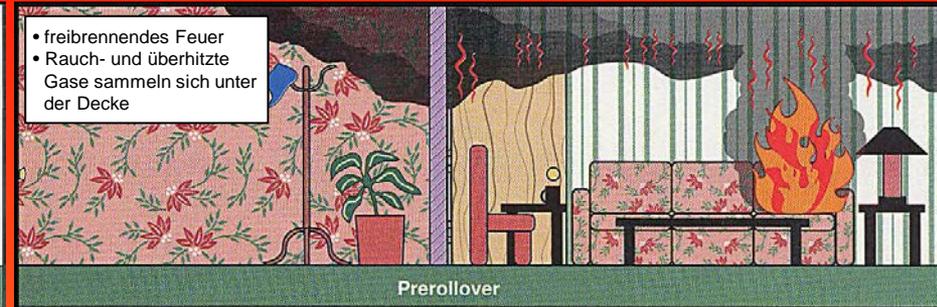
# Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Rollover

- Temperatur geringfügig über 38°C
- aufsteigender heißer Brandrauch
- Luft ca. 20 Vol.-% O<sub>2</sub>



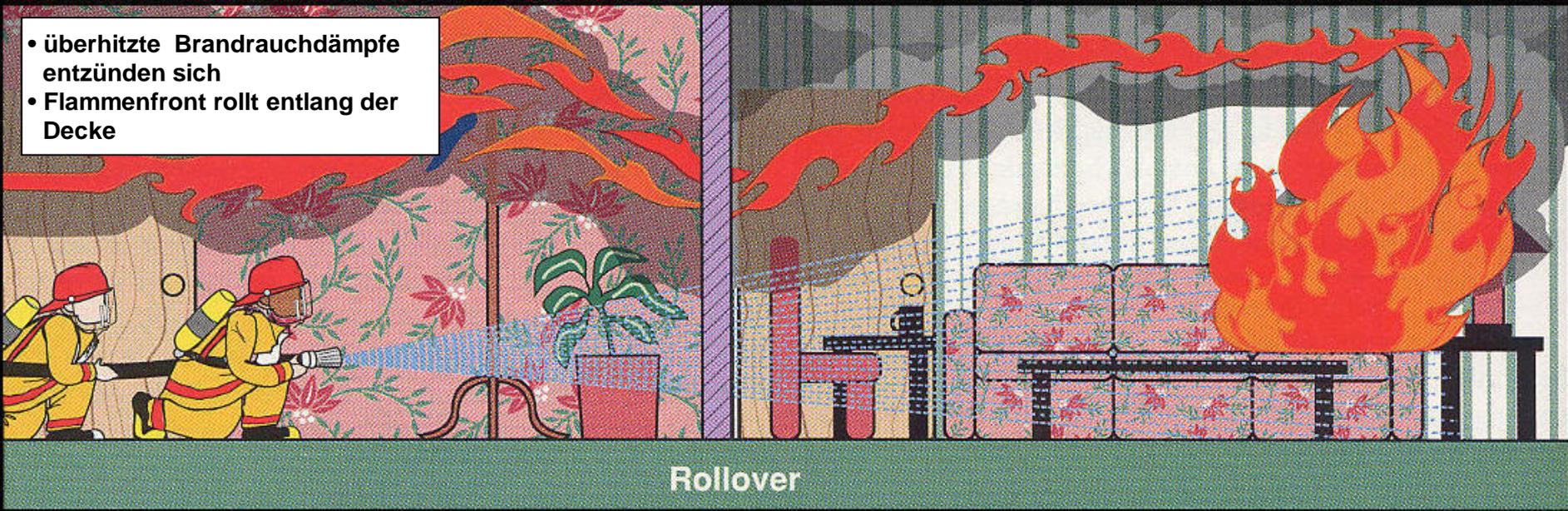
Incipient

- freibrennendes Feuer
- Rauch- und überhitzte Gase sammeln sich unter der Decke



Prerollover

- überhitzte Brandrauchdämpfe entzünden sich
- Flammenfront rollt entlang der Decke



Rollover

Quelle: Wieder, M.A. et al.: Essentials of Fire Fighting, The International Fire Service Training Association, Fire Protection Publications, Oklahoma State University, 1992  
Deutsche Übersetzung: KIT-FFB

# Beispiele für Rollover



## Rollover

während eines Brandversuches an  
einem Industrieleichtdach an der FFB



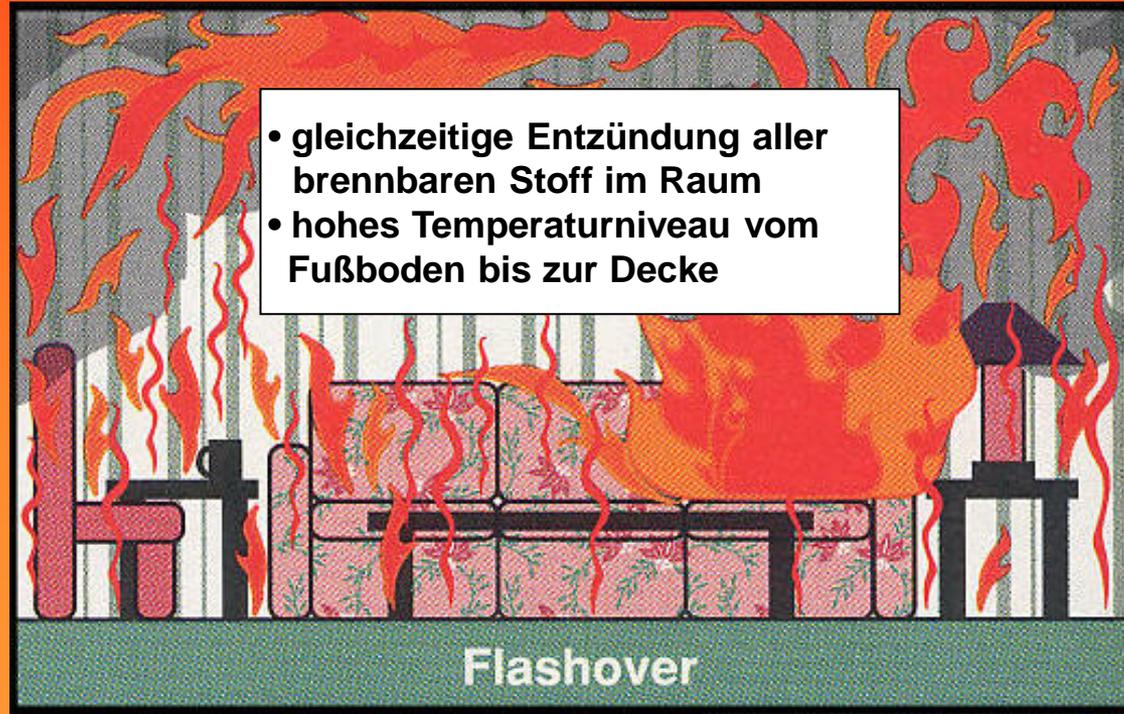
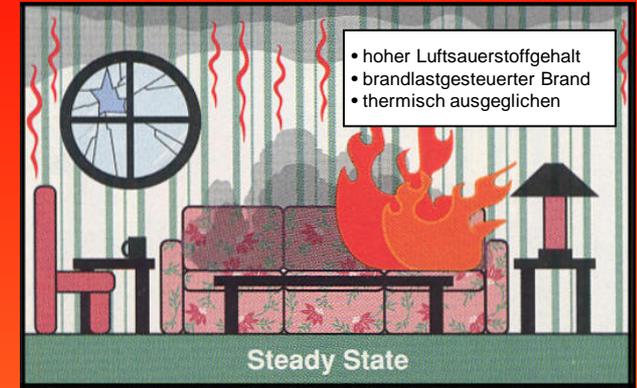
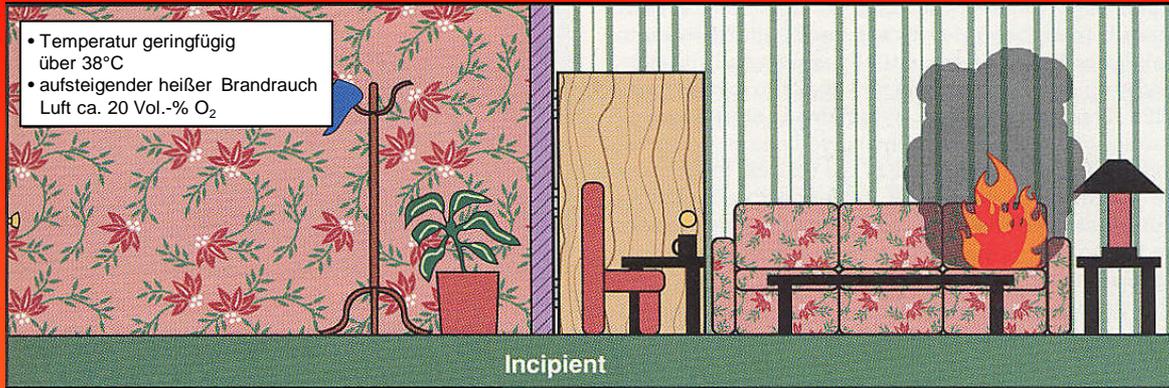
## Rollover

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 aus der heißen Rauchschiicht** unterhalb der Decke **soweit aufgeheizt** hat, dass innerhalb sehr kurzer Zeit die Produktion von **brennbaren Pyrolysegasen erheblich ansteigt**.
- Es bilden sich zunächst Flammenzungen an der Grenzschicht Rauch/Luft an den Stellen, wo ein zündfähiges Konzentrationsverhältnis vorliegt.  
Durch weitere Vermischung mit der im Raum vorhandenen Luft entsteht ein zündfähiges Gemisch, das durch die vorhandenen Flammen oder durch andere Zündquellen gezündet wird.
- Der Flashover setzt dann ein, wenn:
  - **Wärmestrahlung aus Flammen und Rauchschiicht auf die brennbaren Materialien (bzw. deren Oberflächen): ca. 20 kW/m<sup>2</sup>:**  
Zündkriterium ist das Überschreiten dieser Grenz-Wärmestrahlung
  - **Temperatur in der Rauchschiicht: ca. 500 - 600°C**
- Der Flashover ist weiterhin verbunden mit Rußanreicherung und Sauerstoffverringerng in der Rauchschiicht mit kurzfristigem Temperaturabfall infolge verminderter Verbrennungsintensität. Ein Flashover erfolgt im Regelfall im einstelligen Sekundenbereich.
- **Nach dem Flashover brennt in der Regel das gesamte im Raum befindliche brennbare Material.** Der Flashover ist im Gegensatz zu Rollover und Backdraft nur mit einem sehr geringen Druckanstieg verbunden.
- Beim Flashover erfolgt der Übergang vom brandlast- zum ventilationsgesteuerten Brand => Übergang von der Brandentwicklungsphase zum stationären Abbrand (=> Vollbrand)

# Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Flashover



# Beispiel Flashover bei einem **Wohnzimmerbrand** (FFB)



## Brandraum mit Wohnzimmereinrichtung vor dem Versuch

Brandraum: 25 m<sup>2</sup>, Höhe: ca. 2,7 m, Öffnung: ca. 10 m<sup>2</sup>  
Brandlast: 500 kg Möbel



**Flashover** nach 12 min 18 s  
Deckentemperatur (zentral): **720°C**

**Vollbrand** nach 12 min 42 s (= + 24 s):  
Max. Wärmefreisetzung (Brutto): ca. 19 MW  
Deckentemperatur (zentral): **1120°C**

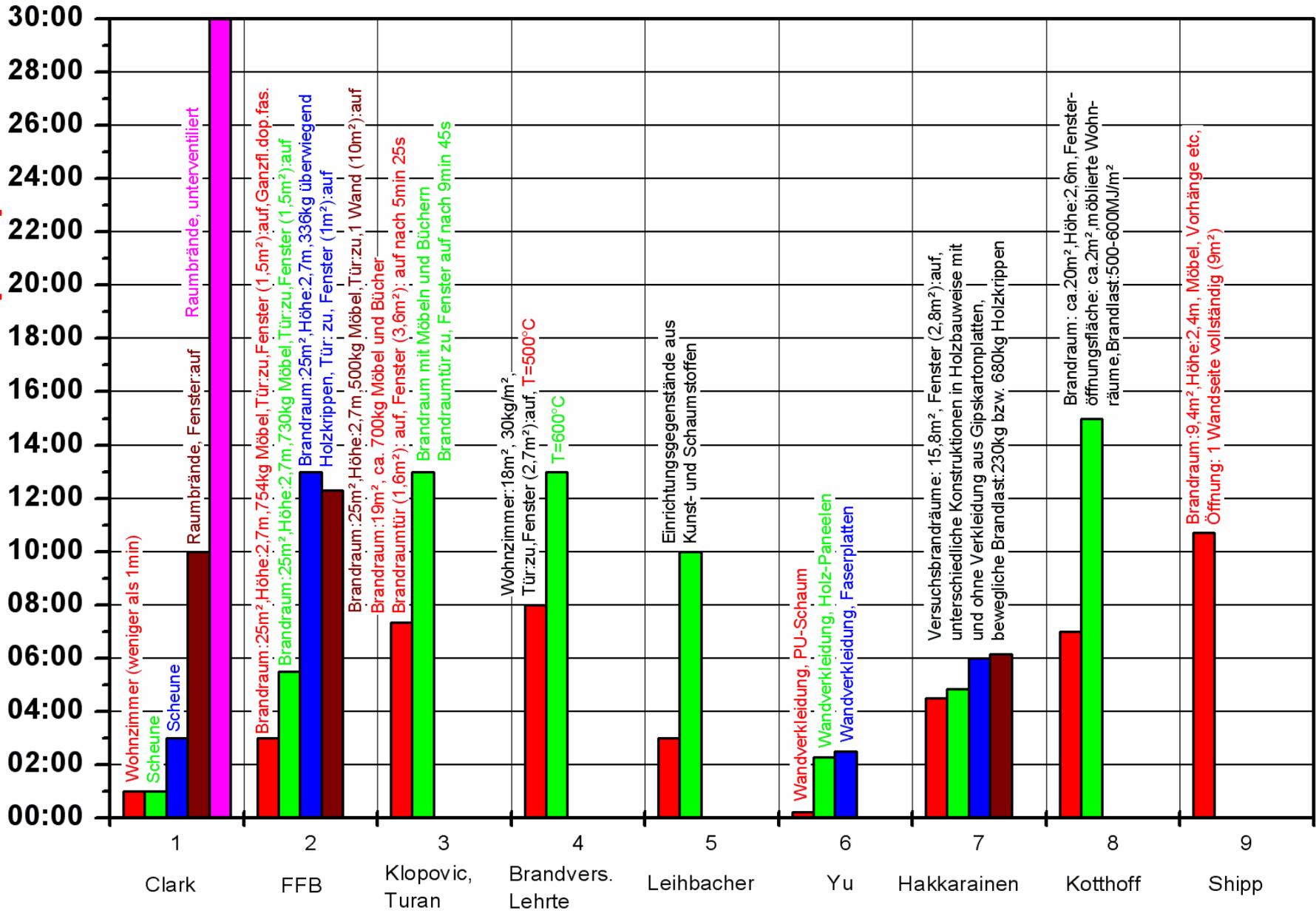
Siehe Videofilm auf der Webseite der Forschungsstelle für Brandschutztechnik

## Brandraum nach der Brandbekämpfung



Quelle: Brandversuch in der Brandversuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Karlsruhe, 2004

# Zeit bis zum Flashover [min:s]



Literaturquelle

# Brand im Wohnzimmer (FFB, Brandraum: 25 m<sup>2</sup>) mit Löscheinsatz der Feuerwehr beim **Vollbrand**



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

Ohne Windeinfluss auf Raumöffnungen, da Versuch in **geschlossener Versuchshalle** stattfindet.  
Fußboden des Brandraumes ca. 60 cm höher als der Fußboden der Brandversuchshalle.

# Druckbehälterzerknall und BLEVE \*)

- **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 (Boiling-Liquid-Expanding-Vapour-Explosion)**. 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.**

\*) Quelle: Knorr, H.-H.: Die Gefahren der Einsatzstelle., W. Kohlhammer Verlag, 7. Auflage, Stuttgart, 2000

## Besondere Problematik bei Acetylenflaschen - (1) <sup>\*)</sup>

- 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.

<sup>\*)</sup> Quelle: Knorr, H.-H.: Die Gefahren der Einsatzstelle., W. Kohlhammer Verlag, 7. Auflage, Stuttgart, 2000

## 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 Acetylen 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.

# Charakterisierung der Gefährlichkeit von Krankheitserregern

## Inkubationszeit

**Zeit, zwischen der Infektion mit einem Krankheitserreger und dem Auftreten der ersten Symptome der Krankheit.**

Noroviren:	ca. 10 – 50 Stunden
Tuberkulose (Bakterien):	ca. 6 Wochen bis mehrere Jahrzehnte

## Minimale Infektionsdosis (ID)

**geringste zum Starten einer Infektion erforderliche Erregermenge**

Salmonellen (Bakterien):	ID = $10^4$ bis $10^6$ Erreger
Noroviren:	ID = 10 bis 100 Erreger
Pest (Bakterien):	ID = 1 Erreger

## Kontagiosität

**Ansteckungsfähigkeit eines Erregers**

Hohe Kontagiosität:	Pest, Influenza, Masern
Niedrige Kontagiosität:	Diphtherie, Typhus und AIDS
Keine Kontagiosität:	Malaria und Tetanus

## Manifestationsindex

**Wahrscheinlichkeit mit der eine mit einem Erreger infizierte Person (oder im weiteren Sinne: ein Lebewesen) erkennbar erkrankt**

Maul- und Klauenseuche (MKS):	über 95% (Ansteckung beinahe immer)
Borreliose (=> Zecken):	10 – 33 %.

Organismus	Risikogruppe	Inkubationszeit
Norovirus	2	ca. 10 – 50 Stunden
Botulismus (Clostridium botulinum Bakterien)	2	ca. 12 – 36 Stunden, gelegentlich mehrere Tage
Rotavirus	2	ca. 24 – 72 Stunden
Influenzavirus	2 oder 3 je nach Typ	ca. 1 – 3 Tage
Pest (Yersinia pestis Bakterien)	3	ca. 1 – 7 Tage
Legionärskrankheit (Legionellen Bakterien)	2	ca. 2 – 10 Tage
FSME-Virus (Frühsommer-Meningoenzephalitis-Virus), TBEV-Virus (Tick-borne encephalitis-Virus)	3 (gem. Organismenliste v. 15.6.10) 3** (gem. Organismenliste v. 1.3.01)	ca. 7 – 14 Tage
Masernvirus	2	ca. 7 – 18 Tage
Ebolavirus	4	ca. 2 – 21 Tage
Poliovirus	2	ca. 3 – 35 Tage
Milzbrand (Anthrax Bakterien)	3	ca. 1 – 7 Tage, gelegentlich bis zu 60 Tage
Salmonellen (Bakterien)	2 oder 3** je nach Typ	je nach Gattung ca. 1 – 10 Tage oder ca. 3 – 60 Tage, gewöhnlich 8 – 14 Tage. oder ca. 6 – 72 Std.
Hepatitis-B-Virus	2 (gem. Organismenliste vom 5.6.10) 3** (gem. Organismenliste vom 1.3.01)	ca. 45 – 180 Tage
Tollwut (Lyssa-Virus, Rabiesvirus)	3** oder 3 je nach Typ	wenige Tage bis 8 Wochen, selten bis zu 7 Jahren
Lepra (Mycobacterium leprae)	3	ca. 9 Mon. bis 20 Jahre
Tuberkulose (Bakterien)	3** oder 3 je nach Typ	ca. 6 Wochen bis mehrere Jahrzehnte
Creutzfeld-Jakob-Krankheit (CJK, Prionen, BSE)	3** (gem. Untersuchungen von Haybaeck et al. Zürich, Tübingen, 2011 können Prionen über die Luft übertragen werden)	ca. 12 Mon. bis 30 Jahre, evtl. länger

Quelle: Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für gentechnische Arbeiten.  
Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Braunschweig, Berlin 2001 und 2010

Bei **gezielten Tätigkeiten** korrespondiert die erforderliche Schutzstufe mit der Risikogruppe des verwendeten biologischen Arbeitsstoffes.

Bei **nicht gezielten Tätigkeiten** mit biologischen Arbeitsstoffen ist das mögliche Spektrum von biologischen Arbeitsstoffen zu ermitteln bzw. abzuschätzen.

- **Die Einstufung biologischer Arbeitsstoffe in bestimmte Sicherheitsstufen ist kein abgeschlossener Prozess**, sondern kann sich aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse ändern. **Ggf. muss überprüft werden, ob die Sicherheitsmaßnahmen in den entsprechenden Laboren angepasst werden müssen.**
- Aufgrund der teilweise **sehr langen Inkubationszeiten** dürfte es **schwierig** sein, den **Ort und Zeitpunkt einer Infektion** genau zu ermitteln.
- **Die Eingruppierung der Tätigkeiten hat Auswirkungen auf den Einsatz von Feuerwehr und Rettungskräften**, wenn diese am Einsatzort die erforderlichen Maßnahmen ergreifen müssen, aber das zuständige fachkundige Laborpersonal für die Beratung nicht zur Verfügung steht.

## Sicherheitsmaßnahmen (Auswahl) für den Laborbereich der Sicherheitsstufe 3: \*)

- **Labor muss von seiner Umgebung abgeschirmt sein.**
- **Fenster dürfen nicht zu öffnen sein.**
- **Labor unter ständigem Unterdruck** sofern mit **pathogenen Organismen** gearbeitet wird, für die eine **Übertragung durch die Luft** nicht ausgeschlossen werden kann.
  - **Abluft über Hochleistungsschwebstoff-Filter**
  - **Schleuse**, über die das Labor zu betreten und zu verlassen ist.
- **Zu sterilisierende Abwässer sind grundsätzlich einer thermischen Nachbehandlung zu unterziehen:**
  - Sammeln in Auffangbehältern und Autoklavierung oder zentrale Abwassersterilisation. Alternativ können auch erprobte chemische Inaktivierungsverfahren eingesetzt werden.
  - Die Rückführung kontaminierter Abluft in Arbeitsbereiche ist unzulässig.

\*) Quelle: Verordnung über die Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnischen Arbeiten in gentechnischen Anlagen (Gentechnik-Sicherheitsverordnung – GenTSV), Ausfertigungsdatum: 24.10.1990, zuletzt geändert: 18.12.2008

# Sicherheitsmaßnahmen (Auswahl) für den Laborbereich der Sicherheitsstufe 4: \*)

- **selbstständiges Gebäude** oder, als Teil eines Gebäudes, **durch einen Flur oder Vorraum deutlich von den allgemein zugänglichen Verkehrsflächen abgetrennt.**
- Das **Labor soll keine Fenster** haben.
  - Sind Fenster vorhanden, müssen sie dicht, bruchstabil und dürfen nicht zu öffnen sein.
- **Alle Türen selbstschließend:** Jedes unbeabsichtigte oder unerlaubte Betreten des Labors ist zu verhindern
- **ständiger Unterdruck** gegenüber der Außenwelt.
  - Belüftung des Labors über eigenes Ventilationssystem.
- **Die Abluft aus dem Labor muss so aus dem Gebäude gelangen, dass eine Gefährdung der Umwelt nicht eintreten kann.**
  - **Druckstaffelung:** Der Unterdruck muss vom Vorraum bis zum Arbeitsraum jeweils zunehmen.
  - **Zu- und Abluft des Labors über zwei aufeinanderfolgende Hochleistungsschwebstoff-Filter**
- **Durchreicheautoklav**
- **Flüssigkeitsleitungen** sind durch **keimdichte Filter** zu schützen.

\*) Quelle: Verordnung über die Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnischen Arbeiten in gentechnischen Anlagen (Gentechnik-Sicherheitsverordnung – GenTSV), Ausfertigungsdatum: 24.10.1990, zuletzt geändert: 18.12.2008

# Brandrisiken und Folgeschäden bei einem Brand – (1)

- **Verschiedene mikrobiologische und gentechnischen Bereiche**  
**Labore Produktionsbereiche Gewächshäuser Tierhaltungsbereiche**
- **mit sehr unterschiedlichen Arten von Brandlasten**
  - Elektr. Leitungen, EDV, elektron. Messgeräte (=> Defekte, Kurzschlüsse, Überlast, etc.)
  - Kunststoffkäfige in großer Anzahl in Käfiggestellen
  - Futtermittel, Streu
  - brennbare Flüssigkeiten, wie z. B. Desinfektionsmittel (Alkohole, Peressigsäure etc.)
  - Kühlgeräte, Wärmeschränke
  - Druckbehälter mit technischen Gasen mit zum Teil brennbarem Nutzinhalt (problematisch, wenn sich diese nicht in geeigneten Sicherheitsschränken befinden ).
- Die **Sicherheitsstufen von mikrobiologischen und gentechnischen wurden für den Normalbetrieb einer Anlage** entwickelt.
- **Extremsituationen eines Brandgeschehens** sind hierbei ggf. **nicht berücksichtigt**.
  - z.B. ggf. andere Brand- und Rauchausbreitung infolge der Luftzirkulation (Luftwechsel: ca. 8 bis 10 [1/h]) in den S3 / S4- Bereichen => geeignete Branddetektion erforderlich

# Brandrisiken und Folgeschäden bei einem Brand – (2)

- **Biologische Arbeitsstoffe sind nicht hitzebeständig. Sie werden durch direkte Beflammung oder zu hohe Temperaturen abgetötet.**
  - Die Temperaturverteilung in einem Brandraum ist jedoch von vielen Parametern abhängig. Es kann daher **nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass im Brandfall (z.B. bei einem Entstehungsbrand) alle biologischen Arbeitsstoffe vernichtet werden.**
- **Brandschäden und Dekontamination nach einem Brand**
- **Verlust von Forschungsergebnissen und teuren Versuchstieren**
- **Finanzielle Verluste aufgrund der Betriebsausfallunterbrechung**
- **Im Brandfall ergibt sich für Feuerwehreinsatzkräfte ohne frühzeitige Brandbekämpfung durch eine ortsfeste Löschanlage ein erhöhtes Gefährdungspotential**, da nach Feuerwehrdienstvorschrift FwDV 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“ sowohl
  - der **Kontaminationsschutzanzug** (A-Einsatz, Körperschutz Form 2),
  - der **Infektionsschutzanzug** (B-Einsatz, Körperschutz Form 2) und
  - der **ABC-Schutzanzug** (Körperschutz Form 3)**im Allgemeinen nicht zur Brandbekämpfung bei höheren Temperaturen zulässig ist.**

## Brandrisiken und Folgeschäden bei einem Brand – (3)

- Das **Schaffen einer Öffnung bei einem Brand** (Öffnen einer Tür oder Zerstörung einer Verglasung) hat einen ganz **entscheidenden Einfluss auf den weiteren Brandverlauf**, ob es zum Beispiel aufgrund einer zunächst nicht zerstörten Verglasung beim Öffnen zu einer **Rauchgasdurchzündung** oder einem **Backdraft** kommt oder ob bei ausreichender Ventilation ein **Flashover** eintritt.
- **Gerade die Dichtigkeitsanforderungen in Verbindung mit den Eigenschaften von Verglasungen (dichte bruchssichere Fenster) können bei den beschriebenen Laboren und Bereichen der Sicherheitsstufen S3 und S4 zu diesen kritischen Zuständen beim Brand führen.**
- Es besteht daher **Untersuchungsbedarf für den Fall, wie groß eine evtl. Gefährdung durch Rauchdurchzündung oder Backdraft ist, wenn die Lüftungsanlage des Labors im Brandfall durch Brandschutzklappen abgeschottet wird oder Brandrauch nicht ausreichend durch die Lüftungsanlage abgeführt wird. (=> z. B. unbeaufsichtigter Betrieb in der Nacht)**

Wird das Labor zu einem späteren Zeitpunkt wieder geöffnet, **ohne dass der Brand zwischenzeitlich z. B. durch das Laborpersonal oder eine ortsfeste Löschanlage vollständig gelöscht wurde**, ist es denkbar, dass zündfähige Brandzersetzungserzeugnisse zu den obigen Brandphänomenen führen können.

# Maximale Betriebstemperaturen für Verglasungen

- **Einfachglas (Floatglas):**

maximale Dauertemperatur: ca. 60°C (kurzzeitig: 80°C),  
maximal 40 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche (z.B. zwischen Scheibenmitte und Scheibenrand) bei üblichen Umgebungstemperaturen.

- **Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG):**

maximale Dauertemperatur: ca. 250°C (kurzzeitig: 300°C),  
maximal 150 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche.

- **Teilvorgespanntes Glas (TVG):**

maximale Dauertemperatur: ca. 200°C,  
maximal 100 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche.

- **Verbund-Sicherheitsglas (VSG):**

maximale Dauertemperatur: ca. 60°C (kurzzeitig: 80°C),  
maximal 40 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche.

- **Brandschutzverglasungen** und **Verglasungen mit erhöhter Widerstandsklasse**  
(z.B. gegen Einbruch) sind gesondert zu betrachten.

**Ein wesentlichen Einfluss auf Bruchverhalten von Verglasungen hat nicht nur die Glasart, sondern auch die Rahmenkonstruktion und das Rahmenmaterial (z. B. Kunststoff, Holz, Aluminium sowie verschiedene Dichtungswerkstoffe).**

## Brandrisiken und Folgeschäden bei einem Brand – (4)

- Die **Wirkung von Hochleistungsschwebstoff-Filtern** kann bereits wenige Sekunden nach Beginn eines Brandes durch verstopfende Rußpartikel **zum Erliegen kommen**.
- **Handelsübliche HEPA** (High Efficiency Particulate Air)- und **ULPA** (Ultra Low Penetration Air)-**Filter**:
  - **Max. Betriebstemperatur von 70°C bis kurzfristig 90°C**
  - **Max. zulässige relative Luftfeuchtigkeit: 100%**

# Branddetektion Auswahl – (1)

## • Brandmeldeanlage mit optischen Rauchmeldern (Streulichtprinzip)

**Vorteil:** schnellere Branderkennung als bei thermischen Auslöseelementen

**Problematik der Fehlauslösung** bei elektronisch gesteuerten automatischen Feuerlöschanlagen:

- **Verschmutzung** durch z.B. Staub, Aerosole, Insektenlarven  
=> vorzugsweise **Zweimelderabhängigkeit**: Brandmeldezustand wird erst nach Ansprechen zweier Melder einer Meldegruppe erreicht.  
=> Rauchmelder mit **automatischer Kompensation der Verschmutzung** durch automatische Messwertnachführung
- **Überspannungseinflüsse, Induktionen, indirekte Blitzeinwirkungen** => Schutz gegen Überspannungseinflüsse, Abschirmung des Meldernetzes
- **Verzögerte Auslösung aufgrund von Brandgasen, die schwerer als Luft sind** => insbesondere in der frühen Brandentwicklungsphase mit geringem thermischen Auftrieb, z. B. Kabelbrand: Chlorwasserstoff (HCl): Normdichte:  $1,63 \text{ kg/m}^3$  gegenüber Luft  $1,29 \text{ kg/m}^3$

• **Bei großem Staubanfall: Thermodifferentialmelder** oder **Brandgasmelder** (Kohlenmonoxid). => ggf. Einsatz von Mehrkriterienmeldern

• Bei gleichzeitiger Ansteuerung von Löschanlagen: möglichst **kleine Löschsektionen** zur Minimierung des Löschmittelschadens

• Lüftungskanal-Melder zur Überwachung der Lüftungskanäle

# Branddetektion Auswahl – (2)

## • Thermische Glasfass-Auslöseelemente

- Gefahr durch Fehlauslösung geringer als bei optischen Rauchmeldern, evtl. Fehlauslösung durch mechanische Zerstörung
- **Langsamere Auslösung als bei Rauchmeldern:** Bei thermischen Auslöseelementen ist es erforderlich, dass ein ausreichend großer Temperaturanstieg verbunden mit einer entsprechenden Luft-/ Brandgasströmung am Auslöseelement vorhanden ist.

=> Verwendung von schnellen Auslöseelementen mit kleinem Response Time Index (RTI-Wert)  $< 50 \text{ (ms)}^{1/2}$  : z. B. Fast F3:  $32 \text{ (ms)}^{1/2}$  oder Super Fast F2:  $19 \text{ (ms)}^{1/2}$

- **Problematisch sind Brände mit viel Rauch und geringer Wärmeentwicklung.**

## • Einsatz von Wärmebildkameras

# Branddetektion Auswahl – (3)

## • Rauchansaugsystem (RAS)

- Durch einen integrierten Lüfter entnimmt das Rauchansaugsystem über ein angeschlossenes Rohrsystem mit definierten Ansaugbohrungen kontinuierlich Luft aus dem Überwachungsbereich.
- Die Luftproben werden der Detektionseinheit zugeführt und dort mittels
  - optischem Rauchmeldern
  - Laserdetektoren (Partikelzählprinzip, höhere Empfindlichkeit, kein Filter erforderlich)  
analysiert.
- Zweimelderabhängigkeit ist möglich.
- Ein Rauchansaugsystem kann bis zu ca. 50 Ansaugöffnungen aufweisen (systemabhängig).
- Die Ansaugöffnung kann bis zu 100 m entfernt sein (systemabhängig).
- Luftstromüberwachungen erkennen evtl. Verstopfungen und Rohrbrüche.
- Scanner-Rauchmelder können ermitteln, welches Rohr rauchhaltige Luft führt (bis zu 4 Bereiche (systemabhängig)). Im Alarmfall wird dann der dem jeweiligen Rohr zugeordnete Ausgang aktiviert.

# **Spezielle Problematik bei der Branddetektion in mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen der Sicherheitsstufen 3 und 4**

**Inaktivierung und Dekontamination auch der ggf. teuren  
und empfindlichen Brandmeldetechnik durch thermische,  
chemisch / thermische oder chemische Verfahren  
erforderlich.**

**=> Bei der Beschädigung durch diese Verfahren ist ein  
Austausch erforderlich.**

# Brandklassen

- A:** Brände fester Stoffe, hauptsächlich organischer Natur, die normalerweise unter Glutbildung verbrennen  
z.B. Holz, Papier, Stroh, Textilien, Gummi, verschiedene Kunststoffe
- B:** Brände flüssiger und flüssig werdender Stoffe mit Flammenbildung  
z.B. Benzin, Öl, Lack, Alkohol, Wachs, thermoplastische Kunststoffe
- C:** Gasförmige, unter Flammenbildung brennende Stoffe  
z.B. Methan, Propan, Wasserstoff
- D:** Brände von Metallen  
z.B. Aluminium, Magnesium
- F:** Brände von Speiseölen/-fetten (pflanzliche oder tierische Öle und Fette) in Frittier- und Fettbackgeräten und anderen Küchen-Einrichtungen und -geräten

# Schutz von Gebäuden durch ortsfeste Wasserlöschanlagen

- Sprinkleranlage
- Wassernebellöschanlage (Feinsprühlöschanlage)  
Nieder-, Mittel-, Hochdruck-Ausführung

## Normen und Richtlinien (Auswahl): **Sprinkleranlage**

- VdS CEA 4001:** Richtlinien Sprinkleranlagen - Planung und Einbau  
**DIN 14489:** Sprinkleranlagen - Allgemeine Grundlagen  
**DIN EN 12259:** Bauteile für Sprinkler- und Sprühwasseranlagen (Entwurf)  
**DIN EN 12845:** Automatische Sprinkleranlagen - Planung und Installation (Entwurf)  
**NFPA 13:** Standard for the Installation of Sprinkler Systems

## Normen und Richtlinien (Auswahl): **Wassernebellöschanlage**

- VdS 2109:** Sprühwasserlöschanlagen - Richtlinien für Planung und Einbau  
**CEN/TS 14972:** Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Feinsprüh-Löschanlagen - Planung und Einbau  
**NFPA 750:** Standard on Water Mist Fire Suppression Systems

# Wasserlöschanlagen – allgemeine Eigenschaften - (1)

- **besonders umweltfreundliches Löschmittel**
  - keine Gefährdung durch toxische Zersetzungsprodukte
  - keine Gefährdung durch Sauerstoffmangel beim Löschvorgang
  - keine Verbrühungsgefahr durch heißen Wasserdampf, wenn die Löschanlage in der Brandentwicklungsphase ausgelöst wird
- **90 % aller Brände sind mit Wasser löschar**
- **besondere Vorteile bei glutbildenden Brandstoffen (z.B. Holz)**
  - Wasser hat die höchste Verdampfungswärme (2.257 KJ/kg) von allen als Löschmittel in Frage kommenden Stoffen
- **Verschlechterung der Sicht durch Wasserdampf- / Brandrauch-Aerosol beim Löschvorgang**
  - insbesondere bei verspäteter Auslösung der Löschanlage je nach Typ der Wasserlöschanlage
- **unterschiedlich hohe Löschwasserschäden** in Abhängigkeit von der Anlagentechnik in (Sprinkler, Niederdruck- und Hochdruck-Wassernebel)
  - **Löschwirksamkeit entsprechend der Brandlast beachten!**

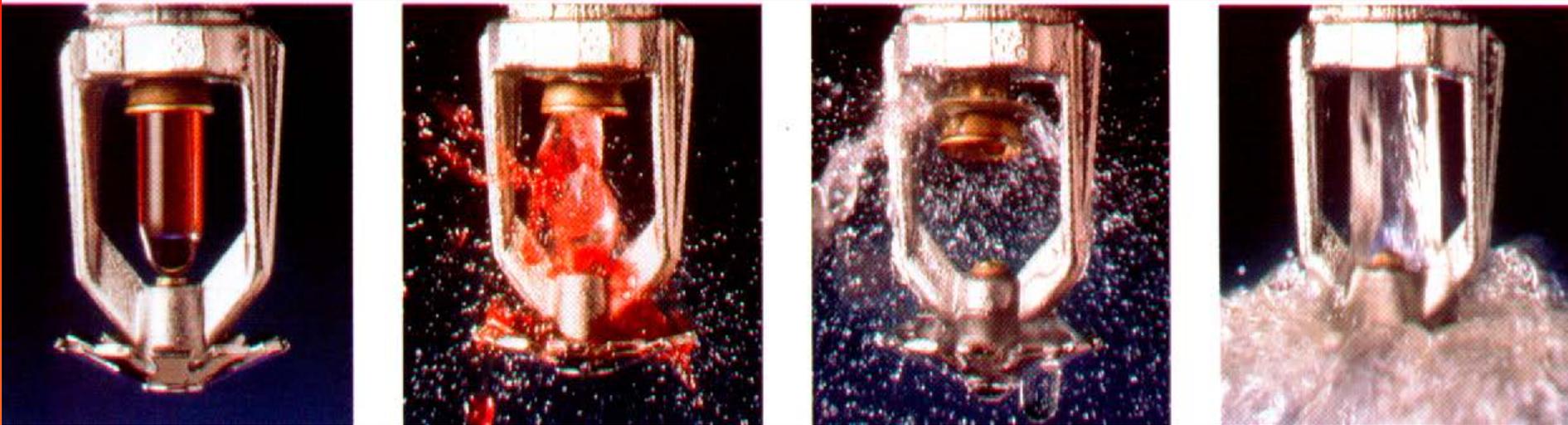
# Wasserlöschanlagen – allgemeine Eigenschaften - (2)

- **Ventilationsverhältnisse beeinflussen und verzögern möglicherweise die Auslösung und die Löschwirkung**
  - z.B. natürliche oder maschinelle Rauchabzüge, Windeinfluss auf Fenster- bzw. Türöffnungen) => Einfluss umso größer, je feiner die Tropfen sind.
- **Anwendungsgrenzen - der Einsatzbereich von Wasser ist zu überprüfen z.B. für**
  - Elektrische Betriebsräume
  - Räume zur Lagerung brennbarer Flüssigkeiten
  - Explosionsgefährdete Anlagen
  - Stoffe, die nicht mit Wasser gelöscht werden dürfen wie z.B. Leichtmetalle und deren Legierungen wie Aluminium, Magnesium (Bildung von Wasserstoff => Knallgasreaktion).
- **Stagnation des Wassers in den Anlagenteilen erfordert ggf. besondere hygienische Aufmerksamkeit**
  - Löschwasserversorgung und –speicherung
  - Löschwasser ist ggf. auf Legionellen etc. zu überprüfen
  - Besonders zu beachten bei Krankenhäusern, Altenheimen, mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen

# Sprinkleranlage

- **Sprinkler sind durch thermische Auslöseelemente (zumeist Glasfass) verschlossene Düsen mit einem Sprühteller (Deflektor), von denen jeder unabhängig von den anderen auslösen kann.**
  - Verwendung von möglichst **schnellen thermischen Auslöseelementen mit kleinem Response Time Index (RTI-Wert)**, also solchen mit geringer Wärmeträgheit, ist empfehlenswert
  - mittlerer Tropfendurchmesser hier: Sauter-Durchmesser  $D_{32} = 400 - 1.200 \mu\text{m}$
- **Ziel der Sprinkleranlage ist es, einen Brand selbständig zu entdecken, Alarm auszulösen und das Schadenfeuer bis zum Eintreffen der Feuerwehr unter Kontrolle zu halten oder günstigstenfalls zu löschen.**
  - **Löschmechanismus:**
    - hauptsächlich Kühlwirkung der relativ großen Wassertropfen auf der brennenden Oberfläche
    - Vornässen der Brandnahbereiche behindert Brandausbreitung

# Funktionsweise eines Sprinklers mit Glasfaßauslöseelement



Beim Erreichen der Auslösetemperatur der Sprinklerflüssigkeit zerplatzt das Glasfaß, das Verschlußelement wird durch den Wasserdruck herausgedrückt und das Wasser strömt, durch den Sprühteller (Deflektor) verteilt, auf den Brandherd bzw. je nach Sprinklertyp auch teilweise zur Decke.

=> Verwendung von möglichst schnellen thermischen Auslöseelementen mit kleinem Response Time Index (RTI-Wert)  $< 50 \text{ (ms)}^{1/2}$  : z. B. Fast F3:  $32 \text{ (ms)}^{1/2}$

## Löschmechanismus:

Hauptsächlich **Kühlwirkung der relativ großen Wassertropfen** (mittlerer Tropfendurchmesser hier: Sauter-Durchmesser  $D_{32} = 400 - 1.200 \text{ }\mu\text{m}$ ) auf der brennenden Oberfläche des Brandstoffes => Wasser hat die höchste Verdampfungswärme ( $2.257 \text{ KJ/kg}$ ) von allen als Löschmittel in Frage kommenden Stoffen.

**Vornässen der Brandnahbereiche** behindert Brandausbreitung

# Maximale Schutzfläche je Sprinkler, Brandgefahrenklassen, Mindestwasserbeaufschlagung, Wirkfläche, Mindestwirkzeit

VdS CEA 4001 : 2003-01 (01)

Sprinkleranlagen, Planung und Einbau

Brandgefahrenklasse	1. Maximale Schutzfläche je Sprinkler  m <sup>2</sup>	Maximale Abstände in Bild 11.01			
		Normal-Sprinkleranordnung		Versetzte Sprinkleranordnung	
		S	D	S	D
		m	m	m	m
LH	21,0	4,6	4,6	4,6	4,6
OH	12,0	4,0	4,0	4,6	4,0
HHP und HHS	9,0	3,7	3,7	3,7	3,7

**Tabelle 11.01:** Maximale Schutzfläche und Abstände für Sprinkler außer Seitenwandsprinkler

**1. Maximale Schutzfläche:** Maximale Fläche, für die ein Sprinkler eingesetzt werden kann.

**2. Wasserbeaufschlagung:** Mindestmenge Wasser in mm/min, für die eine Sprinkleranlage ausgelegt ist, ermittelt aus der Ausflussrate an einer bestimmten Gruppe von Sprinklern, in l/min, geteilt durch die Schutzfläche, in m<sup>2</sup>

**3. Wirkfläche:** Angenommene maximale Fläche, über der für die Auslegung davon ausgegangen werden kann, dass Sprinkler bei einem Brand öffnen.

Sprinkleranlagen, Planung und Einbau

VdS CEA 4001 : 2003-01 (01)

Brandgefahrenklasse	(Mindest-) Wasserbeaufschlagung  2. mm/min	Nass- oder vorgesteuerte Anlage	Trocken- oder Nass-Trockenanlage
		3. Wirkfläche m <sup>2</sup>	
LH	2,25	84	nicht zulässig Auslegung nach OH1
OH1	5,0	72	90
OH2	5,0	144	180
OH3	5,0	216	270
OH4	5,0	360	nicht zulässig Auslegung nach HHP1
HHP1	7,5	260	325
HHP2	10,0	260	325
HHP3	12,5	260	325
HHP4	besondere Betrachtungen sind durchzuführen	nicht zulässig	nicht zulässig

**Tabelle 6.01:** Wasserbeaufschlagung und Wirkfläche für die Brandgefahrenklassen LH, OH und HHP

**z.B. Labore: OH2**

5 mm/min \* 12 m<sup>2</sup> => mindestens 60 l/min je Sprinkler bei 12 Sprinklern (144 m<sup>2</sup>) => 720 l/min  
 Mindestdüsendruck: 0,35 bar (max. 12 bar)  
 Mindestwirkzeit: 60 min => min. 43,2 m<sup>3</sup> Wasser

# Vergleich der Auslösung von Rauchmeldern und Sprinklern (Beispiel: FFB 25 m<sup>2</sup>-Brandraum)



0 s  
Zündung



27 s  
Rauchmelder  
(fotoelektronisch)  
Deckentemp.: ca. 30°C



1 min 37 s  
Indikatorsprinkler  
(68°C, 3 mm Glasfuss,  
RTI= 32 m<sup>1/2</sup>s<sup>1/2</sup>)  
Deckentemp.: ca. 140°C

- **Bemerkung: Verzögerte Auslösung aufgrund von Brandgasen, die schwerer als Luft sind ist möglich**
  - insbesondere in der frühen Brandentwicklungsphase mit geringem thermischen Auftrieb, z. B.. Kabelbrand: Chlorwasserstoff (HCl): Normdichte: 1,63 kg/m<sup>3</sup> gegenüber Luft 1,29 kg/m<sup>3</sup>
- **Ggf. Verwendung von Rauchansaugsystem (RAS)**

# Wassernebellöschanlagen (Nieder-, Mittel-, Hochdruck) – (1)

- **Sprühwasser-Feuerlöschanlagen, die im Dauer- oder Intervallbetrieb Wasser in feinverteilter Form versprühen.**
- **Löscheffekte** (s.a. Schremmer [1996] \*)
  - **Kühlwirkung durch Verdampfung** (Hauptlöscheffekt)
  - **Sauerstoffverdrängung** (lokale Inertisierung) am Brandherd infolge Verdampfung
  - **Verminderung der Strahlungswärme** auf benachbarte Bauteile u. Brandlast
  - **Vornässen der Brandnahbereiche** behindert Brandausbreitung
  - **Heterogene Inhibition** in der Mischungszone der Flamme mit Kettenabbruchreaktionen => Energieentzug aus den energiereichen freien Radikalen aus der Verbrennung durch den kühleren Wasserdampf (Wandeffekte).
- **Tropfendurchmesser  $D_{v,0,90} < 1 \text{ mm}$  (1.000  $\mu\text{m}$ )**
  - gemäß CEN/TS 14972 (in 1 m Entfernung beim minimalen Betriebsdruck)
- **Zerstäubung erfolgt in Einfachdüsen (z.B. Dralldüsen) oder in Zweistoffdüsen mit Luft oder Inertgas bei unterschiedlichen Drücken.**
  - Niederdruck: bis 12,1 bar
  - Mitteldruck: > 12,1 bar bis 35 bar
  - Hochdruck:  $\geq 35,5$  bar

\*) Quelle: Schremmer, U.: Stationäre automatische Wasservernebelungsanlagen, Wirkungsweise, Gestaltung und Einsatzgrenzen, Dissertation, Universität Magdeburg, 1996

# Wassernebellöschanlagen (Nieder-, Mittel-, Hochdruck) – (2)

Düsenleistungsparameter						
Parameter	Niederdruck				Mittel- druck	Hoch- druck
	Einstoff		Zweistoff			
Druck	4 ... 8 bar	8 ... 14 bar	3 ... 5 bar Wasser	3,5 ... 5,5 bar Gas	20 ... 35 bar	80 ... 150 bar
Tropfen- größen- bereich	40 ... 200 µm	40 ... 300 µm	5 ... 200 µm		20 ... 200 µm	20 ... 150 µm
Durch- flußrate (k- Faktor)	1,4 bis 14	3,5 bis 10	1 bis 10		1 bis 11,5	0,3 bis 2,5
Sprüh- winkel	90 ... 140°	90 ... 110°	90 ... 140°		90 ... 120°	60 ... 90°

Quelle: Schremmer, U.: Gegenüberstellung von Sprinkler- und Feinsprühlöschanlagen, Teil 2 - Denkmalschutzte Gebäude sowie Kunst- und Kulturgüter durch automatische Feuerlöschanlagen schützen, s+s report, 5/2010. S. 20 - 29

# Versuchsraum mit Schleuse in Anlehnung an ein mikrobiologisches bzw. gentechnisches Labor der Sicherheitsstufe S3

Versuchsaufbau mit Lüftungs- / Brandmelde- / Lösch- / Messtechnik - (1)



Nieder- und Hochdruck-Wassernebel-Löschdüsen



Brandlast



# Versuchsraum mit Schleuse in Anlehnung an ein mikrobiologisches bzw. gentechnisches Labor der Sicherheitsstufe S3

Versuchsaufbau mit Lüftungs- / Brandmelde- / Lösch- / Messtechnik - (2)



Schleuse - Eingang



# Kaltsprühversuch mit Wassernebel ohne Brandeinfluss

- **Hochdruck-Wassernebel** (135 bar, 13 l/min)  $\triangleq$  0,66 l/(m<sup>3</sup> \*min)
- Abluftöffnung im Deckenbereich (vorne links oben)
- Zuluftöffnung im Bodenbereich (hinten rechts unten)
- Labor: -64 Pa, Schleuse: -33 Pa Unterdruck, Luftwechsel: ca. 10 [1/h]



Sichtverhältnisse bei  
Sprühbeginn



nach 2 min  
Sprühdauer



nach 5 min  
Sprühdauer

# Kaltsprühversuch mit Wassernebel ohne Brandeinfluss

- **Niederdruck-Wassernebel** (4,5 bar, 13 l/min)  $\triangleq$  0,66 l/(m<sup>3</sup> \*min)
- Abluftöffnung im Deckenbereich (vorne links oben)
- Zuluftöffnung im Bodenbereich (hinten rechts unten)
- Labor: -70 Pa, Schleuse: -34 Pa Unterdruck, Luftwechsel: ca. 10 [1/h]



**Sichtverhältnisse bei  
Sprühbeginn**

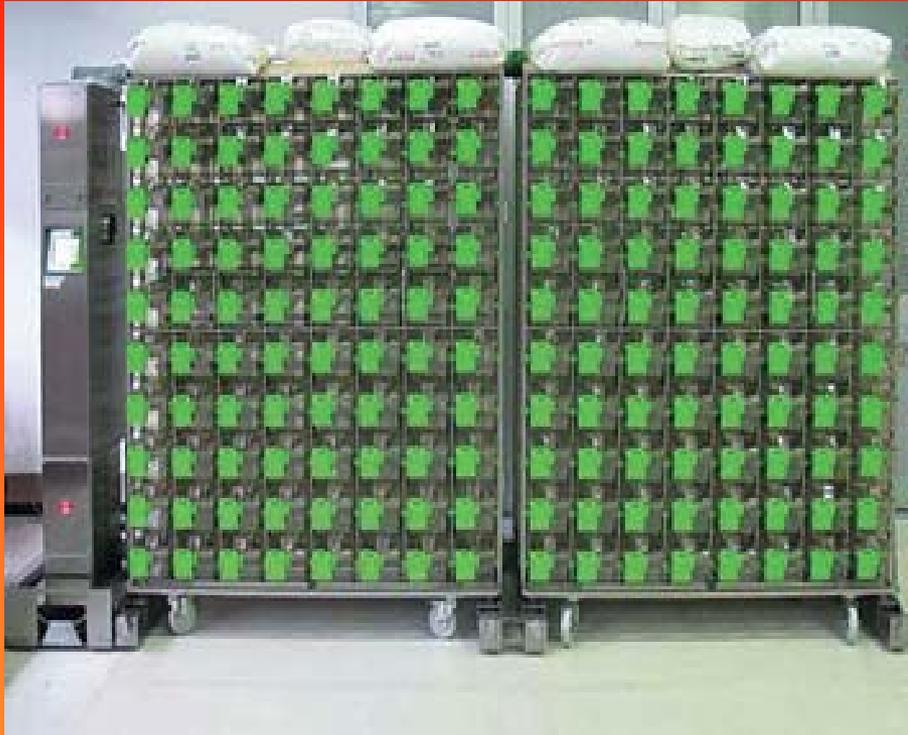


**nach 2 min  
Sprühdauer**



**nach 5 min  
Sprühdauer**

# Brand- und Löschversuche



## Brandlast in Tierhaltungen

Beispiel: Tierkäfigschalen mit Streu  
hier: Kombination zweier fahrbarer  
Racks mit je 160 Tierkäfigboxen  
(Foto: Tecniplast [2012])



## Brandlast bei den Versuchen an der FFB

Käfigschale aus Polycarbonat (600 g)  
mit Tierstreu (90 g Wiesenheu),  
Wärmestrahler (Keramikstrahler als  
Zündquelle (linke Seite der Käfig-  
schale))

# Brand- und Löschversuch mit Wassernebel

- **Hochdruck-Wassernebel** (135 bar, 13 l/min)  $\triangleq$  0,66 l/(m<sup>3</sup> \*min)
- Abluftöffnung im Deckenbereich (vorne links oben)
- Zuluftöffnung im Bodenbereich (hinten rechts unten)
- Labor: -61 Pa, Schleuse: -32 Pa Unterdruck, Luftwechsel: ca. 10 [1/h]



Sichtverhältnisse  
nach  
Löschzeit: 4 s

Löschbeginn: 3 min 36 s  
Zweimelderkriterium für  
Auslösung: Rauchmelder  
RM7 (hl) + RM4 (hr)



Brandlast nach dem  
Versuch  
Löschwasserverbrauch  
ohne Nachlöscharbeiten: 76,7 l  
(Löschzeit: 5 min 54 s),  
**Glutbrand musste  
manuell abgelöscht  
werden**

# Brand- und Löschversuch mit Wassernebel

- **Niederdruck-Wassernebel** (4,5 bar, 13 l/min)  $\triangleq$  0,66 l/(m<sup>3</sup> \*min)
- Abluftöffnung im Deckenbereich (vorne links oben)
- Zuluftöffnung im Bodenbereich (hinten rechts unten)
- Labor: -63 Pa, Schleuse: -34 Pa Unterdruck, Luftwechsel: ca. 10 [1/h]



**Sichtverhältnisse  
nach  
Löschzeit: 4 s**

**Löschbeginn: 3 min 53 s  
Zweimelderkriterium für  
Auslösung: Rauchmelder  
RM4 (hr) + RM7 (hl)**



**Brandlast nach dem  
Versuch  
Löschwasserverbrauch  
gesamt: 74,5 l nach  
5 min 44 s Löschzeit  
**Brand vollständig  
gelöscht****

# Eigenschaften von Wassernebellöschanlagen – (1)

## Vergleich Normal-Sprinkler, ND-, HD-Wassernebel

Versuche in 4-geschossigem Versuchsholzgebäude sowie in integriertem Versuchsraum mit Schleuse in Anlehnung an ein Labor der Sicherheitsstufe S3

Erkenntnisse u.a. aus Versuchsergebnissen der Forschungsstelle für Brandschutztechnik

- Sowohl **Sprinkler als auch Nieder- und Hochdruck-Wassernebel begrenzen** im Allgemeinen **die Brandausbreitung auf die dem Brandherd benachbarten Bereiche.**
  - Betriebsdruck Wassernebel: ND: 4 bar, HD: 80 bar und 135 bar
- Durch **sämtliche Wasser-Löschanlagen** wird das **Temperaturniveau schnell auf unkritische Werte abgesenkt.**
- Die **weitere Brandausbreitung auf im Umfeld der gezündeten Brandlast befindliche brennbare Stoffe wird durch Befeuchtung verhindert.**

# Eigenschaften von Wassernebellöschanlagen – (2)

- **Wassernebel** ist kein Löschgas - **nur begrenzte Löschfähigkeit in verdeckten Bereichen.**
- **Brandherd muss durch Wassernebel eingehaust werden.**
- Die **Nebeldüsen** haben im Allgemeinen gegenüber einem einzelnen Sprinkler den Vorteil einer **gleichmäßigeren Wasserverteilung über dem Sprühquerschnitt.**
- **Löschwasserbedarf ist bei Wassernebellöschanlagen** im Allgemeinen **geringer als bei Sprinkleranlagen.**
- Die gemessenen **Brandgaskonzentrationen** blieben bei schnellem Löscheinsatz bei der überwiegenden Anzahl der Versuche **im Verhältnis zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich.**

# Eigenschaften von Wassernebellöschanlagen – (3)

- Die **Wassernebellöschanlage** weist aufgrund ihres **gegenüber Sprinkleranlagen abweichenden Löschrinzips** auch ohne Löschmittelzusätze **Vorteile bei der Löschwirkung auf Flammenbrände**, insbesondere bei **flüssigen Brandstoffen** und **Kunststoffen**, bei gleichzeitig niedrigem Löschwasserverbrauch auf.
- **Hochdruck-Wassernebel hat eine nur geringe Löschwirkung beim Ablöschen von tiefsitzenden Glutbränden** (z.B. Holz mit spezifisch hoher Oberfläche wie etwa Holzkrippen, Tierkäfigschalen mit Streu) und bei Bränden von hochsiedenden Flüssigkeiten.
- **Bei flüssigen Brandstoffen hat sich gezeigt, dass**
  - **nieder siedende Flüssigkeiten** (z.B. Autobenzin, Benzol, Alkohol, Petroleum) **vorzugsweise mit kleineren Tropfen** und
  - **hoch siedende Flüssigkeiten** (z.B. Dieselöl, Transformatorenöl) **am besten mit größeren Tropfen gelöscht werden.** \*)
- Nach Krüger und Radusch<sup>\*)</sup> lässt sich bei Drücken bis 10 bar und strömungstechnisch günstigen Düsen eine für die Brandbekämpfung ausreichende Zerstäubung erreichen.

<sup>\*)</sup> Quelle: Krüger, A., Radusch, R.: Wasserzerstäubung im Strahlrohr, Forschungsbericht des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen Nr. 329, Forschungsstelle für Feuerlöschtechnik (jetzt Brandschutztechnik) an der Uni Karlsruhe (TH), Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen, 1956

# Eigenschaften von Wassernebellöschanlagen – (4)

- Beim **Hochdruck-Wassernebel** ergab sich bei den Versuchen die **größte Verschlechterung der Sicht und dies bereits im Kaltsprühversuch ohne Brand**.
  - Zu beachten: **Ablenkung des Sprühnebel-/ Wasserdampf-/ Brandrauch aerosols** aufgrund von **Ventilationsbedingungen** (z.B. Windeinfluss auf Rauchabzüge, Tür- oder Fensteröffnungen)
  - => **Bedeutung für die Nutzbarkeit von Flucht- und Rettungswegen.**
- **Bei sämtlichen Versuchen** wurden sowohl bei **HD-Wassernebel** als auch bei **ND-Wassernebel** weder der **kritische Wert von 100% relative Luftfeuchtigkeit** noch **kritische Temperaturen für Schwebstofffilter erreicht**.
  - Durch Taupunktunterschreitungen bei niedrigen Temperaturen ist ein Überschreiten der zulässigen Feuchtigkeit jedoch möglich.
  - Die Auswirkungen von Russbildung auf die Funktionsfähigkeit von Filteranlagen wurden in dieser Arbeit nicht untersucht.

# Eigenschaften von Wassernebellöschanlagen – (5)

- Beim Auslösen der Löschanlage durch ein **thermisches (Glasfass-) Auslöseelement** wurde in den Versuchen der **maximal zulässige Extinktionskoeffizient** (=> Rauchdichte – Verschlechterung der Sicht) im **Gegensatz** zur Auslösung mit **optischen Rauchmeldern** (Streulichtprinzip) **überschritten**.
- Im **Gegensatz zu Hochdruck-Wassernebellöschanlagen** ergeben sich **beim Niederdruck keine besonderen Anforderungen bzgl. der Anlagentechnik**.
  - keine Hochdruckpumpen, keine Edelstahl-Verrohrung etc., da die Verstopfungsgefahr bei Hochdruckdüsen höher als bei Niederdruckdüsen ist, falls das Wasser vor Düseneintritt nicht ausreichend gefiltert wird.
  - Anschluss von **ND-Wassernebel an Hauswasserversorgung** unter Beachtung der Trinkwasserverordnungen (=> Trennstation) **denkbar**.
  - **Feuerwehnoteinspeisung ist bei ND-Wassernebel möglich**.

# Eigenschaften von Wassernebellöschanlagen – (6)

- Bei Sprühbeginn ergab sich insbesondere bei Hochdruck-Wassernebel sowohl bei den Kalt- als auch bei den Brandversuchen im Versuchsraum ein charakteristischer Drucksprung, zunächst mit einer Erhöhung des Unterdruckes, anschließend mit einer Verminderung des Unterdruckes und anschließendem Angleichen an den Anfangsunterdruck.
- Ein hinreichend hoher Unterdruck wurde jedoch im Labor und Schleuse durch die eingesetzte Lüftungstechnik sichergestellt.
- An die Regelung des Lüftungssystems zur Aufrechterhaltung des Unterdruckes werden hierbei erhöhte Anforderungen gestellt. Dies ist bei realen Laboranlagen unbedingt zu berücksichtigen.
- Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird davon ausgegangen, dass aufgrund der schlagartigen Abkühlung der Raumtemperatur durch den feinen Wassersprühnebel der Druck zunächst sinkt (weiterer Untersuchungsbedarf ist erforderlich).

# Gaslöschanlagen

- Kohlendioxid
- Stickstoff (IG001)
- Argon (IG01)
- Inergen<sup>®</sup> (IG541)
- Argonite<sup>®</sup> (IG55)

## Dauerinertisierung (Sauerstoffreduktion)

### Normen und Richtlinien (Auswahl):

**VdS 2093:** Richtlinien für CO<sub>2</sub>-Feuerlöschanlagen. Planung und Einbau

**NFPA 2001:** Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

**VdS 2380:** VdS-Richtlinien für Feuerlöschanlagen. Feuerlöschanlagen mit nicht verflüssigten Inertgasen. – Planung und Einbau.

**VdS 3527:** VdS-Richtlinien für Inertisierungs- und Sauerstoffreduzierungsanlagen. Planung und Einbau.

# Gaslöschanlagen - Löschmechanismen und Besonderheiten – (1)

- **überwiegend Stickeffekt:** Verdrängung des Luftsauerstoffs aus der Reaktionszone => Reaktionsgeschwindigkeit wird soweit abgesenkt, dass die Flammen erlöschen
- **Löschung ohne Rückstände**
- **Sauerstoffreduzierung auf unter 15 Vol.-% führt bei den meisten brennbaren Stoffen zum Abbruch der Flammenreaktion** bzw. bei gasförmigen, flüssigen und flüssig werdenden Brandstoffen zum völligen Erlöschen des Brandes.
- **Geringe bis keine Löschwirkung bei tiefsitzenden Glutbränden** (Holz, Papier, Textilien) aufgrund der nur geringen Kühlwirkung; infolgedessen ist fortschreitendes Glimmen bis 2 Vol.-% O<sub>2</sub> möglich (siehe Bussenius [1996])
- **Keine Löschwirkung bei Metallbränden**
- Die **Umfassungsbauteile** (Wände, Decken, Boden, Türen, Fenster usw.) müssen **gasdicht** sein.
  - Die Umfassungsbauteile müssen dem Druckanstieg während der Flutung standhalten. Druckentlastungsöffnungen (ins Freie, nicht zu Fenstern oder Lüftungsöffnungen anderer Räume) dürfen nur bei Erreichen der vorgesehenen Überdrücke im Raum öffnen.

# Gaslöschanlagen - Löschmechanismen und Besonderheiten – (2)

- **Personenschutz:** auf die besonderen Eigenschaften von Gaslöschanlagen abgestimmte Schutzmaßnahmen (**Fluchtwege, optische und akustische Alarmsignale, Warn- und Hinweisschilder etc.**) sind erforderlich .
- **Akustische Alarmierung ist sehr laut** (> 105 dB): Lautstärke kann bei Versuchstieren Schreck- und Fluchtreaktionen auslösen, die eine weitere Verwendbarkeit der Tiere für gesicherte wissenschaftliche Aussagen in Frage stellt.
- **Funktionsstörungen bei Festplatten in EDV- und IT-Bereichen durch hohen Schallpegel beim Ausströmen möglich** (siehe bvfa Information 2010 Einfluss von Schallquellen auf Festplatten“, <http://www.bvfa.de/pdf-download/de-24/>).
- **Rauchabzüge dürfen nur manuell angesteuert werden.**
- **Verteilungsgüte der Gaskonzentration im Raum** wird beeinflusst durch
  - Ventilationsbedingungen,
  - physikalische Eigenschaften der Gase, insbesondere Dichte, Diffusionskoeffizient und Viskosität

## Kohlendioxid (hier: gasförmig)

- **Lagerung** im druckverflüssigten Zustand (20 bar (-20°C) - 57 bar (20°C))
- **schwerer als Luft**, Abfließen in tiefer liegende Räume, schwierig zu beseitigen
- **günstiger Preis** für Anlagen und Löschmittel, geringster Platzbedarf von allen zugelassenen Inertgasen und Inertgasgemischen => erforderliche Löschgaskonzentration bei CO<sub>2</sub> geringer
- **Elektrostatische Aufladung beim Ausströmen** (zündfähige Funkenüberschläge => brennbare Flüssigkeiten => Erdungsmaßnahmen erforderlich !)
- **Taupunktunterschreitung** der Luft unter Bildung von Nebel
- **Temperaturabsenkung im Raum während Flutung** auf -20°C bis - 40°C
- bei einer Mindesteinsatzkonzentration von 34 Vol.-% CO<sub>2</sub> (= 13,8 Vol.-% Sauerstoff) ist eine **Personengefährdung** immer gegeben.
  - Sicherung des Personenschutzes auch für unmittelbar angrenzende Raumbereiche
  - Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) : 5000 ppm
  - Kurzzeiteinwirkung von 3 - 4 Vol.-% 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 bewusstlos, Atemstillstand
- **CO<sub>2</sub> ist kein Inertgas** und reagiert mit starken Basen sehr heftig unter Bildung von Carbonaten
- **Nach VdS 2093 ungeeignet für das Ablöschen von**
  - tiefsitzenden Bränden von Holz, Papier, Textilien u. a.
  - sauerstoffhaltigen Materialien und Chemikalien
  - Materialien und Chemikalien, welche mit CO<sub>2</sub> reagieren, z.B. Alkalimetalle und Metallhydride.

# Stickstoff (IG001)

- **Bevorratung** in Hochdruck-Stahlflaschen (200 bar)
- **Druckreduzierung** vor dem Verteilerrohrnetz nach dem Sammelrohr auf **max. 60 bar**
- **Raumbedarf gegenüber CO<sub>2</sub> doppelt so groß**
- **Löschmittelmengenerhöhung gegenüber reinem Kohlendioxid: + 7,5 %**
- **ca. 40 % teurer als CO<sub>2</sub>**
- **Stickstoff hat geringere Dichte als Luft** und sollte daher aufsteigend in den zu schützenden Raum eingebracht werden
- **nur geringfügige Abkühlung** des Löschbereichs (um max. 4 - 6°C), keine Nebelbildung
- **nicht toxisch**, physiologisch unbedenklich in den vorgesehenen Löschgaskonzentrationen
- **Stickstoff reagiert mit brennenden Metallen zu Metallnitriden**  
 (**exotherme Reaktion mit Lithium zu Lithiumnitrid (leichtentzündlich)** erfolgt bereits langsam bei Raumtemperatur \*)
- **nach VdS 2380 kein Einsatz bei**
  - Chemikalien, die Sauerstoff abgeben können, z.B. Zellulosenitrat
  - Oxidationsmittel enthaltende Gemische, z.B. Natriumchlorat
  - Chemikalien, die sich selbst thermisch zersetzen können, z.B. organische Peroxide
  - reaktionsfreudige Metalle, z.B. Natrium, Kalium
  - festen Stoffe, in denen Brände schnell tief sitzend werden können

\*) Quelle: Keune, H., Augustin, M.: Chimica – ein Wissensspeicher, Band I, Anorganische Chemie, Organische Chemie, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1972

# Argon (IG01)

- **Bevorratung** in Hochdruck-Stahlflaschen (300 bar)
- **Druckreduzierung** vor dem Verteilerrohrnetz nach dem Sammelrohr auf **max. 60 bar**
- **sehr starke Ausströmgeräusche (> 105 dB)**
- **Größerer Raumbedarf als bei Kohlendioxid**
- **Löschmittelmengenerhöhung gegenüber reinem Kohlendioxid: + 12,5 %**
- **ca. 25 % teurer als Kohlendioxid**
- **nur geringfügige Abkühlung des Löschbereichs** (um max. 4 - 6°C), keine Nebelbildung
- **schwerer als Luft:** Be- und Entlüftungsmaßnahmen erforderlich, um das Löschgas aus tiefer gelegenen Räumen (z.B. Keller) zu entfernen
- **nicht toxisch**, physiologisch unbedenklich in den vorgesehenen Löschgaskonzentrationen
- **nach VdS 2380 kein Einsatz bei**
  - Chemikalien, die Sauerstoff abgeben können, z.B. Zellulosenitrat
  - Oxidationsmittel enthaltende Gemische, z.B. Natriumchlorat
  - Chemikalien, die sich selbst thermisch zersetzen können, z.B. organische Peroxide
  - reaktionsfreudigen Metallen, z.B. Natrium, Kalium
  - festen Stoffe, in denen Brände schnell tief sitzend werden können

# Inergen<sup>®</sup> \*) (IG541)

- **Zusammensetzung:** 52 Vol.% Stickstoff, 40 Vol.% Argon, 8 Vol.% CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub> -Konzentration im gefluteten Raum ca. 2,5 Vol.-% - 5 Vol.-% je nach Brandrisiko und Löschmittelmenge
- **Löschmittelmengenerhöhung gegenüber reinem Kohlendioxid: + 7,5 %**
- **sehr starke Ausströmgeräusche**
- **Bevorratung** in Hochdruck-Stahlflaschen (200 bis 300 bar)
- **Druckreduzierung** vor dem Verteilerrohrnetz nach dem Sammelrohr auf **max. 60 bar**
- **doppelter Raumbedarf gegenüber Kohlendioxid**
- ca. 80 % teurer als Kohlendioxid
- **nur geringfügige Abkühlung** des Löschbereichs (um max. 4 - 6°C), keine Nebelbildung
- **nicht toxisch**, physiologisch unbedenklich in den vorgesehenen Löschgaskonzentrationen
- **Argon u. Kohlendioxid sind schwerer als Luft:** Be- u. Entlüftungsmaßnahmen erforderlich, um das Löschgase aus tiefer gelegenen Räumen (z.B. Keller) zu entfernen
- **nach VdS 2380 kein Einsatz bei**
  - Chemikalien, die Sauerstoff abgeben können, z.B. Zellulosenitrat
  - Oxidationsmittel enthaltende Gemische, z.B. Natriumchlorat
  - Chemikalien, die sich selbst thermisch zersetzen können, z.B. organische Peroxide
  - reaktionsfreudigen Metallen, z.B. Natrium, Kalium
  - festen Stoffe, in denen Brände schnell tief sitzend werden können
- **Stickstoff reagiert mit brennenden Metallen zu Metallnitriden**  
(**exotherme Reaktion mit Lithium zu Lithiumnitrid (leichtentzündlich)** erfolgt bereits langsam bei Raumtemperatur)

# Argonite® \*) (IG55)

- **Zusammensetzung:** 50 Vol.% Stickstoff, 50 Vol.% Argon
- **sehr starke Ausströmgeräusche**
- **Bevorratung** in Hochdruck-Stahlflaschen (300 bar)
- **Druckreduzierung** vor dem Verteilerrohrnetz nach dem Sammelrohr auf **max. 60 bar**
- **ca. 80 % teurer als Kohlendioxid**
- **nur geringfügige Abkühlung** des Löschbereichs (um max. 4 - 6°C), keine Nebelbildung
- **nicht toxisch**, physiologisch unbedenklich in den vorgesehenen Löschgaskonzentrationen
- **Argon ist schwerer als Luft:** Be- und Entlüftungsmaßnahmen erforderlich, um das Löschgase aus tiefer gelegenen Räumen (z.B. Keller) zu entfernen
- **nach VdS 2380 kein Einsatz bei**
  - Chemikalien, die Sauerstoff abgeben können, z.B. Zellulosenitrat
  - Oxidationsmittel enthaltende Gemische, z.B. Natriumchlorat
  - Chemikalien, die sich selbst thermisch zersetzen können, z.B. organische Peroxide
  - reaktionsfreudigen Metallen, z.B. Natrium, Kalium
  - festen Stoffe, in denen Brände schnell tief sitzend werden können
- **Stickstoff reagiert mit brennenden Metallen zu Metallnitriden (Reaktion mit Lithium zu Lithiumnitrid (leichtentzündlich))** erfolgt bereits langsam bei Raumtemperatur)

\*) KIDDE Brand- und Explosionsschutz GmbH, Ratingen

# Dauerinertisierung (Sauerstoffreduktion)

- Durch eine **permanente Rauminertisierung** auf ein niedriges Niveau der Sauerstoffkonzentration wird gewährleistet, dass **eine Entzündung (Flammenbrand) des Brandstoffes nur schwer oder gar nicht auftreten kann**.
  - Stickstoff-Erzeugung zur Inertisierung erfolgt vor Ort in einem Stickstoffgenerator: Luft wird mittels Hohlfasermembranen in  $N_2$  und Restgase getrennt.
  - Je nach zu schützendem Gut wird der Sauerstoffgehalt auf ca. 13 bis 15 Vol.-% im Raum durch kontrollierte Einleitung von z.B. Stickstoff abgesenkt. **Die wirksame Konzentration ist bei nicht bekannten Stoffen in Versuchen zu ermitteln.**
  - **Schutzbereiche** bleiben bei den oben angegebenen Sauerstoff-Konzentrationen für Personen **begehbar**.
  - Inertgas hinterlässt keine Rückstände.
- Trotz Inertisierung ist **ggf. die Entstehung von Glimmbränden (bis 2 Vol.-% Sauerstoff \*) und starke Brandrauch- und Geruchsbildung z.B. durch die Einwirkung von Wärmestrahlung möglich.**
- **Überwachung der Sauerstoff-Konzentration** und des Druckes im Raum
  - Personenschutz ist bei kritischen Sauerstoff-Konzentrationen zu beachten: z. B. Alarmierung, mindestens 1 Fluchtweg je Schutzbereich
- Das ausgewählte **Inertgas darf** mit den im Schutzbereich **vorhandenen Materialien und Stoffen nicht reagieren**. (Einsatzgrenzen für nichtverflüssigte Inertgase siehe auch VdS 2380)
  - **Stickstoff reagiert mit brennenden Metallen zu Metallnitriden (exotherme Reaktion mit Lithium zu Lithiumnitrid (leichtentzündlich) erfolgt bereits langsam bei Raumtemperatur \*\*)**

\*) Quelle: Bussenius, S.: Wissenschaftliche Grundlagen des Brand- und Explosionsschutzes, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 1996

\*\*) Quelle: Keune, H., Augustin, M.: Chimica – ein Wissensspeicher, Band I, Anorganische Chemie, Organische Chemie, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1972

# Halonersatzstoffe

**Trigon-300<sup>®</sup>** (Trifluormethan, HFC-23)

**FM-200<sup>®</sup>** (Heptafluorpropan, HFC-227 ea)

**Novec 1230<sup>®</sup>** (1,1,1,2,2,4,5,5,5-Nonafluor-4-(Trifluormethyl)-3-Pentanon)

## Normen und Richtlinien (Auswahl):

**VdS 2381:** VdS-Richtlinien für Feuerlöschanlagen. Feuerlöschanlagen mit halogenierten Kohlenwasserstoffen. - Planung und Einbau.

**NFPA 2001:** Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

# Löschmechanismen und Besonderheiten – (1)

- **Löschmechanismen:**
  - Wärmeabsorption in der Flamme
  - Löschmittel wird während des Löschvorganges zersetzt und greift in die Verbrennungsreaktion ein
  - Stickeffekt bei hohen Konzentrationen
- **Ausbreitungsgeschwindigkeit im Raum wird durch physikalische Eigenschaften der Gase, insbesondere Dichte, Diffusionskoeffizient, Dampfdruck und Viskosität beeinflusst.**
  - Durch Abkühlen beim Ausströmen von unter Druck gelagerten Gasen können Temperaturunterschiede im Raum eine gleichmäßige Verteilung verzögern.
  - Die durch den Ausströmvorgang induzierte Strömung kann den Nachteil der Abkühlung für die Vermischung teilweise wieder aufheben.
- **In Flammen und an heißen Oberflächen erfolgt Zerfall in giftige, ätzende und korrosive Komponenten** (zum Beispiel Fluor, Fluorwasserstoff und andere Fluorverbindungen).
- Fluorwasserstoff greift Alkalimetalle, Eisen, Stahl, Edelstahl und einige Kunststoffe an.
  - Beständig sind Nickel, Kupfer, Monel, Inconel. Polyethylen, Polypropylen und PVC. Bei höheren Temperaturen können zahlreiche Metalle als Zerfallskatalysatoren wirken.

# Löschmechanismen und Besonderheiten – (2)

- **erforderliche Löschkonzentration** der Halonersatzstoffe liegt **unterhalb der Konzentration von Inertgasen**
  - geringerer Lagerraumbedarf gegenüber Inertgasen
- **nach VdS 2381 kein Einsatz bei**
  - bei Chemikalien, die Sauerstoff abgeben können, z.B. Zellulosenitrat, Oxidationsmittel enthaltenden Gemischen, z.B. mit Natriumchlorat
  - Chemikalien, die sich selbst thermisch zersetzen können, z. B. organischen Peroxiden
  - reaktionsfreudigen Metallen, z.B. Natrium, Kalium
  - festen Stoffen, in denen Brände schnell tief sitzend werden können
  - Einrichtungen, bei denen aus betrieblichen Gründen heiße Oberflächen (mit Temperaturen über 150 °C) vorhanden sind.
- **Löscherfolg muss durch die nur einmal mögliche Flutung des Raumes gewährleistet werden**
  - Auslösung in der frühen Brandentwicklungsphase => schnelle Branddetektion erforderlich!
  - Falls ausbleibender Löscherfolg:  
**Brandbekämpfung durch die Feuerwehr** im Innenangriff aufgrund der hohen Konzentration an giftigen und ätzenden Zersetzungsprodukten (Carbonylfluorid, Fluorwasserstoff) aus dem Löschmittel **beträchtlich erschwert.**

# Löschmechanismen und Besonderheiten – (3)

- **Ventilationsbedingungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Ausbreitung im Raum.**
- Die **Umfassungsbauteile** (Wände, Decken, Boden, Türen, Fenster usw.) müssen **gasdicht** sein.
- Die **Umfassungsbauteile müssen dem Druckanstieg während der Flutung standhalten.**
  - **Druckentlastungsöffnungen (ins Freie, nicht zu Fenstern oder Lüftungsöffnungen anderer Räume)** dürfen nur bei Erreichen der vorgesehenen Überdrücke im Raum öffnen.
  - Ein **Unterdruck kann in der Anfangsphase der Flutung entstehen**, wenn flüssige Halonersatzstoffe beim Verdampfungsvorgang der Umgebung Verdampfungswärme entziehen.
- **Personenschutz:** geeignete Schutzmaßnahmen (Fluchtwege, optische und akustische Alarmsignale, Warn- und Hinweisschilder etc.) sind erforderlich

# Trigon-300<sup>®</sup> (Trifluormethan, HFC-23, FE-13)

- **gasförmiges Löschmittel**, farblos, Geruch süßlich
- Brandklasse A, B: ca. 16 Vol.-% Löschgas
- **In Flammen und an heißen Oberflächen (Temperaturen größer 400°C\*) erfolgt Zerfall in giftige, ätzende und korrosive Zersetzungsprodukte (Fluor, Fluorwasserstoff, Carbonylfluorid und andere Fluorverbindungen, Kohlenmonoxid).**
- Bei höheren Temperaturen können zahlreiche Metalle als Zerfallskatalysatoren wirken.  
**Unverträglich mit Alkali- und Erdalkalimetallen.**
- **Gas ist schwerer als Luft** und kann sich in geschlossenen Räumen ansammeln, insbesondere am Fußboden oder in tiefer gelegenen Bereichen
- **NOAEL = 30 Vol.-%**
  - NOAEL: No Observed Adverse Effect Level: Höchste Konzentration, bei der keine nachteiligen toxikologischen oder physikalischen Auswirkungen zu beobachten sind.
- **Sicherheitsdatenblatt \*\*): Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr:**  
Chemieschutzanzug, umluftunabhängiges Atemschutzgerät

\*) Quelle: Angelino, G., Invernizzi, C.: Experimental investigation on the thermal stability of some new zero ODP refrigerants. International Journal of Refrigeration 26 (2003), p. 51 - 58

\*\*\*) Quelle: DuPont Fluorproducts Wilmington ,  
Sicherheitsdatenblatt Version 2.1 vom 7.11.2011

# FM-200<sup>®</sup> (Heptafluorpropan, HFC-227ea)

- **gasförmiges Löschmittel** (25 bis 40 bar, mit Stickstoffdruckpolster)
- **farblos, Geruch nach Ether**
- Brandklasse A mind. 5,8 Vol.-%, Brandklasse B mind. 8,0 Vol.-% Löschgas
- **Zersetzung bei Einwirkung von Feuer und an heißen Oberflächen (Temperaturen größer 425°C\*)** in giftige, ätzende und korrosive Zersetzungsprodukte: **Carbonylfluorid, Fluorwasserstoff und Kohlenmonoxid (CO)**, ab 9 Vol.-% narkotische Wirkung
- **Die Bildung von Kohlenmonoxid wird beim Löschvorgang im Vergleich zu freiem Abbrand und im Vergleich zum Einsatz von Halon 1301 erhöht.**
  - Wie bei den Zersetzungsprodukten HF und COF<sub>2</sub> nimmt die Menge an Kohlenmonoxid mit der Brandgröße und der Löszeit zu \*\*)
- Kontakt mit starken Laugen, starken Oxidationsmitteln, starken Reduktionsmitteln und Metallpulver vermeiden \*\*\*)
- **schwerer als Luft** und kann sich in geschlossenen Räumen ansammeln, insbesondere am Fußboden oder in tiefer gelegenen Bereichen
- bei der Flutung ist im Gegensatz zu den Inertgasen neben den Überdrücken auch das Auftreten von Unterdrücken während der Flutung zu beachten
- geringere Raumüberdrücke bei FM-200 als bei Inertgasen
- NOAEL = 9 Vol.-%
- **Sicherheitsdatenblatt \*\*\*) : Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr: Chemieschutzanzug, umluftunabhängiges Atemschutzgerät**

\*) Quelle: Angelino, G., Invernizzi, C.: Experimental investigation on the thermal stability of some new zero ODP refrigerants. International Journal of Refrigeration 26 (2003), p. 51 - 58

\*\*\*) Quelle: DuPont Fluorproducts Wilmington, Sicherheitsdatenblatt Version 2.1 vom 7.11.2011

\*\*) Quelle: Su, J. Z.; Kim, A. K.: Production of Carbon monoxide during fire suppression using halon replacements. NRCC-42680, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, 1999, <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc42680/nrcc42680.pdf>

# Novec 1230<sup>®</sup> \*) (FK-5-1-12)

(1,1,1,2,2,4,5,5,5-Nonafluor-4-(Trifluormethyl)-3-Pentanon)

- **bei Umgebungsbedingungen flüssig** => Verdampfung durch Zerstäubung bei hohem Druck mit Stickstoff (42 bar)
  - **Gas ist schwerer als Luft** und kann sich in geschlossenen Räumen ansammeln, insbesondere am Fußboden oder in tiefer gelegenen Bereichen
- Brandklasse A, B: ca. 6 Vol.-% Löschgas
- **farblos, geruchlos**
- **bei hohen Temperaturen erfolgt Zersetzung in Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Fluorwasserstoff, Perfluorisobutylene**
- Kontakt mit starken Basen, Aminen, Alkoholen, direktem Sonnenlicht und ultraviolettem Licht vermeiden (gemäß Sicherheitsdatenblatt \*)
- NOAEL = 10 Vol.-%
- **Sicherheitsdatenblatt \*) : Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr:**  
Vollschutzanzug, umluftunabhängiges Atemschutzgerät

\*) Quelle: 3M Deutschland GmbH, Neuss,  
Sicherheitsdatenblatt Version 6.01 vom 04.02.2014

# Vergleich der Dichte, ODP- und GWP- Werte bei gasförmigen Löschmitteln im Vergleich zu Luft

- **ODP:** Ozone Depletion Potential, Ozonabbaupotenzial
- **GWP:** Global Warming Potential, Erderwärmungspotenzial => Absorption der Wärmestrahlung

• <b>Luft:</b>	<b>1,29 kg/m<sup>3</sup></b> (Normzustand: 0°C, 1 bar)		
• <b>Kohlendioxid:</b>	1,98 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 0</b>	<b>GWP = 1</b>
• <b>Argon:</b>	1,78 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 0</b>	<b>GWP = 0</b>
• <b>Stickstoff:</b>	1,25 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 0</b>	<b>GWP = 0</b>
• <b>Inergen<sup>®</sup> :</b>	1,52 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 0</b>	<b>„GWP &lt; 1“</b>
• <b>Argonite<sup>®</sup> :</b>	1,52 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 0</b>	<b>GWP = 0</b>
• <b>Trigon 300<sup>®</sup> :</b>	3,11 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 0</b>	<b>GWP = 11.700</b> (bei Zeithorizont 100 Jahre)
• <b>FM 200<sup>®</sup> :</b>	7,82 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 0</b>	<b>GWP = 2.900</b> (bei Zeithorizont 100 Jahre)
• <b>Novac 1230<sup>®</sup> :</b>	14,93 kg/m <sup>3</sup> (im Norm.) (Flüssigkeitsdichte bei 25°C: 1.600 kg/m <sup>3</sup> )	<b>ODP = 0</b>	<b>GWP = 1</b>

zum Vergleich: **Halonlöschmittel** (nur noch eingeschränkt zugelassen z.B. Militär)

• <b>Halon 1211:</b>	7,62 kg /m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 3</b>	<b>GWP = 5000</b>
• <b>Halon 1301:</b>	6,74 kg /m <sup>3</sup> (im Norm.)	<b>ODP = 10</b>	<b>GWP = 4900</b>

# Beurteilungskriterien für den Einsatz von ortsfesten Löschanlagen in mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen der Sicherheitsstufen S3 und S4

- Die Auslösung von Wasserlöschanlagen und von Gaslöschanlagen kann im Brandfall zu kritischen Zuständen mit erheblicher Rückwirkung auf die Aufrechterhaltung der für diese Labore im Betrieb erforderlichen Sicherheitsmassnahmen führen.
- Von ganz entscheidender Bedeutung sind hierbei die **Eigenschaften der eingesetzten Brandmeldetechnik und der ortsfesten Löschanlagen.**
- Aus den aus dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnissen ist es daher erforderlich, **Brand- und Löschversuche in einer originalgetreuen Laboranordnung mit der dort vorhandenen Lüftungstechnik, Unterdruckbedingungen, Brandlast, Brandmelde- und Löschtechnik durchzuführen.**
- Die Beurteilung der Funktionsfähigkeit einer Löschanlage ohne Brand reicht hier keinesfalls aus.

Detaillierte Ausführungen können folgenden Forschungsberichten auf der Webseite der Forschungsstelle für Brandschutztechnik entnommen werden:

Teil 1 der Untersuchungen: Forschungsbericht Nr. 149

Teil 2 der Untersuchungen: Forschungsbericht Nr. 160

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

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**