

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Brandschutz in Genlaboren - Einsatz von Wassernebel- und Gaslöschanlagen - Teil 1

(Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer `Brandgefahrenklasse`. - Teil 3)

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

von Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forschungsstelle für Brandschutztechnik

149

STÄNDIGE KONFERENZ DER INNENMINISTER UND -SENATOREN DER
LÄNDER, ARBEITSKREIS V, AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHR-
ANGELEGENHEITEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

**Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz
und zivile Verteidigung**

Forschungsbericht Nr. 149

Brandschutz in Genlaboren - Einsatz von Wassernebel- und Gaslöschanlagen - Teil 1

(Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer `Brandgefahrenklasse`. Teil 3)

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

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Karlsruhe

Oktober 2010

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
2.	BRAND- UND RAUCHAUSBREITUNG IN GEBÄUDEN – ALLGEMEINE GEFÄHRDUNGSDARSTELLUNG	3
3.	BIOLOGISCHE GEFÄHRDUNG - BESONDERHEITEN IN GEBÄUDEN MIT MIKROBIOLOGISCHEN UND GENTECHNISCHEN BEREICHEN	18
4.	EIGENSCHAFTEN VON ORTSFESTEN LÖSCHANLAGEN (SPRINKLER, WASSERNEBEL, INERTGAS, SAUERSTOFF-REDUKTION, HALONERSATZSTOFFE) - ANWENDUNGSGEBIETE, EINSATZGRENZEN, PERSONENSCHUTZ, TOXIKOLOGIE	43
4.1.	Ortsfeste Wasserlöschanlagen	44
4.1.1.	Sprinkleranlagen	45
4.1.2.	Wassernebellöschanlagen	53
4.2.	Gaslöschanlagen und Dauerinertisierungsanlagen	67
4.2.1.	Kohlendioxid (gasförmig)	69
4.2.2.	Stickstoff (IG001)	70
4.2.3.	Argon (IG01)	70
4.2.4.	Inergen® (IG541)	71
4.2.5.	Argonite® (IG55)	73
4.2.6.	Dauerinertisierung (Sauerstoffreduktion)	74
4.3.	Halonersatzstoffe	76
4.3.1.	Trigon-300® (HFC-23, FE-13)	79
4.3.2.	FM-200® (HFC-227ea)	80
4.3.3.	Novec 1230® (FK-5-1-12)	81
5.	BEURTEILUNGSKRITERIEN FÜR DEN EINSATZ VON ORTSFESTEN LÖSCHANLAGEN IN MIKROBIOLOGISCHEN UND GENTECHNISCHEN BEREICHEN	83
6.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	95
7.	LITERATURVERZEICHNIS	97
8.	ANHANG: TABELLEN	123

BERICHTSKENNBLATT

Nummer des Berichtes: <p style="text-align: center;">149</p>	Titel des Berichtes: <h3 style="text-align: center;">Brandschutz in Genlaboren - Einsatz von Wassernebel- und Gaslöschanlagen - Teil 1</h3> <p>(Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer 'Brandgefahrenklasse'. - Teil 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden – Allgemeine Gefährdungsdarstellung • Biologische Gefährdung - Besonderheiten in Gebäuden mit mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen • Eigenschaften von ortsfesten Löschanlagen (Sprinkler, Wassernebel, Inertgas, Sauerstoffreduktion, Halonersatzstoffe) • Beurteilungskriterien für den Einsatz von ortsfesten Löschanlagen in mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen 	ISSN: <p style="text-align: center;">0170-0060</p>	
Autor: <p style="text-align: center;">Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann</p>		durchführende Institution: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Hertzstrasse 16, D-76187 Karlsruhe	
Nummer des Auftrages: 205 (3/2007)		auftraggebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung	
Abschlussdatum: Oktober 2010			
Seitenzahl: 144	Bilder: 36	Tabellen: 1	Literaturverweise: 218
Kurzfassung: Derzeit bestehen große Unsicherheiten hinsichtlich der Auslegung von Löschanlagen für mikrobiologische und gentechnische Bereiche, z.B. Labore, Tierstallungen und Produktionsbereiche der höheren Sicherheitsstufen, in denen mit Organismen (z.B. Bakterien, Viren, Pilze) der Risikogruppen S3**-, S3- und S4- gearbeitet wird. Erhöhte Sicherheitsanforderungen ergeben sich zusätzlich für Labore, wenn diese Organismen dort gentechnisch verändert werden. S3 und S4 Labore werden für den normalen Laborbetrieb mit entsprechenden Lüftungs- und Hochleistungsschwebstoff-Filteranlagen ausgerüstet. Der Unterdruck im Labor muss unter allen Umständen gewährleistet werden. Die Filteranlage muss durch entsprechende Maßnahmen auch im Brand- und Brandbekämpfungsfall ordnungsgemäß funktionieren und darf hierbei weder durch hohe Temperaturen, noch durch Brandrauch oder das Löschmedium beschädigt werden. In dieser Arbeit wird auf die Risikogruppen der Organismen (Gefährlichkeit der Erreger: minimale Infektionsdosis, Kontagiosität, Manifestationsindex, Inkubationszeit), gezielte und nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (auch im Hinblick auf die Gefährdung von Feuerwehreinsatz- und Rettungskräften durch Infektionen im Einsatz), Druckverhältnisse und Ventilationsbedingungen, unterschiedliche Brandlasten (brennbare Flüssigkeiten und Gase, glutbildende Brandstoffe wie z.B. Chemikalien, Kühlgeräte, Druckbehälter, Futtermittel, Streu, Kunststoffkäfige, elektronische und elektrische Anlagen (Messtechnik, EDV etc.), Inaktivierung und Desinfektion (Überprüfung der Wirksamkeit, mögliche Gesundheitsgefährdung, Verträglichkeit mit den zu desinfizierenden Objekten) näher eingegangen. 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 ortsfesten Löschanlagen (Sprinkler, Nieder- und Hochdruck-Wassernebel, Inertgase, Halonersatzstoffe, Sauerstoffreduktion) und die Beurteilungskriterien für den Einsatz in diesen Bereichen. Hierzu zählen die Art der Branddetektion, die Löschwirkung, die Wirkung von Alarmierungseinrichtungen und des Löschmittels auf Mensch und Tier, insbesondere auch bei Fehlauflösung, die Löschmittlrückhaltung und die Inaktivierung des ggf. mit Organismen kontaminierten Löschmittels sowie die Wechselwirkungen des Brandrauches und des Löschmittels mit den Hochleistungsschwebstofffiltern. Aus den aus dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnissen ist es erforderlich, Brand- und Löschversuche in einer originalgetreuen Laboranordnung mit der entsprechend dort vorhandenen Lüftungstechnik, Brandlast und diversen ortsfesten Löschanlagen durchzuführen. Die Beurteilung der Funktionsfähigkeit einer Löschanlage ohne Brand reicht hier keinesfalls aus. Gegenwärtig wird für diese Untersuchungen ein Versuchsraum mit Schleuse in Anlehnung an ein Labor der Sicherheitsstufe S3 an der FFB errichtet.			
Schlagwörter: Brand- und Rauchausbreitung, Branddetektion, Löschanlagen, Sprinkler, Wassernebel, Inertgas- und Gaslöschanlagen, Halonersatzstoffe, Sichtverhältnisse, Brandrauch, Mikrobiologie, Genlabore, biologische Gefährdung, biologische Sicherheit, Organismen, Sicherheitsstufen, Risikogruppen			

1. EINLEITUNG

Wie die aktuellen **Epidemiologischen Bulletins** des **Robert Koch Institutes [37]** zeigen, ist Forschung auf dem Gebiet der krankheitserregenden Organismen von größter Bedeutung. Um die Problematik etwas näher darzustellen, sollen an dieser Stelle zwei Beispiele aufgeführt werden.

MRSA (Multi-resistenter *Staphylococcus aureus*)-Bakterienstämme stellen aufgrund von fehlenden wirksamen Antibiotika eine große lebensbedrohliche Gefahr für Patienten besonders in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen dar. MRSA-Stämme, die zu einer Infektion führen, können zum einen vom betroffenen Patienten selbst stammen, oder von anderen Menschen oder Tieren bzw. über Gegenstände in der Umgebung (z.B. gemeinsam benutzte Badetücher) übertragen werden. In den meisten Fällen erfolgt die Übertragung durch die Hände z.B. des Pflege- und ärztlichen Personals.

Seit Anfang des Jahres 2010 haben Hantavirus-Infektionen zum Beispiel in Baden-Württemberg deutlich zugenommen. Die Hantavirus-Erkrankung beginnt meist mit abrupt einsetzendem hohem Fieber, das über 3–4 Tage anhält. Begleitend treten unspezifische grippeähnliche Symptome wie Kopfschmerzen, Bauchschmerzen und Muskelschmerzen auf. Charakteristisch ist bei einem Teil der Patienten eine dialysepflichtige Niereninsuffizienz, die reversibel ist. Die Viren werden von infizierten Nagetieren über Speichel, Urin und Kot ausgeschieden und können darin einige Zeit infektiös bleiben. Die Übertragung auf den Menschen erfolgt durch die Inhalation virushaltiger Aerosole, durch den Kontakt der verletzen Haut mit kontaminiertem Staub oder durch Bisse. Beim Aufenthalt in oder bei Säuberung von potenziell kontaminierten Bereichen (z. B. Keller, Schuppen, Garagen, Dachboden) sollte vor Betreten ausreichend gelüftet werden. Eine Staubeentwicklung sollte grundsätzlich vermieden werden oder, falls das nicht möglich ist, eine Atemschutzmaske getragen werden. Für die Beseitigung von toten Mäusen, Mäusekot und -urin empfiehlt sich der Einsatz von Einmalhandschuhen, die großzügige Benetzung des kontaminierten Areals mit handelsüblichen Reinigungsmitteln und das Entsorgen von Putzlappen und ggf. Kadavern in verschlossenen Plastikbeuteln über den Hausmüll.

Aufgrund dieser zunehmenden Bedeutung der Erforschung und Bewertung des Risikopotentials von Organismen mit und ohne gentechnische Veränderungen werden vermehrt

Hochsicherheitsbereiche für Labor- und Produktionsbereiche errichtet.

Biologische Gefahrstoffe sind oft geruchs-, geschmacks- und farblos. Für Feuerwehreinsetzungskräfte und Rettungskräfte ist das rechtzeitige Erkennen des Gefährdungspotentials insbesondere auch im Hinblick auf die Wahl der geeigneten persönlichen Schutzausrüstung und um geeignete Gefahrenabwehrmaßnahmen zu treffen von größter Bedeutung.

In Hochsicherheitsbereichen, in denen mit gefährlichen Organismen gearbeitet wird, werden höchste Sicherheitsanforderungen an die technische Gebäudeausrüstung gestellt. Diese kontrollierten Bereiche (Containments) stellen hierbei eine technische Barriere mit hohen Dichtheits-Anforderungen gegen das Austreten gefährlicher biologischer Organismen dar.

Hierbei sind einige Schutzziele zu verfolgen.

An erster Stelle steht bei der Betrachtung dieser Hochsicherheitsbereiche der Personenschutz, jedoch muss auch verhindert werden, dass z.B. Forschungs- und Produktionsbereiche mit aufwendiger messtechnischer und apparatetechnischer Ausstattung in größerem Ausmaß durch den Brand so beschädigt werden, dass es zu teuren Produktionsausfällen und Verzögerungen bei den Forschungsarbeiten kommt. Nicht vernachlässigt werden sollte auch der Schutz von teuren Versuchstieren in Tierhaltungsräumen und Tierstallungen.

In Verbindung mit den hiermit verbundenen Chancen und Risiken der Forschung soll in der vorliegenden Arbeit das Risiko des Brandes in einem dieser Hochsicherheitsbereiche näher untersucht werden. Von größter Bedeutung ist dabei, dass ein Brand frühzeitig detektiert und bekämpft wird und keine zusätzliche Gefährdung aufgrund der Organismen auftritt.

Vor dem Hintergrund der Brandschutzforschung im Interesse der Feuerwehren steht der Schutz dieser Bereiche auch und gerade hinsichtlich der Sicherstellung eines gefährdungsaarmen abwehrenden Brandschutzes für die Feuerwehr und sonstige Einsatz- und Rettungskräfte im Focus.

2. BRAND- UND RAUCHAUSBREITUNG IN GEBÄUDEN - ALLGEMEINE GEFÄHRDUNGSDARSTELLUNG

Nach den Bauordnungen müssen bauliche Anlagen so beschaffen sein, dass

- der Entstehung eines Brandes und
- der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird,
- die Rettung von Menschen und Tieren
- sowie wirksame Löscharbeiten

möglich sind.

Daneben lassen sich aus der Musterbauordnung (MBO) weitere allgemeine Schutzziele ableiten:

Schutz von Leben und Gesundheit

Die Nutzer eines Gebäudes, Feuerwehrleute und auch unbeteiligte Personen, die sich in der Nähe des Gebäudes aufhalten, sind potentiell durch einen Brand gefährdet. Die Hauptziele zum Schutz des Lebens sind deshalb folgende:

- Die Gebäudenutzer sollen das Gebäude verlassen können, ohne in eine gefährliche Situation oder sonstige widrige Umstände zu geraten (Prinzip der Selbstrettung).
- Feuerwehrleute müssen durch vorbeugende Brandschutzmaßnahmen in der Lage sein:
 - wirksam zu Retten,
 - die Ausbreitung eines Brandes zu verhindern.

Umweltschutz

Ein Großbrand oder das Freisetzen von großen Mengen von Gefahrstoffen hat erhebliche negative Auswirkungen. Die Umweltschäden übersteigen häufig die eigentlichen Brandschäden und sind bei der Festlegung der aus den Schutzzielen abgeleiteten funktionalen Anforderungen zu beachten.

Nachbarschaftsschutz/ natürliche Lebensgrundlagen

Schädliche Auswirkungen eines Brandes auf die Nachbarschaft sollen weitest gehend vermieden werden.

Die Auswirkungen eines Brandes auf die künftige Betriebsfähigkeit einer Verwaltung/Anstalt o. ä. können beträchtlich sein, zum Beispiel für

- die Bausubstanz und Struktur des Gebäudes,
- den Inhalt des Gebäudes,
- den laufenden Betrieb,
- Betriebsausfälle, die nicht oder nur räumlich und zeitlich begrenzt hingenommen werden können.

Von Bedeutung hierbei sind auch evtl. aufkommende Diskussionen und Streitfälle mit Behörden und Umweltorganisationen bezüglich der Freisetzung bzw. Ableitung von radioaktiven, gentechnischen, biologischen und toxischen Stoffen in die Umgebungsluft bzw. in das Abwasser.

Bei einem Brand in einem Raum ist ohne schnelle Alarmierung, ohne frühzeitige Löschmaßnahmen bzw. schnellen Feuerwehreinsatz mit erheblichen Personen- und Sachschäden durch schnelle Brand- aber vor allem Rauchausbreitung zu rechnen.

Eine besondere Bedeutung haben im Brandfall außer den Flammen und heißem Brandrauch die Toxizität von Brandrauch und der Sauerstoffmangel auf Menschen und Tiere sowie die Verrauchung von Flucht- und Rettungswegen. Weiterhin führt Brandrauch ggf. zu beträchtlichen Sachschäden z.B. in Form von Korrosionsschäden und allgemeiner Kontamination.

Bereits in der Brandentstehungsphase (Schwelphase) bilden sich bei vergleichsweise geringer Brandleistung 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.

Es ergeben sich schnell eingeschränkte Sichtverhältnisse.

Toxische Gase im Brandrauch verursachen bei sehr kurzen Einwirkungszeiten im Allgemeinen 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 thermischem Auftrieb des Brandrauchs, dem Einfluss von Wind auf Öffnungen oder dem Einfluss von Löschanlagen kann eine ausreichend schnelle Entrauchung beträchtlich erschwert werden.

Bild 1 zeigt die Gefährdungen durch Brandrauch und Sauerstoffmangel bei Bränden und im Vergleich mit einem realen Wohnzimmerbrand wie schnell zulässige Grenzwerte über bzw. unterschritten werden können. Bereits unter 2 Minuten können tödliche Brandrauchkonzentrationen auftreten.

Personen werden im Brandraum in den meisten Fällen zunächst durch die aus der Brandbeteiligung der Inneneinrichtung der Räume resultierenden Schadstoffe und Wärmeeinwirkung und dann im weiteren Brandverlauf durch die Brandbeteiligung der Bauprodukte gefährdet.

Brandschutztechnische Maßnahmen müssen neben den im Brandfall auftretenden Belastungen insbesondere die Materialeigenschaften der verwendeten Baustoffe, mit dem Schwerpunkt ihres Verhaltens bei hohen Temperaturen berücksichtigen. Im Brandfall kommt es ohne schnelle Brandbekämpfung nicht nur zum direkten Kontakt der Bauprodukte mit dem heißen Brandrauch, sondern auch zum direkten Flammenkontakt.

Es ist aufgrund einer Vielzahl von Untersuchungen bekannt, dass Personen in Räumen, in denen ein Brand entsteht, nur dann überleben können, wenn durch eine schnelle Alarmierung eine ebenso rasche Brandbekämpfung eingeleitet wird.

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:	AGW-Wert: 5000 ppm ^{*)} (0,5 Vol.-%)	
	3 - 4 Vol.-% (Kurzezeitwirk.):	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 Kohlenmonoxidkonzentration 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



Bild 1: Gefährdung durch Brandrauch und Sauerstoffmangel bei Bränden [194]

Ohne schnelle Brandbekämpfungsmaßnahmen besteht bei einem Raumbrand die Gefahr des Auftretens der Brandphänomene

- **Flashover**
- **Backdraft**
- **Rollover**

Die nachstehenden Angaben dienen dazu, das Gefährdungspotential dieser Ereignisse auch hinsichtlich der Zeitschiene „Brand“ deutlich zu machen. Von derartigen Ereignissen gehen erhebliche Gefährdungen sowohl für das Gebäude und seinen Inhalt als auch für die Feuerwehreinsatzkräfte aus. Dies trifft in erhöhtem Maße für Geschossbauten zu.

Der **Backdraft** nach **Bild 2** tritt unter folgenden Bedingungen auf:

- Brennbare Dämpfe, die im Brandbereich entstanden sind, konnten aufgrund von Sauerstoffmangel und/oder starker Abkühlung (z.B. an kalten Wänden) nicht vollständig verbrennen.
- 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 sind z.B. die im Brandraum herrschende Temperatur, Bereiche mit Flammenbildung oder glimmende Bereiche
- Besondere Gefährdung tritt auf durch Feuerball, Stichflammenbildung, umherfliegende Teile und Glassplitter.

Bei einem Backdraft handelt es sich nicht um eine Explosion im eigentlichen Sinne, sondern um eine Verpuffung. Bei einer Verpuffung beträgt der Druck weniger als 0,01 MPa (0,1 bar) und ist damit erheblich geringer als bei einer Explosion. Bereits bei diesem vergleichsweise kleinen Druck entstehen schwere Schäden an Bauwerksstrukturen und sonstigen Bauwerksbestandteilen, wie z.B. Verglasungen (siehe **Bild 3** nach **Neumann [196]**).

Bild 4 zeigt eine Auswahl brennbarer Brandpyrolysegase mit den charakteristischen Explosionsgrenzen in Luft sowie den Zündtemperaturen. Bei diesen Tabellenwerten ist darauf hinzuweisen, dass es sich um die Explosionsgrenzen bei Raumtemperatur 20°C handelt. Bei höheren Raumtemperaturen erweitern sich diese Zündgrenzen stetig, so dass auch bei geringerem Sauerstoffangebot noch eine Verbrennung ablaufen kann.

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

Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Backdraft

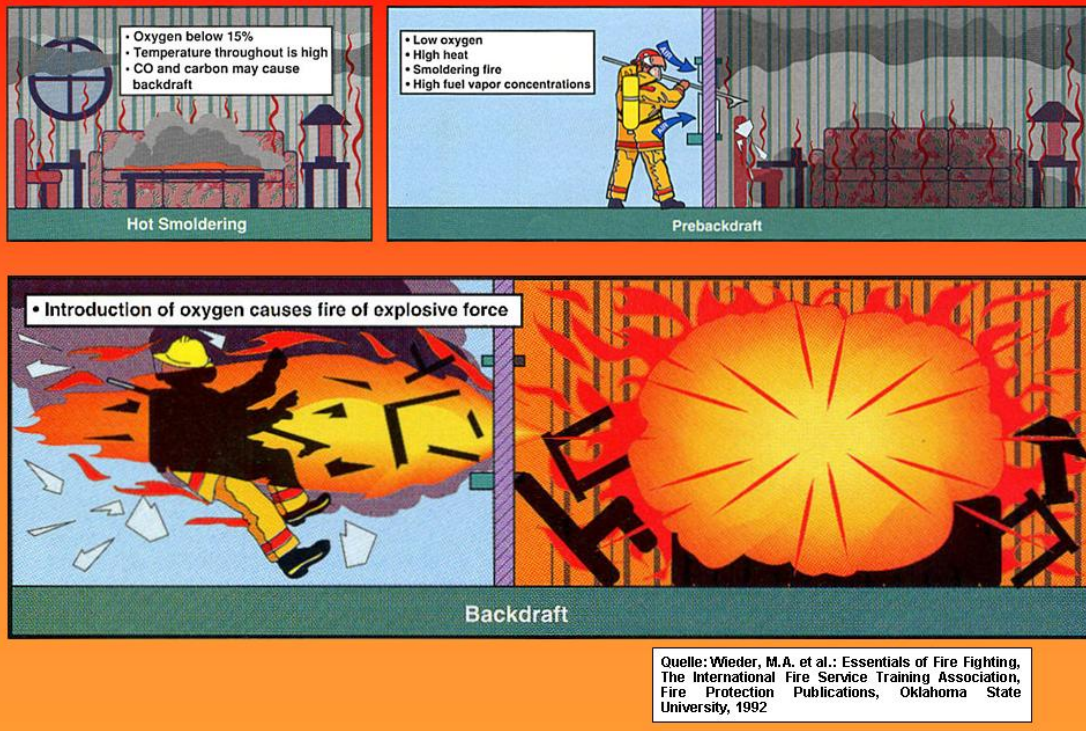


Bild 2: Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Backdraft nach **Wieder, M.A. et al [195]**.

Explosionen UNIVERSITÄT DORTMUND

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

Seite 4

Quelle: Neumann, J.: Brand- und Explosionsschutz (Skriptum zur Vorlesung Arbeits- und Anlagensicherheit), Universität Dortmund, Fachbereich Bio- und Chemieingenieurwesen, Lehrstuhl Umweltechnik, Juni 2003

Bild 3: Schadensarten bei Explosionsdruckwellen nach **Neumann [196]**.

Auswahl brennbarer Brandpyrolysegase

Pyrolysegas	Explosionsgrenze in Luft Vol.-%		Zündtemperatur °C	Dichte kg/m ³ (0°C, 1 bar) <small>Luft: 1,29 kg/m³</small>
	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

Bild 4: Auswahl brennbarer Brandpyrolysegase

Der **Rollover** nach **Bild 5** und **6** ist gekennzeichnet durch folgende Eigenschaften

- Überhitzte zündfähige Brandpyrolysegase und -dämpfe bilden eine Rauchschiicht im Deckenbereich. Bei eingeschränkter Sauerstoffzufuhr steigt die Konzentration der bei der Pyrolyse produzierten brennbaren Gase und von Kohlenmonoxid in der Rauchschiicht trotz vorhandener Zündquelle (heißer Rauch) über die obere Zündgrenze an und es entstehen Flammzungen an der Grenzschicht Rauch/Luft, wo ein 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 Rauchschiicht (häufig in Verbindung mit einer Stichflamme) erfolgt ohne signifikanten Druckanstieg bei gerade ausreichender Sauerstoffzufuhr.
- Zunächst brennen nur die Brandpyrolysegase und -dämpfe, noch nicht die Raumeinrichtung (mit Ausnahme des Brandenstehungsbereiches).

Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Rollover



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

Bild 5: Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Rollover nach **Wieder, M.A. et al [195]**.



Rollover
in der Brandübungsanlage der
Feuerwehr Karlsruhe



Rollover
während eines Brandversuches an
einem Industrieleichtdach an der FFB



Bild 6: Rollover (Feuerwehr Karlsruhe und FFB)

Der eigentliche **Flashover** nach **Bild 7** und **8** tritt bei folgenden Bedingungen auf:

- wenn sich in einem Raum die Oberfläche des brennbaren Materials durch Wärmeeinstrahlung aus den Flammen und aus der heißen Rauchschticht unterhalb der Decke soweit aufgeheizt hat, dass quasi schlagartig in großer Menge brennbare Pyrolysegase 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 Rauchschticht: ca. 500 - 600°C
 - Wärmestrahlung im Bodenbereich bzw. an der Mehrzahl der Oberflächen brennbarer Stoffe ca. 20 kW/m² (Sonnenstrahlung ca. 1 kW/m²)
- Die Raumtemperatur steigt schlagartig an, wobei zwischenzeitlich ein kurzfristiger Temperaturabfall beobachtet wird.

(Dieser Effekt des kurzfristigen Temperaturabfalls dürfte im Wesentlichen auf die hohen Rußanteile zurückzuführen sein, die in einer Verringerung der aus den Flammen an Messfühlern auftretenden Wärmestrahlung resultieren. Dieser Effekt hält nur für kurze Zeit an, wie bereits angeführt. Danach steigt die Raumtemperatur auf Werte > 800°C an, wobei diese Größe erheblich von der Menge an brennbarem Material bzw. seiner Oberfläche und der Größe der Ventilationsöffnung mitbestimmt wird (siehe hierzu auch die Temperaturangabe von 1120°C in **Bild 8** nach dem Flashover)
- Der Flashover ist verbunden mit beträchtlicher Pyrolysegasproduktion, Rußanreicherung und Sauerstoffverringerng in der Rauchschticht mit kurzfristigem Temperaturabfall. Bei eingeschränkter Sauerstoff-Zufuhr in den Brandraum wächst die Konzentration der Pyrolysegase und von Kohlenmonoxid in der Rauchschticht 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
- Durch frühzeitige Abkühlung der Rauchgase (Löscheinsatz) wird die Gefahr eines "Flashovers" durch die Eindämmung der Pyrolyse erheblich verringert.

Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Flashover

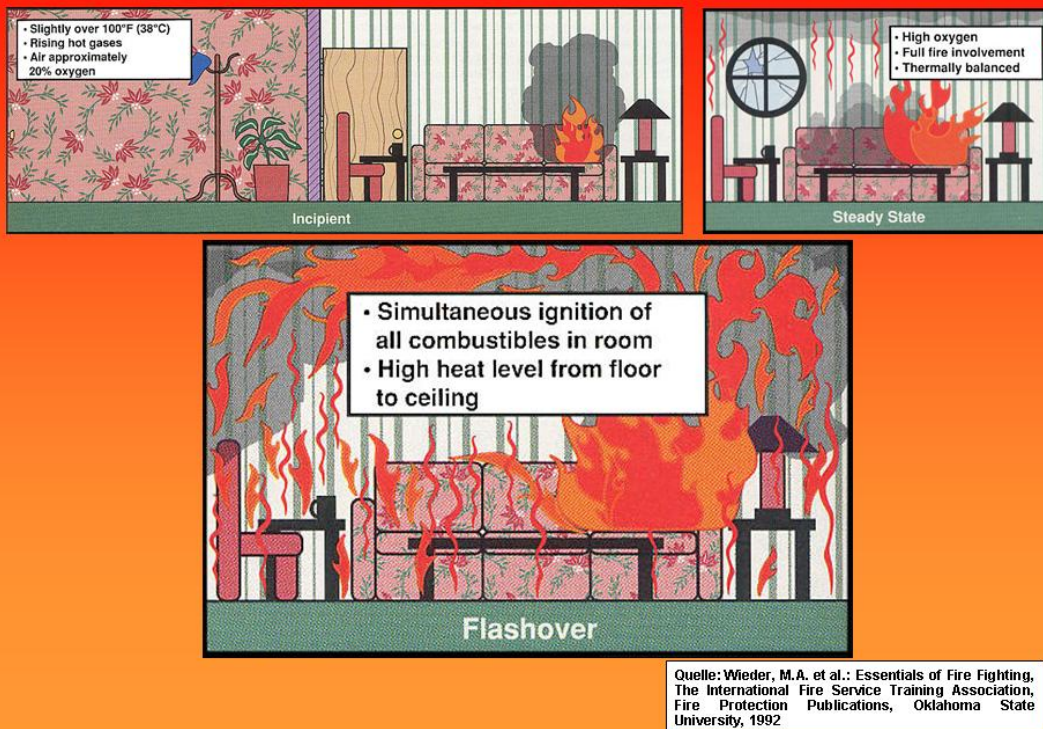


Bild 7: Gefährdung von Feuerwehreinsatzkräften durch Flashover nach **Wieder, M.A. et al. [195]**.

Flashover bei einem **Wohnzimmerbrand** (FFB)



Bild 8: Flashover bei einem Wohnzimmerbrand (FFB)

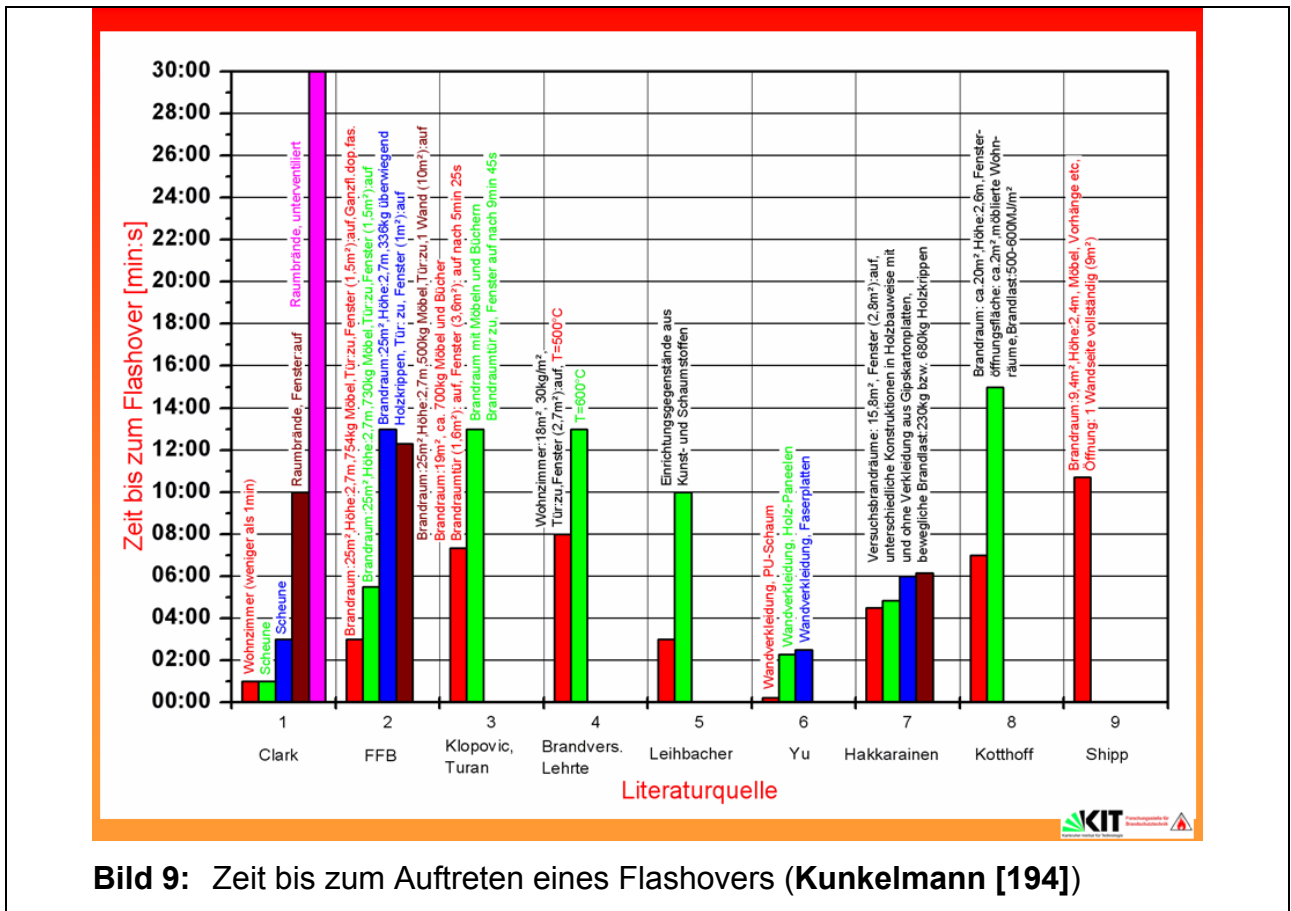


Bild 9: Zeit bis zum Auftreten eines Flashovers (Kunkelmann [194])

Wie eine Untersuchung des in- und ausländischen Schrifttums zu Versuchsbränden (mit aufgetretenem Flashover) an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik gezeigt hat (**Bild 9**), tritt ein Flashover je nach Raumgeometrie, Ventilationsbedingungen und Brandlast im Zeitbereich zwischen 1 Minute und 30 Minuten auf. Die durchschnittliche Zeit liegt bei ca. 7 min. Bei einem Raumbrandversuch an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik trat der Flashover bei einem gewöhnlichen Wohnzimmerbrand bereits nach 3 Minuten auf.

Durch die beim ventilationsgesteuerten Vollbrand entstehenden Temperaturen von zumeist über 1000°C werden Stahl-, Leichtmetall-, Holz-, Glas- und Kunststoffprodukte in kurzer Zeit zerstört bzw. unbrauchbar und können deshalb ihre vorgesehene Funktion nicht mehr erfüllen.

Bild 10 zeigt die maximal zulässigen Betriebstemperaturen für Verglasungen, wobei hier nicht nur das Glas selbst, sondern im besonderen Maße auch die Rahmenkonstruktion und die Rahmenwerkstoffe einen ganz entscheidenden Einfluss auf das Bruchverhalten haben.

Die Zerstörung einer Verglasung bei einem Brand wiederum hat einen ganz entscheiden-

den Einfluss auf den weiteren Brandverlauf, ob es zum Beispiel aufgrund einer zunächst nicht zerstörten Verglasung beim Schaffen einer Öffnung zu einer Rauchgasdurchzündung oder einem Backdraft kommt oder ob bei ausreichender Ventilation ein Flashover eintritt.

Gerade diese Eigenschaften von Verglasungen können bei den später noch näher beschriebenen Laboren und Bereichen der Sicherheitsstufen S3 und S4 mit dichten bruchsi-
cheren Fenstern zu kritischen Zuständen beim Brand führen.

Diese Risiken können in den überwiegenden Fällen nur durch eine einwandfrei funktionierende und schnell auslösende automatische ortsfeste Löschanlage in Verbindung mit der erforderlichen Brandmeldetechnik verringert werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die eingesetzte Löschanlage und das verwendete Löschmittel für die Brandbekämpfung im speziellen Fall geeignet sind. Die zu erwartende Beschädigung der Inneneinrichtung des Raumes durch den Brand und das Löschmedium muss hierbei auf ein Minimum reduziert werden.

Maximale Betriebstemperaturen für Verglasungen

- **Einfachglas (Floatglas):**
maximal ± 40 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche (z.B. zwischen Scheibenmitte und Scheibenrand) bei üblichen Umgebungstemperaturen.
- **Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG):**
ca. 250°C, (kurzzeitig: 300°C), maximal 150 K Temperaturunterschied in der Scheibenfläche.
- **Teilvorgespanntes Glas (TVG):**
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** sind gesondert zu betrachten.

Quelle: VEGLA: Technisches Handbuch Glas am Bau, Vereinigte Glaswerke GmbH, Aachen 1999

Bild 10: Maximale Betriebstemperaturen für Verglasungen nach **VEGLA [208]**.

Ein weiteres Gefahrenpotential ergibt sich durch die betriebsbedingte Lagerung von Druckgasbehältern (siehe **Knorr [178]**). Im Hinblick auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Füllgase müssen folgende Fälle als Ursachen für einen möglichen **Druckbehälterzerknall** unterschieden werden:

- 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 Druckbehälter gefüllt. Der maximal zulässige Fülldruck ist so bemessen, dass auch eine mögliche Drucksteigerung durch intensive Sonneneinstrahlung den Druckbehälter nicht zum Bersten bringt. Dies kann aber eintreten, wenn dieser durch äußeres Feuer erhitzt wurde. Z. B. ergibt sich bei einem idealen Gas folgender lineare Innendruckanstieg bei Temperaturerhöhung ausgehend von Raumtemperatur und einem Fülldruck von 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 Druckbehälter 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. Die siedende Flüssigphase des Gases verdampft dann 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, siehe **Bild 11** und **12**). Dieses Phänomen tritt auch auf bei unterdimensionierten Berstscheiben oder Sicherheitsventilen oder anderen Komponenten als Sicherheitseinrichtungen, wenn aufgrund der Wärmeeinwirkung der Druck nicht ausreichend schnell abgebaut werden kann. Z.B. beträgt die 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 im Freien bis zu 1000 Meter, unter Umständen auch mehr betragen.

Gefährdungspotential durch Brände von Spraydosen mit Propan/Butan-Treibgas



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

Quelle: Pölzl, A.: Schwere 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.

Quelle: Widetschek, O.: Spraydosen: Wie geht es weiter?, Blaulicht 7/89, S. 4 - 6



Bild 11: Gefährdungspotential durch Brände von Spraydosen nach **Pölzl, A. [197]** und **Widetschek, O. [198]**

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 Rauchentwicklung beim Abbrand der 24.000 Feuerzeuge

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



Bild 12: Gefährdungspotential durch Brände von Einwegfeuerzeugen nach **Feutlinske, K., Borsch, J. [199]**

Ein besonderes Problem stellen auch Acetylenflaschen (z.B. in Werkstattbereichen) dar (siehe **Knorr [177]**). Zwar ist der akute Zerknall in Folge einer Wärmebeaufschlagung wie bei anderen verflüssigten Gasen fast immer auf den Effekt der hydraulischen Sprengung und nicht auf eine Acetylenzersetzung zurückzuführen. Acetylen weist aber in Folge seiner chemischen Instabilität eine Besonderheit auf: Während nämlich unter Druck (gasförmig oder verflüssigt) gespeicherte Gase nach Beendigung der äußeren Erwärmung wieder in ihren ursprünglichen stabilen Druckzustand zurückkehren, kann eine eingeleitete Acetylenzersetzung auch nach Beendigung der äußeren Erwärmung fortschreiten, den Druck in der Acetylenflasche weiter steigern und noch nach Stunden zu einem Behälterzerknall führen.

Man erkennt, dass der Druckbehälterzerknall vergleichsweise bereits bei geringen Temperaturen und daher bei schneller Brandentwicklung in sehr kurzer Zeit vorkommen kann.

Bei starker Verrauchung im Gebäude sind Druckbehälter nicht bereits von weitem erkennbar. Das Zerbersten von Druckbehältern gefährdet Personen in besonderem Maß und hat eine beträchtliche zerstörerische Wirkung auf die Bauwerkskonstruktion. Das Risiko für die Feuerwehreinsatzkräfte ist – gerade bei kleinräumiger Gebäudestrukturierung – erheblich.

3. BIOLOGISCHE GEFÄHRDUNG - BESONDERHEITEN IN GEBÄUDEN MIT MIKROBIOLOGISCHEN UND GENTECHNISCHEN BEREICHEN

Bei der Brandbekämpfung in Anlagen mit mikrobiologischen und gentechnischen Bereichen ist neben den Gefährdungen, die aufgrund eines „normalen“ Brandes entstehen, ggf. auch mit dem Freisetzen von gefährlichen Organismen als auch von radioaktiven Substanzen zu rechnen, die z. B. für die Diagnostik verwendet werden.

Hierdurch ergeben sich besondere Aufgabenstellungen für die Feuerwehreinsatzkräfte, da im Brandfall mit der unkontrollierten Freisetzung derartiger Substanzen zu rechnen ist.

In den **Literaturstellen [1] bis [134]** findet sich eine Zusammenstellung von wichtigen Verordnungen, Richtlinien und Veröffentlichungen sowie eine Auswahl von Webseiten von Ministerien, Bundesämtern, Kommissionen, Instituten und Ausschüssen zur Thematik Gentechnik und Sicherheit.

Soweit dies möglich ist, wurde direkt ein elektronischer Verweis (Hyperlink) auf die entsprechende Literaturstelle eingefügt. Diese Verweisziele waren bei der Erstellung des Forschungsberichtes aktuell, können jedoch aufgrund von zwischenzeitlich vorgenommenen Änderungen auf Webseiten nicht mehr gültig sein.

Nachfolgend wird eine Zusammenstellung der wesentlichen Punkte gegeben.

In der Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für gentechnische Arbeiten **[84]** macht das Bundesministerium für Gesundheit nach Anhörung der Zentralen Kommission für die Biologische Sicherheit eine Liste von Organismen bekannt, die den Risikogruppen 1 bis 4 nach den allgemeinen Kriterien gemäß § 5 Abs. 1 Satz 1 und Abs. 2 Satz 1 der Gentechnik-Sicherheitsverordnung (GenTSV) **[2]** zugeordnet sind.

Die Liste nennt Viren, Bakterien, Parasiten, Pilze und sonstige eukaryote (echtkernige) Einzeller.

Zellen und Zelllinien werden in die Risikogruppe 1 eingeordnet, wenn sie keine Organismen einer höheren Risikogruppe abgeben. Geben sie Organismen höherer Risikogruppen ab, werden sie in die Risikogruppe dieser Organismen eingeordnet.

Für die medizinische Diagnostik unbekannter Erreger gelten eigene Bestimmungen (z. B. Bundesseuchengesetz, Biostoffverordnung).

Die einzelne Risikogruppe definiert nicht ein einziges, jeweils "punktgenau" bestimmtes Wirkungspotenzial. Vielmehr umfasst jede Risikogruppe einen bestimmten Bereich, da in der Natur ein kontinuierliches Spektrum an Organismen von harmlos bis gefährlich vorliegt.

Hier nicht genannte Organismen sind entsprechend den allgemeinen Einordnungskriterien zu klassifizieren.

Die Kennzeichnung (AR) kennzeichnet die Einstufung nach der Arbeitnehmerschutzrichtlinie 2000/54/EG vom 18.09.2000. Entsprechend dem Anwendungsbereich der Richtlinie sollen nur Arbeitsstoffe, die bekanntermaßen Infektionskrankheiten beim Menschen hervorrufen, in die Einstufung aufgenommen werden.

Bei bestimmten biologischen Arbeitsstoffen, die in die Gruppe 3 eingestuft und in der Liste mit zwei Sternchen (**) versehen wurden, ist das Infektionsrisiko für Arbeitnehmer begrenzt, da eine Infektion über den Luftweg normalerweise nicht erfolgen kann. Um festzustellen, ob unter den besonderen Umständen auf bestimmte Maßnahmen verzichtet werden kann, unterziehen die Mitgliedstaaten die auf die biologischen Arbeitsstoffe angewendeten Sicherheitsmaßnahmen einer Beurteilung, bei der sie die Art der betreffenden Tätigkeiten und die Menge des jeweiligen biologischen Arbeitsstoffes berücksichtigen.

An dieser Stelle soll zusätzlich auch die **TRBA 100 [59]** Abschnitt 5.4.2 zitiert werden:

*„Bestimmte biologische Arbeitsstoffe der Risikogruppe 3, die normalerweise nicht über den Luftweg übertragen werden, wurden im Rahmen der gemeinschaftlichen Einstufung von biologischen Arbeitsstoffen mit 2 Sternchen versehen. Für diese ist die starre Verknüpfung von Schutzstufe und Sicherheitsmaßnahmen nach RL 2000/54/EG gelockert. Den Mitgliedstaaten obliegt es, unter Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften der betroffenen biologischen Arbeitsstoffe zu prüfen, auf welche Maßnahmen verzichtet werden kann. Die für gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen der Risikogruppe 3** notwendigen Maßnahmen sind im Folgenden zusammengefasst. Diese gelten auch für nicht gezielte Tätigkeiten, wenn diese aufgrund des Ergebnisses der*

Gefährdungsbeurteilung unter Bedingungen der Schutzstufe 3 durchgeführt werden müssen.

(1) Grundsätzlich sind die Sicherheitsmaßnahmen der Schutzstufe 3 entsprechend Abschnitt 5.4.1 einzuhalten, wobei auf folgende Maßnahmen verzichtet werden kann:

- Unterdruck
- Abluftfiltration der Raumluft mit Hochleistungsschwebstofffiltern, wenn die Arbeiten in einer Sicherheitswerkbank oder einem geschlossenen System durchgeführt werden.
Autoklav innerhalb des Laborbereiches
- die generelle Inaktivierung der Abfälle und Abwässer, wobei sichergestellt sein muss, dass eine Inaktivierung der kontaminierten festen und flüssigen Abfälle gewährleistet ist
- Abdichtbarkeit zum Zwecke der Begasung.
- eine Personenschleuse, sofern sie nicht in den organismen-spezifischen Tabellen des Anhangs 2 gefordert wird.

Die im Anhang 2 aufgeführten organismen-spezifischen Maßnahmen sind zu berücksichtigen.“

(siehe **TRBA 100 [59]** Anhang 2: Mikroorganismenbezogene Sicherheitsmaßnahmen für biologische Arbeitsstoffe der Risikogruppe 3**.)

Bereits in Laboren und Bereichen der Sicherheitsstufe 2 wird daher unter Umständen bereits mit biologischen Arbeitsstoffen der Risikogruppe 3** gearbeitet, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte, Feuerwehr und Rettungskräfte darstellen können.

In den **Bildern 13 und 14** finden sich Auszüge aus der **Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für Gentechnische Arbeiten** des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) **[84]**. Im Literaturverzeichnis werden sowohl die Ausgabe 2001 als auch die Ausgabe 2010 aufgeführt. In der Ausgabe 2010 gibt es einige Abweichungen von der Arbeitnehmerschutzrichtlinie 2000/54/EG vom 18. September 2000.

Organismenname	Virusfamilie	s. Legende	s. Legende	Risikogruppe
endogene tierische Retroviren, die auf natürliche Weise in das Genom gelangen und apathogen sind	Retroviridae			1
Entenhepatitis B-Virus duck hepatitis B virus (DHBV)	Hepadnaviridae		t	1
Entenhepatitis-Virus (DHV) duck hepatitis virus I and III	Picomaviridae			2
Enteroviren, außer den speziell genannten Spezies	Picomaviridae			2
Enzephalomyocarditis-(EMC)-Viren bei kleinen Nagetieren (Columbia SK-Virus, Mengo-Virus) encephalomyo- carditis virus (EMCV)	Picomaviridae			2
Enzephalomyocarditis-(EMC)-Virus beim Schwein	Picomaviridae			2
Epstein-Barr-Virus (EBV) Syn.: human herpesvirus 4 (HHV-4)	Herpesviridae		AR	2
Equines Herpesvirus 1 (EHV-1)	Herpesviridae			2
Equines Herpesvirus 2 (EHV-2)	Herpesviridae			2
Equines Herpesvirus 4 (EHV-4)	Herpesviridae			2
Equines Influenzavirus (EIV)	Orthomyxoviridae			2
Equines Morbillivirus	unklassifiziert		AR	4
Everglades Virus (EVEV)	Togaviridae		AR *	3
exogene Retroviren, außer den speziell genannten Spezies	Retroviridae			2
fab bean necrotic yellows virus (FBNYV)	unklassifiziert		p	2
Felines Calicivirus (FCV)	Caliciviridae			2
Felines Immundefizienzvirus (FIV)	Retroviridae			2
Felines Leukämie-Virus (FeLV)	Retroviridae			2
Felines Panleukopenie-Virus feline panleukopenia virus (FPV)	Parvoviridae			2
Felines Spumaretrovirus (FeSRV) Syn.: Felines Synzytium-Virus (FSV)	Retroviridae			2
Fibromvirus beim Eichhörnchen squirrel fibroma virus (SQFV)	Poxxviridae			2
Fibromvirus beim Hasen hare fibroma virus (FIBV)	Poxxviridae			2
Flavivirus (Genus), außer den speziell genannten Spezies	Flaviviridae		AR	2
Flexal-Virus (FLEV)	Arenaviridae		AR	3
Fort Morgan-Virus (FMV)	Togaviridae			2
Froschvirus 3 (FV-3) frog virus 3	Iridoviridae			1
Frischommer-Meningoenzephalitis-Virus (FSME) Syn.: Zentraleuropäisches Zecken- enzephalitis-Virus	Flaviviridae		AR *	3
Hepatitis B-Virus (HBV)	Hepadnaviridae		AR *, a	3

Bild 13: Auszug aus der Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für Gentechnische Arbeiten des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL)
– Ausgabe 1.3.2001 [84]

II. Laborbereich – Viren (alphabetisch geordnet)

54

Organismenname	siehe Legende	Risikogruppe
<i>Strawberry mild yellow edge virus (SMYEV)</i>	p	1
<i>Strawberry mottle virus (SMoV)</i>	p	1
<i>Strawberry vein banding virus (SVBV)</i>	p	2
<i>Sweet potato chlorotic stunt virus (SPCSV)</i>	p	1
<i>Sweet potato feathery mottle virus (SPFMV)</i>	p	1
<i>Swine vesicular disease virus</i>		2
<i>Swinepox virus (SWPV)</i>		2
<i>Tacaribe virus (TCRV), außer den speziell genannten Spezies</i>	AR	2
<i>Ťahyňa virus (TAHV)</i>		2
<i>Tanapox virus (TANV)</i>	AR	2
<i>Thailand virus (THAIV)</i>	AR t	2
<i>Theiler's murine encephalomyelitis virus (TMEV)</i>		2
<i>Thogoto virus (THOV)</i>	AR	2
<i>Thosea asigna virus (TaV)</i>		1
<i>Thottapalayam virus (TPMV)</i>	AR t	2
<i>Tick-borne encephalitis virus (TBEV)</i>	AR	3

II. Laborbereich – Viren (nach Familie geordnet)

61

Organismenname	siehe Legende	Risikogruppe
<i>Tomato yellow leaf curl Sardinia virus (TYLCSV)</i>	p	2
<i>Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)</i>	p	2
<i>Watermelon chlorotic stunt virus (WmCSV)</i>	p	2
<i>Wheat dwarf virus (WDV)</i>	p	1
Hepadnaviridae		
<i>Duck hepatitis B virus (DHBV)</i>	t	1
<i>Ground squirrel hepatitis B virus (GSHV)</i>		2
<i>Hepatitis B virus (HBV)</i>	AR	2
<i>Heron hepatitis B virus (HHBV)</i>	t	1
<i>Woodchuck hepatitis B Virus (WHV)</i>		2
<i>Woolly monkey hepatitis B Virus (WMHBV)</i>	t	2

Bild 14: Auszug aus der Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für Gentechnische Arbeiten des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL)
– Ausgabe 15.6.2010 [84]

Beispielhaft sei hier auf die Einstufung des Hepatitis B-Virus und des FSME (TBEV)-Virus hingewiesen. In dem Auszug der Ausgabe 1.3.2001 in **Bild 13** und dem Auszug der Ausgabe 15.6.2010 (**Bild 14**) finden sich folgende Unterschiede:

FSME (TBEV)-Virus:	Risikogruppe 3* gem. Ausgabe 1.3.2001
	Risikogruppe 3 gem. Ausgabe 15.6.2010
Hepatitis B-Virus:	Risikogruppe 3* gem. Ausgabe 1.3.2001
	Risikogruppe 2 gem. Ausgabe 15.6.2010

Durch Änderungen der Risikogruppen in den Organismenlisten Ausgabe 2001 / Ausgabe 2010 des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit muss also ggf. überprüft werden, ob die Sicherheitsmaßnahmen z.B. in den entsprechenden Laboren ggf. angepasst werden müssen.

Solche Änderungen haben ggf. auch Auswirkungen auf die Auswahl der persönlichen Schutzausrüstung der Feuerwehreinsatz- und Rettungskräfte.

Zuständig für Anmeldungen und Genehmigungen gentechnischer Anlagen in Deutschland sind die Bundesländer. §28 des **Gentechnikgesetzes GenTG [134]** regelt, dass die Behörden der Bundesländer das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) über die im Vollzug des Gesetzes getroffenen Entscheidungen unterrichten.

Das BVL bietet auf Grundlage der Meldungen der Bundesländer eine kurze Übersicht zu den in Deutschland zugelassenen gentechnischen Anlagen an:

Bild 15 zeigt eine Übersicht der in Deutschland vorhandenen gentechnischen Anlagen nach den Angaben des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Stand: 1.4.2010).

Gentechnik in den Bundesländern - Gentechnische Anlagen

Zuständig für Anmeldungen und Genehmigungen gentechnischer Anlagen in Deutschland sind die Bundesländer. §28 des Gentechnikgesetzes regelt, dass die Behörden der Bundesländer das BVL über die im Vollzug des Gesetzes getroffenen Entscheidungen unterrichten. Das BVL bietet auf Grundlage der Meldungen der Bundesländer eine kurze Übersicht zu den in Deutschland zugelassenen gentechnischen Anlagen an:

Übersicht über die von den zuständigen Landesbehörden zugelassenen gentechnischen Anlagen (Stand: 1. April 2010)

Sicherheitsstufe	Öffentlich Forschung	Öffentlich Gewerbe	Privat Forschung	Privat Gewerbe	Summe
S1	3505	1	787	104	4397
S2	1204	3	162	18	1387
S3	86	0	10	1	97
S4	4	0	0	0	4
Summe	4799	4	959	123	5885

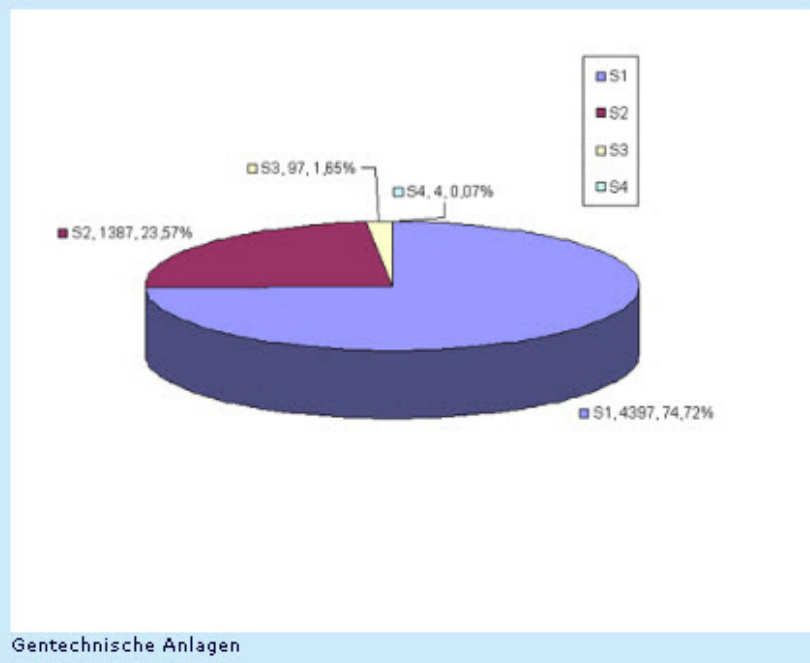


Bild 15: Gentechnik in den Bundesländern - Gentechnische Anlagen
(Quelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, www.bvl.bund.de)

Der nachfolgende Auszug der in der **Tabelle** im Anhang vollständig wiedergegebenen Gentechnik-Sicherheitsverordnung - **GenTSV [2]** zeigt die besondere Problematik der Labore der Sicherheitsstufe 3 und 4 (engl.: Biosafety Level, BSL 3, BSL 4) mit den speziellen Anforderungen z.B. für den Zutritt zum Labor, die Filterung der Abluft bzw. den Unterdruckbetrieb.

Im Brandfall ergeben sich hierdurch besondere Aufgabenstellungen für Feuerwehreinsatz- und Rettungskräfte sowie besondere Anforderungen an die Löschanlagen- und Brandmeldetechnik, auf die in den Abschnitten 4 und 5 näher eingegangen wird.

III. Stufe 3

1. Das Labor muss von seiner Umgebung abgeschirmt sein.
2. Fenster dürfen nicht zu öffnen sein.
3. In der Regel ist eine Schleuse einzurichten, über die das Labor zu betreten und zu verlassen ist. Die Schleuse ist mit zwei selbstschließenden Türen auszustatten, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb gegeneinander verriegelt sind. Sie muss eine Händedesinfektionsvorrichtung enthalten. In der Regel ist in der Schleuse ein Handwaschbecken mit Ellenbogen-, Fuß- oder Sensorbetätigung einzurichten. In begründeten Einzelfällen kann auf eine Schleuse verzichtet werden. Falls erforderlich, ist eine Dusche einzurichten.
4. In der Schleuse ist geeignete Schutzkleidung anzulegen. Beim Arbeiten sind Schutzhandschuhe zu tragen. Schutzkleidung, geschlossene Schuhe und Schutzhandschuhe sind vom Betreiber bereitzustellen. Die Schutzkleidung ist vor der Reinigung oder der Beseitigung zu sterilisieren. Die Schutzkleidung umfasst einen an den Rumpfvorderseiten geschlossenen Schutzkittel mit Kennzeichnung, geschlossene Schuhe, die entsprechend der Tätigkeit anzulegen sind, sowie in Abhängigkeit von der Tätigkeit Mundschutz (Berührungsschutz).
5. Jedes Labor sollte über eigene Laborgerätschaften verfügen.
6. Ein Autoklav oder eine gleichwertige Sterilisationseinheit muss im Labor vorhanden sein.
7. Bei Arbeiten, bei denen Aerosole entstehen können, muss stets in Sicherheitswerkbänken der Klasse I oder II gearbeitet werden.
8. Der Zutritt zum Labor ist auf die Personen zu beschränken, deren Anwesenheit zur Durchführung der Versuche erforderlich ist und die zum Eintritt befugt sind. Der Projektleiter ist verantwortlich für die Bestimmung der zutrittsberechtigten Personen. Eine Person darf nur dann allein im Labor arbeiten, wenn eine von innen zu betätigende Alarmanlage vorhanden ist.
9. Im Arbeitsbereich anfallende 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.
Bei bestimmungsgemäßem Betrieb und unter Beachtung der organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen fallen aus der Schleuse keine kontaminierten Abwässer an.
10. Der Laborbereich muss zum Zwecke der Begasung abdichtbar sein.
11. Sofern mit pathogenen Organismen gearbeitet wird, für die eine Übertragung durch die Luft nicht ausgeschlossen werden kann, muss das Labor unter ständigem, durch Alarmgeber kontrollierbarem Unterdruck gehalten und die Abluft über Hochleistungsschwebstoff-Filter geführt werden. Die Rückführung kontaminierter Abluft in Arbeitsbereiche ist unzulässig.
12. Für sicherheitsrelevante Einrichtungen wie Lüftungsanlagen, einschließlich Ventilationssystem, Notruf- und Überwachungseinrichtungen ist eine Notstromversorgung einzurichten. Zum sicheren Verlassen des Arbeitsbereichs ist eine Sicherheitsbeleuchtung einzurichten.
13. Beim Auswechseln von Filtern z. B. der Lüftungstechnischen Anlage oder der Sicherheitswerkbank müssen diese entweder am Einbauort sterilisiert oder zwecks späterer Sterilisierung durch ein geräteseitig vorgesehene Austauschsystem in einen luftdichten Behälter verpackt werden, so dass eine Infektion des Wartungspersonals und anderer Personen ausgeschlossen werden kann.
14. Für die Kommunikation vom Labor nach außen muss eine geeignete Einrichtung vorhanden sein.
15. Gentechnisch veränderte Organismen dürfen nur in bruchsicheren, dicht verschlossenen, entsprechend gekennzeichneten und außen desinfizierten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.

IV. Stufe 4

1. Das Labor muss entweder ein selbständiges Gebäude oder, als Teil eines Gebäudes, durch einen Flur oder Vorraum deutlich von den allgemein zugänglichen Verkehrsflächen abgetrennt sein. Das Labor soll keine Fenster haben. Sind Fenster vorhanden, müssen sie dicht, bruchsticher und dürfen nicht zu öffnen sein. Es müssen Maßnahmen getroffen werden, die jedes unbeabsichtigte oder unerlaubte Betreten des Labors verhindern. Alle Türen des Labors müssen selbstschließend sein. Die Arbeitsräume des Labors dürfen nur durch eine dreikammerige Schleuse betreten werden können.
2. Die Schleuse muss gegen den Vorraum und die Arbeitsräume mit einer entsprechenden Druckstaffelung versehen sein, um den Austritt von Luft aus dem isolierten Laborteil zu verhindern. Die mittlere Kammer der Schleuse muss eine Personendusche enthalten. Eine Einrichtung zum Einbringen großräumiger Geräte oder Einrichtungsgegenstände ist vorzusehen.
3. Wände, Decken und Fußböden des Labors müssen nach außen dicht sein. Alle Durchtritte von Ver- und Entsorgungsleitungen müssen abgedichtet sein.
4. Alle Innenflächen des Labors, einschließlich der Oberfläche der Labormöbel, müssen desinfizierbar und gegen in diesem Labor benutzte Säuren, Laugen und organische Lösungsmittel widerstandsfähig sein.
5. Das Labor muss mit einem Durchreicheautoklaven ausgerüstet sein. Durch eine automatisch wirkende Verriegelung ist sicherzustellen, dass die Tür nur geöffnet werden kann, nachdem der Sterilisierungszyklus in der Schleuse beendet wurde. Zum Ein- und Ausschleusen von Geräten und hitzeempfindlichem Material ist ein Tauchtank oder eine begasbare Durchreiche mit wechselseitig verriegelbaren Türen vorzusehen.
6. Das Labor muss durch ein eigenes Ventilationssystem belüftet werden. Dieses ist so auszulegen, dass im Labor ständig ein Unterdruck gegenüber der Außenwelt aufrechterhalten wird. Der Unterdruck muss vom Vorraum bis zum Arbeitsraum jeweils zunehmen. Der in der letzten Stufe tatsächlich vorhandene Unterdruck muss von innen wie von außen leicht kontrollierbar und überprüfbar sein. Unzulässige Druckveränderungen müssen durch einen hörbaren Alarm angezeigt werden.

Zu- und Abluft sind so zu koppeln, dass bei Ausfall von Ventilatoren die Luft keinesfalls unkontrolliert austreten kann.

Die Abluft aus dem Labor muss so aus dem Gebäude gelangen, dass eine Gefährdung der Umwelt nicht eintreten kann. Zu- und Abluft des Labors müssen durch zwei aufeinander folgende Hochleistungsschwebstoff-Filter geführt werden. Die Filter sind so anzuordnen, dass ihre einwandfreie Funktion in eingebautem Zustand überprüft werden kann. Zu- und Abluftleitungen müssen hinter den Filtern mechanisch dicht verschließbar sein, und ein gefahrloses Wechseln der Filter zu ermöglichen.

7. Das Kondenswasser des Autoklaven muss sterilisiert werden, bevor es in die allgemeine Abwasserleitung gelangt. Durch eine geeignete Anordnung von Ventilen und durch Hochleistungsschwebstoff-Filter gesicherte Entlüftungsventile sind diese Sterilisationsanlagen gegen Fehlfunktion zu schützen.
8. Alle Ver- und Entsorgungsleitungen sind durch geeignete Maßnahmen gegen Rückfluss zu sichern. Gasleitungen sind durch Hochleistungsschwebstoff-Filter, Flüssigkeitsleitungen durch keimdichte Filter zu schützen. Das Labor darf nicht an ein allgemeines Vakuumsystem angeschlossen werden.
9. Im Labor muss ein mit Ellbogen, Fuß oder Sensor zu betätigendes Handwaschbecken mit Desinfektionseinrichtungen oder ein besonderes Becken mit Desinfektionslösung zum Desinfizieren der Hände vorhanden sein. Es ist eine laborinterne Arbeitsvorschrift für die notwendigen Desinfektionsmaßnahmen zu erlassen.
10. Für alle Arbeiten mit humanpathogenen Organismen gelten zusätzlich die folgenden Sicherheitsmaßnahmen:
 - Die Arbeiten dürfen nur in geschlossenen, gasdichten Sicherheitswerkbänken durchgeführt werden. Die Arbeitsöffnungen dieser Bänke sind mit armlangen, luftdicht angebrachten Schutzhandschuhen zu versehen. Die Belüftung dieser Sicherheitswerkbänke erfolgt durch individuelle Zu- und Abluftleitungen, die auf der Zuluftseite durch einen, auf der Abluftseite durch zwei aufeinander folgende Hochleistungsschwebstoff-Filter geschützt sind. Die Abluft der Sicherheitswerkbänke ist durch einen eigenen Kanal nach außen zu führen. Bei Normalbetrieb haben die Sicherheitswerkbänke im Vergleich zum Arbeitsraum einen Unterdruck aufzuweisen. Es muss sichergestellt sein, dass bei einem Ausfall des Stromnetzes Alarm gegeben wird.
 - Die Ventile des Lüftungssystems müssen stromlos in einen sicheren Zustand gelangen.
 - Die Sicherheitswerkbänke müssen eine Vorrichtung für das gefahrlose Ein- und Ausschleusen von Material und Gütern enthalten. Zum Zweck der Desinfektion der Arbeitsbänke muss eine von außen zu bedienende Begasungsanlage vorgesehen werden.

Eine Alternative zu den geschlossenen, gasdichten Sicherheitswerkbänken ist die Verwendung von fremdbelüfteten Vollschutzanzügen, die es erlauben, die unter den Sicherheitsmaßnahmen der Sicherheitsstufe 2 beschriebenen Sicherheitswerkbänke zu benutzen.

- Zentrifugen, in denen Organismen zentrifugiert werden, mit denen nur unter den Bedingungen der Sicherheitsstufe 4 gearbeitet werden darf, dürfen nur in vergleichbaren Sicherheitswerkbänken betrieben werden oder sind entsprechend zu umbauen.

11. Im Labor darf niemals eine Person allein tätig sein, es sei denn, es besteht eine kontinuierliche Sichtverbindung oder Kameraüberwachung. Eine Wechselsprechanlage nach außen oder eine Telefonverbindung muss vorhanden sein.
12. Vor Betreten des Arbeitsbereichs sind alle Kleidungsstücke einschließlich Uhren und Schmuck im Raum vor der Dusche abzulegen. Es sind eine besondere Schutzkleidung und Schutzhandschuhe zu tragen. Vor Verlassen des Arbeitsbereichs ist in dem Teil der Schleuse, der unmittelbar an die Arbeitsräume angrenzt, die Arbeitskleidung in sterilisierbare Behälter abzulegen. Die Straßenkleidung darf erst nach Duschen mit Abseifen angezogen werden. Die abgelegte Kleidung verbleibt in der Schleuse und wird beim nächsten Betreten des Arbeitsbereichs nach Sterilisierung ausgeschleust. Schutzkleidung und Schutzhandschuhe sind vom Betreiber bereitzustellen.

Nach **Brill, Woithe [44]** liegt der Unterdruck gegenüber der Umgebung in einem Labor der Sicherheitsstufe S3 im Bereich zwischen - 30 und - 50 Pa.

Nach **Makulla [129]** ergeben sich bei dem S4 Laborgebäude der Universität Marburg folgende abgestufte Unterdrücke gegenüber der Umgebung:

Umgang:	- 30 Pa
1. Schleuse:	- 50 Pa
2. Schleuse:	- 50 Pa
Autoklav mit Vorraum:	- 70 Pa
3. Schleuse:	- 80 Pa
Begasungsraum:	- 80 Pa
Desinfektionsduschen:	- 110 Pa
Geräteraum:	- 130 Pa
S4 Labore:	- 130 Pa
S4 Tierraum	- 150 Pa

Nach **Petter [106, 107]** ist die Einstufung biologischer Arbeitsstoffe in bestimmte Sicherheitsstufen kein abgeschlossener Prozess, sondern wird aufgrund sich ständig ändernder wissenschaftlicher Erkenntnisse laufend fortgeschrieben.

Das Verhalten gentechnisch veränderter Organismen in der Umwelt ist so gut wie unerforscht.

Nach mündlichen Aussagen während eines Kurses zum Beauftragten für biologische Sicherheit am ehemaligen Forschungszentrum Karlsruhe, jetzt Campus Nord des KIT **[6]** und **[7]** besteht z.B. bei Zelllinien (Zellen einer Gewebeart, die sich im Lauf dieser Zellkultur unbegrenzt fortpflanzen können) die Möglichkeit, dass diese, je nach Herstellungsqualität durch pathogene (krankheitserregende) unbekannte Bestandteile z.B. Viren, Fremd-Proteine, Fremd-DNA verunreinigt sein können. Wird hiermit in Laboren gearbeitet, ist ggf. mit einem höheren Gefährdungspotential zu rechnen und die Sicherheitsstufe des Labors zu überprüfen.

Die Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe **TRBA 100 [59]** unterscheidet zwischen **gezielten und nicht gezielten Tätigkeiten** mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien.

Bei **gezielten Tätigkeiten** korrespondiert die erforderliche Schutzstufe mit der Risikogruppe des verwendeten biologischen Arbeitsstoffes. Bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen unterschiedlicher Risikogruppen ist die Einstufung des biologischen Arbeitsstoffes der höchsten Risikogruppe für die Zuordnung der Schutzstufe maßgebend.

Bei **nicht gezielten Tätigkeiten** mit biologischen Arbeitsstoffen ist das mögliche Spektrum von biologischen Arbeitsstoffen zu ermitteln bzw. abzuschätzen. Der biologische Arbeitsstoff mit der höchsten Risikogruppe ist nicht unbedingt für die Zuordnung zu einer Schutzstufe maßgebend, sondern die ermittelte Gesamtgefährdung.

Diese Eingruppierung der Tätigkeiten hat ebenfalls 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.

Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit und der eingeschränkten Sensitivität und Spezifität

zur Diagnostik von Infektionserregern, Toxinen und gentechnisch veränderten Organismen wird es auf absehbare Zeit weiterhin erforderlich bleiben, geeignetes Probematerial an ein für diese Untersuchungen spezialisiertes Labor zu schicken. Nach gegenwärtigen Erkenntnissen sind bei der Feuerwehr noch keine Messgeräte zur schnellen Analytik vor Ort zur Beurteilung der unterschiedlichen und vielfältigen Risiken im Einsatz.

Nach z.B. der **Handlungshilfe Gefährdungsbeurteilung gemäß Biostoffverordnung in Sektionsbereichen von Veterinäruntersuchungsämtern der Landesunfallkasse NRW [92]** werden im Sektionsbereich nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen ausgeübt. In diesem Bereich ist prinzipiell nicht bekannt, ob und mit welchen biologischen Arbeitsstoffen umgegangen wird. Zu Beginn der Obduktion liegt in der Regel bestenfalls eine Verdachtsdiagnose für eine Krankheits- oder Todesursache vor. Nicht selten fehlt jegliche Information über eine mögliche Todesursache. Im Rahmen der Sektion erfolgt zwar eine Untersuchung auf das Vorhandensein eines bestimmten Krankheitserregers, so ist aber noch unbekannt, um welche Spezies es sich dabei handelt. Ausschlaggebend für die Zuordnung zu einer Schutzstufe ist die Gesamteinschätzung des Risikos. Die Wahrscheinlichkeit einer Exposition gegenüber Erregern der Risikogruppe 3 in der Pathologie ist im Regelfall als nicht derart hoch einzuschätzen, dass dies eine pauschale Einstufung der Tätigkeiten in den Pathologien in die Schutzstufe 3 rechtfertigen würde. Aufgrund der wiederum häufigen Exposition gegenüber Infektionserregern niedrigerer Risikogruppen einschließlich Zoonose-Erregern ist die Einstufung der Arbeiten in der Sektionshalle in die Schutzstufe 2 vorzunehmen. Sicherheitsmaßnahmen einer höheren Schutzstufe sind im Bereich der staatlichen Veterinäruntersuchungsämter immer dann erforderlich, wenn aufgrund vorliegender Nachweise mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen ist, dass das zu untersuchende Tier beziehungsweise Probenmaterial mit biologischen Arbeitsstoffen der Risikogruppe 3 oder 3** infiziert oder kontaminiert ist.

Nach **Langenohl, et. al. [108]** „Überwachung gentechnischer Anlagen.- Teil 1“ werden die möglichen Gefahren, die für Menschen, Tiere, Pflanzen und die Umwelt bestehen, durch folgende Parameter bestimmt:

- Pathogenität,
- Überlebens-, Vermehrungs- und Ausbreitungsverhalten,
- Veränderung von Ökosystemen durch den Einfluss großer Mengen lebender oder toter biologischer Agenzien,
- Aufnahme oder Übertragung spezifischer genetischer Informationen, Eigenschaften erzeugter Produkte,
- Einfluss auf die unbelebte Umwelt.

Die Grundvoraussetzung, damit es zu einer Gefährdung durch ein biologisches Agens mit Gefahrenpotential kommen kann, ist die unbeabsichtigte oder beabsichtigte Ausbringung aus dem vorbestimmten Containment bzw. der Anlage.

Die Sicherheitsmaßnahmen sollen einen unzulässig hohen Organismenausstrag aus dem vorbestimmten Containment verhindern.

Hierbei stellt die Aerosolbildung den wichtigsten Faktor der laborbedingten Organismenfreisetzung dar. Sie wird vorwiegend beeinflusst durch abrupte Druckänderungen an Grenzflächen verschiedener Aggregatzustände, wie

- Flüssigkeiten, die auf eine feste Oberfläche prallen (Abfüllen von Flüssigkeiten, Tropfen infolge von Leckagen),
- das Bersten von Flüssigkeitsblasen (z. B. beim Schütteln von Kulturen),
- Zerkleinern von Flüssigkeitsmengen (z. B. bei Filtrations-, Zentrifugations- und Homogenisationsvorgängen),
- das Zerstören von Flüssigkeitsfilmen zwischen zwei Oberflächen (z. B. beim Ausblasen von Pipetten, Öffnen von Kulturgefäßen, Ampullen, Arbeiten mit Impfösen etc.).

Weiterhin ist die Verhinderung von Infektionen infolge von

- Hautkontakt mit erregerehaltigem Material,
- Aufnahme von Organismen durch Körperöffnungen wie Mund und Augen infolge infektiöser Aerosole oder in der Luft befindlicher Organismen,
- Verschlucken erregerehaltigen Materials,

- Eindringen pathogener Mikroorganismen in bestehende oder verletzungsbedingte Hautläsionen

zu beachten.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Infektion nicht nur durch den direkten Kontakt mit der Kultur erfolgen kann, sondern auch durch indirekte Infektionen über kontaminierte Oberflächen, aerosolhaltige Luft etc. möglich sind.

Die Unterbindung des Wachstums der gehandhabten Organismen außerhalb ihrer bestimmungsgemäßen Umgebung durch Hygienemaßnahmen und durch das Vorenthalten eines entsprechenden Lebensraumes stellt ebenfalls ein wichtiges Sicherheitskriterium dar.

Die Verhinderung des Organismenausstrags aus der Laborumgebung durch die Pfade Luft, Abwasser oder feste Oberflächen (Gegenstände, Kleidung, Haut, etc.) muss gewährleistet sein.

Man kann auch davon ausgehen, dass in den Sicherheitsstufen 1 und 2, wenn nicht sogar in der Sicherheitsstufe 3, die im Labor Beschäftigten generell als Überträger biologischen Materials zwischen Arbeitsbereich und der sonstigen Umgebung fungieren, sei es durch Inhalation von Aerosolen, über die Laborkleidung oder auch durch den direkten Kontakt über die Haut.

Als Übertragungswege kommen in Frage:

- Inhalation (Aufnahme eines Stoffes durch Einatmung), z.B. Diphtherie-Bakterien
- Ingestion (Aufnahme eines Stoffes durch die Nahrung oder über den Verdauungstrakt bzw. über Schmierinfektion oder Kontaktinfektion (direkte Übertragung von Krankheiten durch Berührung eines Objektes oder Lebewesens), z.B. Hepatitis A-Virus
- Injektion (Einspritzung), Schnitt-, Stichverletzung, z.B. Hepatitis B-Virus
- Sexuell übertragbar, z.B. Gonokokken-Bakterien
- Vertikal übertragbar (Mutter auf das ungeborene Kind)

Gemäß den Ausführungen in den Kursunterlagen „Projektleiter und Beauftragter für biologische Sicherheit“ des ehemaligen Forschungszentrums Karlsruhe, jetzt Campus Nord des KIT [6], ist ebenfalls die Aerosolbildung im Labor kaum zu vermeiden.

Erwähnt wird hier das

- Platzen von Flüssigkeitsfilmen z.B. beim Umfüllen, Pipettieren und Verschütten von Flüssigkeiten
- Mischen von Gas und Flüssigkeit
- Abschleudern durch Vibration
- Zentrifugieren
- Aufwirbeln von getrocknetem Material und Staub

Zur **Charakterisierung der Gefährlichkeit von Erregern** werden nachfolgend einige Begriffe kurz erläutert.

- Als **koloniebildende Einheit** (KbE) bezeichnet man ein oder mehrere vermehrungsfähige Mikroorganismen, die bei der Kultivierung zur Bildung einer einzelnen Kolonie führen. Sie wird pro Liter (KBE/l) oder Milliliter (KBE/ml) angegeben. Je nach Organismus gibt es hierbei Grenzwerte, ab denen unverzüglich Maßnahmen zu treffen sind.
- Die **minimale Infektionsdosis** ID (Infektionstiter) ist die geringste zum Angehen einer Infektion erforderliche Erregermenge.
Diese liegt nach Angaben des Robert Koch Instituts z.B. für
 - Salmonellen (Bakterien) für den erwachsenen Menschen bei ID = 10^4 bis 10^6 Keimen. Wenn sich Salmonellen in stark fetthaltigen Lebensmitteln wie Käse, Hamburger, Schokolade, Salami oder auch Gewürzen befinden, oder bei besonderer Disposition, z.B. Abwehrschwäche (Säuglinge, Kleinkinder, alte Menschen), sind jedoch Erkrankungen bereits bei Infektionsdosen unter 100 Keimen beobachtet worden.
 - Noroviren: ID = 10–100
 - Pest (Bakterien): ID = 1.

- Als **Kontagiosität** bezeichnet man die Ansteckungsfähigkeit eines Erregers, insbesondere aus einer Wunde oder einem Körpersekret.
Eine hohe Kontagiosität haben z.B. die Pest, Influenza und Masern, eine niedrige Diphtherie, Typhus und AIDS. Nicht kontagiös sind z.B. Malaria und Tetanus.
- Der **Manifestationsindex** gibt anhand einer Maßzahl an, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine mit einem Erreger infizierte Person (oder im weiteren Sinne: ein Lebewesen) erkennbar erkrankt. Diese beträgt z.B. bei Maul- und Klauenseuche (MKS) über 95% (Ansteckung beinahe immer) und bei Borreliose (Übertragung durch Zecken) 10 – 33 %.
- Die **Inkubationszeit** beschreibt jene Zeit, die zwischen der Infektion mit einem Krankheitserreger und dem Auftreten der ersten Symptome der Krankheit vergeht. Die Inkubationszeit kann zwischen wenigen Stunden und einigen Jahrzehnten liegen. Aufgrund dieser Tatsache gibt nach **Wirtz, Gottschalk, Weber [30]** die geografische Zuordnung eines Erkrankungsfalls keinen Aufschluss über den Ort der Ausbringung des Erregers. In den **Falld Definitionen des Robert Koch-Institutes zur Übermittlung von Erkrankungs- oder Todesfällen und Nachweisen von Krankheitserregern [85]** findet man Informationen über die mögliche Spannweite von Inkubationszeiten (siehe Auswahl in nachfolgender Tabelle). Die Risikogruppen können der **Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für Gentechnische Arbeiten** des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) **[84]** entnommen werden.

Nachfolgend werden hierzu einige Beispiele gegeben:

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. 15.6.2010) 3** (gem. Organismenliste v. 1.3.2001)	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 Tagen
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 Stunden
Hepatitis-B-Virus	2 (gem. Organismenliste vom 15. Juni 2010) 3** (gem. Organismenliste vom 1.3.2001)	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)	3**	ca. 12 Mon. bis 30 Jahre, evtl. länger

Aufgrund der teilweise sehr langen Inkubationszeiten dürfte es daher schwierig sein, den Ort und Zeitpunkt der Infektion, z.B. auch bei Feuerwehreinsatz- und Rettungskräften genau zu ermitteln.

Ausführliche Informationen zu Biologischen Gefahren finden sich z.B. in den **Handbüchern zum Bevölkerungsschutz Biologische Gefahren I und II** des BBK und RKI [13, 14].

U. a. findet sich hier z.B. auch die Definition für eine Influenzapandemie nach Robert Koch-Institut (RKI):

„Eine Influenzaepidemie ist definiert als das weltweite massenhafte Auftreten schwerer Erkrankungs- und Todesfälle, die durch einen neuen Subtyp des Influenzavirus hervorgerufen werden, gegen den in der Bevölkerung keine nennenswerte Immunität vorliegt.“

Nach der WHO ergibt sich folgende Phaseneinteilung einer Influenzapandemie:

Interpandemische Periode	
Phase 1	Kein Nachweis neuer Influenza-Subtypen beim Menschen. Ein Subtyp, der zu einem früheren Zeitpunkt Infektionen beim Menschen verursacht hat, zirkuliert möglicherweise in Tieren. Das Risiko menschlicher Infektionen wird als niedrig eingestuft.
Phase 2	Kein Nachweis neuer Influenza-Subtypen beim Menschen. Zirkulierende Influenzaviren bei Tieren stellen ein erhebliches Risiko für Erkrankungen beim Menschen dar.
Pandemische Warnperiode	
Phase 3	Menschliche Infektionen mit einem neuen Subtyp, aber keine Ausbreitung/Übertragung von Mensch zu Mensch oder nur in äußerst seltenen Fällen zu engen Kontaktpersonen.
Phase 4	Kleine(s) Cluster mit begrenzter Übertragung von Mensch zu Mensch; sehr eng begrenzte räumliche Ausbreitung, so dass von einer unvollständigen Anpassung des Virus an den Menschen ausgegangen werden kann.
Phase 5	Große(s) Cluster; die Ausbreitung von Mensch zu Mensch ist weiter begrenzt; es muss davon ausgegangen werden, dass das Virus besser an den Menschen angepasst, jedoch nicht optimal übertragbar ist.
Pandemische Periode	
Phase 6	Zunehmende und anhaltende Übertragung in der Allgemeinbevölkerung
Post-pandemische Periode	Rückkehr zur interpandemischen Periode

Bild 16: Phaseneinteilung einer Influenzaepidemie laut WHO
(Quelle: Biologische Gefahren I, BBK, RKI I [2007] [13])

Auf der Webseite der Modelliergruppe am Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen [24] findet sich u. a. das Programm InfluSim zur Visualisierung einer pandemischen Influenza.

Ergänzend sollen an dieser Stelle einige Angaben aus der **Richtlinie über die ordnungsgemäße Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes [91]** aufgeführt werden:

- Körperteile, Organabfälle, gefüllte Behältnisse mit Blut und Blutprodukten
 - gesonderte Erfassung am Anfallort
 - keine Vermischung mit Siedlungsabfällen
 - kein Umfüllen, Sortieren oder Vorbehandeln
 - Sammlung in sorgfältig verschlossenen Einwegbehältnissen (zur Verbrennung geeignet)
 - Zur Vermeidung von Gasbildung begrenzte Lagerung
 - Gesonderte Beseitigung in zugelassener Verbrennungsanlage, z.B. Sonderabfallverbrennung
 - einzelne Blutbeutel: Entleerung in die Kanalisation möglich (unter Beachtung hygienischer und infektionspräventiver Gesichtspunkte)
 - Kommunale Abwassersatzung beachten

- Abfälle, die mit meldepflichtigen Erregern behaftet sind, wenn dadurch eine Verbreitung der Krankheit zu befürchten ist:
 - Am Anfallort verpacken in reißfeste, feuchtigkeitsbeständige und dichte Behältnisse
 - Sammlung in sorgfältig verschlossenen Einwegbehältnissen (zur Verbrennung geeignet, Bauartzulassung)
 - Kein Umfüllen oder Sortieren
 - Zur Vermeidung von Gasbildung begrenzte Lagerung
 - Keine Verwertung !!
 - Keine Verdichtung oder Zerkleinerung
 - Entsorgung als besonders überwachungsbedürftiger Abfall mit Entsorgungsnachweis: Beseitigung in zugelassener Abfallverbrennungsanlage, z.B. Sonderabfallverbrennung oder Desinfektion mit vom RKI zugelassenen Verfahren, dann Entsorgung wie Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden
 - Sammlung in reißfesten, feuchtigkeitsbeständigen und dichten Behältnissen

- Transport nur in sorgfältig verschlossenen Behältnissen (ggf. in Kombination mit Rücklaufbehältern).
- Kein Umfüllen (auch nicht im zentralen Lager), Sortieren oder Vorbehandeln
- Verbrennung in zugelassener Abfallverbrennungsanlage (HMV) oder Depositionierung, solange noch zulässig
- Behältnisse mit größeren Mengen Körperflüssigkeiten können unter Beachtung von hygienischen und infektionspräventiven Gesichtspunkten in die Kanalisation entleert werden (kommunale Abwassersatzung beachten). Alternativ ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass keine flüssigen Inhaltsstoffe austreten

Im Vergleich hierzu wird in den **Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – Versuchstierhaltung** (TRBA 120) [60] bereits für Schutzstufe 1 gefordert, dass u. a. keine vermeidbaren Bioaerosole auftreten, dass Hände zu waschen und ggf. desinfizieren sind und Abfälle, wie Einstreu, Ausscheidungen, Tierkörper Teile und Tierkadaver gefahrlos und ordnungsgemäß zu sammeln und zu entsorgen sind.

Man erkennt aus diesen Richtlinien auch unmittelbar die Problematik der Entsorgung von kontaminiertem Löschmittel und Löschwasser. Zum anderen sind ggf. verschiedene Risiken schon eingestufte biologischer Arbeitsstoffe unter Umständen noch nicht ausreichend erforscht. Im Gegensatz zu der Gefährdung durch andere Gefahrstoffe vermindert sich die Umwelteinwirkung hier nicht durch Verdünnungseffekte, da sich die gentechnisch veränderten Organismen unter Umständen in der Umwelt vermehren können und sich dadurch Risiken potenzieren können.

Ferner gilt es zu beachten, dass die Sicherheitsstufen für den Normalbetrieb einer Anlage entwickelt wurden und Extremsituationen eines Brandgeschehens hierbei nicht berücksichtigt wurden.

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 Bestimmtheit davon ausgegangen werden, dass im Brandfall (z.B. bei einem Entstehungsbrand) alle biologischen Arbeitsstoffe vernichtet werden.

Eine Lokalisierung von freigesetzten biologischen Agenzien und damit eine wirkungsvolle Prophylaxe sind heute nahezu unmöglich.

Die **Tabelle** im **Anhang** zeigt die Anforderungen an gentechnische Labore und Bereiche in den verschiedenen Sicherheitsstufen S1 bis S4 entsprechend der **Gentechnik-Sicherheitsverordnung - GenTSV** [2].

Aufgrund der verschiedenen Bereiche

- Labor
- Produktionsbereich
- Gewächshäuser
- Tierhaltungsbereich

können sich sehr unterschiedliche Arten von Brandlasten in den Räumen befinden.

Die Gebäude weisen zum Teil sehr große Brandlasten (brennbare Flüssigkeiten, Futtermittel, Streu, Kunststoffkäfige in Laboren und Lagerbereichen etc.) auf, die bei ungenügenden brandschutztechnischen Maßnahmen eine große Gefahr darstellen.

Weiterhin sind die in Büros üblichen Brandlasten (Möbel, Aktenordner, PC etc.) vorhanden.

Bei einem Labor für biologische Arbeitsstoffe sind folgende Vorschriften, Verordnungen und Richtlinien zu berücksichtigen:

- Bundesseuchengesetz
- Tierseuchengesetz mit Tierseuchenverordnung
- Tierkörperbeseitigungsgesetz
- Gentechnikgesetz mit Gentechniksicherheitsverordnung
- Gentechnik-Aufzeichnungsverordnung
- Tierschutzgesetz
- Pflanzenschutzgesetz
- Wasserhaushaltsgesetz
- Abfallgesetz
- Chemikaliengesetz mit Gefahrstoffverordnung
- Atomgesetz mit Strahlenschutzverordnung
- Bundesimmissionsschutzgesetz

- Gewerbeordnung mit Arbeitsstättenverordnung und Arbeitsstättenrichtlinie
- Gerätesicherheitsgesetz mit Druckluftbehälterverordnung und Verordnung über brennbare Flüssigkeiten
- Reichsversicherungsordnung mit Unfallverhütungsvorschriften und berufgenossenschaftlichen Richtlinien
- Bundesbaugesetz mit Baunutzungsverordnung
- Landesbauordnung mit Sonderbauvorschriften und eingeführten technischen Baubestimmungen
- Technische Regeln
- Normen und sonstige Richtlinien
- Verwaltungsvorschriften

Eine weitere Gefährdung ergibt sich durch die Verwendung von radioaktiven Stoffen, z. B. für die Diagnostik.

Bezüglich eines möglichen Feuerwehreinsatzes muss folgendes berücksichtigt werden:

Beim Umgang mit biologischen Agenzien sind mindestens Schutzmaßnahmen nach den allgemein anerkannten sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen und hygienischen Regeln zu treffen sowie die sonstigen gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse zu beachten. Für jede Tätigkeit, bei der eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien auftreten kann, müssen die Art, das Ausmaß und die Dauer der Exposition der Einsatzkräfte ermittelt werden, damit alle Risiken für die Sicherheit oder die Gesundheit des Einsatzpersonals abgeschätzt und entsprechende Maßnahmen festgelegt werden können.

Es ist immer von dem gefährlichsten biologischen Agens, das vorhanden ist, auszugehen. Die Abschätzung des Gefährdungspotentials muss für jede bestehende Einrichtung, in der mit biologischen Agenzien gearbeitet wird, im vornherein geschehen.

Es ist besonders wichtig, dass die Einsatzpläne (ab Gefahrengruppe 2) immer auf dem letzten Stand gehalten werden, da sich das Gefährdungspotential laufend verändert: Ein neuer wissenschaftlicher Versuch bedeutet andere biologische Agenzien. Die Einsatzkräfte müssen sich ständig vor Augen führen, dass die Folgen einer Exposition durch biologische Agenzien derzeit nur schwer definiert werden können.

Hierbei ist mit folgenden Auswirkungen zu rechnen:

- Dauerhafte oder latente Infektionen und Allergien
- Infektionen und Allergien, die im Lichte des gegenwärtigen Erkenntnisstandes erst diagnostiziert werden können, wenn viele Jahre später eine Krankheit ausbricht. Erst nach besonders langen Inkubationszeiten kann es zum Ausbruch einer Krankheit kommen.
- Krankheiten werden verursacht, deren Folgen über längere Zeit hinweg trotz Behandlung gelegentlich wieder auftreten.
- Schwerwiegende Langzeitfolgen.

Nach **Wirtz, Gottschalk, Weber [30]** ist hierbei von Bedeutung, dass in der Regel kein Labor alle Erreger diagnostizieren kann.

Entsprechend der Gefährdungsklassen muss die entsprechende Schutzausrüstung angelegt werden.

Biologische Agenzien werden von Filtern weitgehend am Eindringen in den Atemtrakt gehindert.

Problematisch wird dies bei gleichzeitig vorhandenen radioaktiven Substanzen.

Hieraus ergibt sich insbesondere auch für Feuerwehreinsatzkräfte ein erhöhtes Gefährdungspotential, wenn keine ortsfeste Löschanlage zur schnellen Brandbekämpfung vorhanden ist.

Nun könnte man, angesichts der Temperaturempfindlichkeit der Organismen, wie bereits erwähnt argumentieren, dass die hohen Temperaturen beim Brand zumindest die Gefährdung durch die Organismen reduzieren. Hierdurch kann zum einen jedoch nicht gewährleistet werden, was an dieser Stelle nochmals betont werden soll, dass wirklich alle Organismen inaktiviert werden. Zum anderen besteht hierdurch die Möglichkeit, dass z.B. durch zerspringende Fenster zusätzlich zu den Brandrauchprodukten biologische und radioaktive Substanzen in die Umwelt freigesetzt werden. Außerdem ergibt sich durch evtl. vorhandene Druckgasbehälter, die sich nicht in Sicherheitsschränken befinden, ein erhebliches Gefährdungspotential aufgrund des möglichen Druckbehälterzerknalls.

Im Brandfall müssen Feuerwehreinsatzkräfte zum einen gegen das Brandereignis selbst

und zum anderen zusätzlich gegen biologische, chemische und radioaktive Substanzen geschützt werden.

Die Notwendigkeit der Verwendung von Schutzanzügen resultiert aus den nachfolgend dargestellten Sachzusammenhängen.

Im Brandfall ergibt sich für Feuerwehreinsatzkräfte ohne frühzeitige Brandbekämpfung durch eine ortsfeste Löschanlage ein erhöhtes Gefährdungspotential, da nach Feuerwehrodienstvorschrift **FwDV 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“ [8]** sowohl der Kontaminationsschutzanzug (A-Einsatz, Körperschutz Form 2), der Infektionsschutzanzug (B-Einsatz, Körperschutz Form 2) und ABC-Schutzanzüge (Körperschutz Form 3) nicht zur Brandbekämpfung bei höheren Temperaturen zulässig sind. Bei der Brandbekämpfung ist die Körperschutz Form 1 (Schutzkleidung zur Brandbekämpfung, Kontaminationsschutzhaube) durchgängig zu tragen, wenn das thermische Risiko höher zu bewerten ist als eine mögliche Kontamination. Die Körperschutz Form 1 ist allerdings ausschließlich gegen eine Kontamination mit festen Stoffen einsetzbar und stellt einen eingeschränkten Spritzschutz dar. Sie ist weder flüssigkeits- noch gasdicht.

Weiterhin ist zu beachten, dass es falsch ist, von einem „Strahlenschutzanzug“ zu sprechen, denn kein Material kann vor γ -Strahlung („große Reichweite der Strahlung“) wirkungsvoll schützen, ohne dass der Träger unter dem Gewicht des Schutzanzuges zusammenbricht. Besser ist die Bezeichnung »Kontaminationsschutzanzug«, denn genau diese Aufgabe erfüllt er.

4. EIGENSCHAFTEN VON ORTSFESTEN LÖSCHANLAGEN (SPRINKLER, WASSERNEBEL, INERTGAS, SAUERSTOFFREDUKTION, HALONERSATZSTOFFE) - ANWENDUNGSGEBIETE, EINSATZGRENZEN, PERSONENSCHUTZ, TOXIKOLOGIE

Gemäß den nachfolgend aufgeführten Brandklassen muss eine Löschanlage ausgewählt werden, die bei einem Brand einen schnellen Löscherfolg gewährleistet.

A	Brände fester Stoffe, hauptsächlich organischer Natur, die normalerweise unter Glutbildung verbrennen z.B. Holz, Papier, Stroh, Textilien, Gummi
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 KÜcheneinrichtungen und –geräten

Nachfolgend werden die verschiedenen Arten von ortsfesten Löschanlagen sowohl mit dem Löschmittel Wasser als auch mit dem Löschmittel Gas näher beleuchtet.

In den **Literaturstellen [135] bis [218]** findet sich eine Zusammenstellung von wichtigen Verordnungen, Richtlinien und Veröffentlichungen zu den unterschiedlichen ortsfesten Löschanlagen und der Brandmeldetechnik. Soweit dies möglich ist, wurde direkt ein elektronischer Verweis (Hyperlink) auf die entsprechende Literaturstelle eingefügt. Diese Verweisziele waren bei der Erstellung des Forschungsberichtes aktuell, können jedoch aufgrund von zwischenzeitlich vorgenommenen Änderungen auf Webseiten nicht mehr gültig sein.

4.1. Ortsfeste Wasserlöschanlagen

Ortsfeste Wasserlöschanlagen weisen folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- Wasser ist ein besonders umweltfreundliches Löschmittel
- Besondere Vorteile bei glutbildenden Brandstoffen (z.B. Holz)
- Keine Gefährdung durch toxische Zersetzungsprodukte
- Keine Verbrühungsgefahr durch heißen Wasserdampf, da die Löschanlage in der Brandentwicklungsphase ausgelöst wird
- Keine Gefährdung durch Sauerstoffmangel beim Löschvorgang
- Verschlechterung der Sicht durch Wasserdampf- / Brandrauch-Aerosol beim Löschvorgang, insbesondere bei verspäteter Auslösung der Löschanlage
- Unterschiedlich hohe Löschwasserschäden in Abhängigkeit von der Anlagentechnik
- Eine besondere hygienische Aufmerksamkeit erfordern Anlagen, in denen eine Stagnation des Wassers eintreten kann (Wasserspeicher, Endstränge, überdimensionierte Leitungen) sowie aufgetretene Rohrschäden und die hiermit verbundene Reaktion des Wassers mit den unterschiedlichen Werkstoffen.
 - Beispielsweise sei hier die Erkrankung durch Legionellen (Legionellose, Pontiac-Fieber) genannt. Die Infektion erfolgt durch Einatmen des kontaminierten Aerosols, insbesondere beim Versprühen des Wassers.
 - Ideale Bedingungen für die Vermehrung der Legionellen bestehen bei Temperaturen zwischen 25°C und 55°C (Risikobereich). Bei Temperaturen ab 60°C sind Gefährdungen praktisch ausgeschlossen. Legionellen können auch in kaltem Wasser vorkommen, sich jedoch nicht in nennenswertem Maße vermehren.
 - Ein erhöhtes Legionellenrisiko findet man besonders bei älteren und schlecht gewarteten oder auch nur zeitweilig genutzten Warmwasserleitungen und -behältern.
 - Da normalerweise das Wasser in Sprinkleranlagen bzw. Wassernebellöschanlagen nicht erwärmt ist, ergibt sich hier mit großer Wahrscheinlichkeit eine nur relativ geringe Konzentration von Legionellen. Problematisch könnten die geringen Konzentrationen allerdings für Personen mit eingeschränkter Immunabwehr werden.
- Möglichst frühzeitige Auslösung in der Brandentwicklungsphase
- Beachtung der Ventilationsverhältnisse für die Auslösung und die Löschwirkung (z.B. natürliche oder maschinelle Rauchabzüge, Windeinfluss auf Fenster- bzw. Türöffnungen) => Einfluss umso größer, je feiner die Tropfen sind.

4.1.1. Sprinkleranlagen

Eine Sprinkleranlage ist eine ständig betriebsbereite ortsfeste Feuerlöschanlage, deren Löschwasser über Sprinkler (**Bilder 17 bis 19**) abgegeben wird.

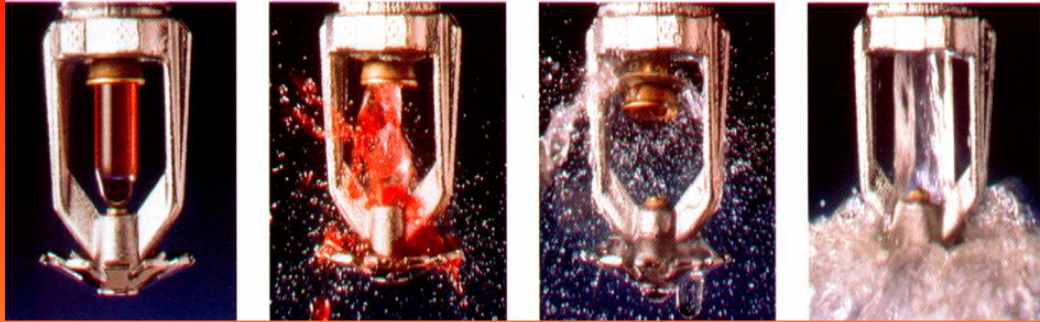
Sprinkler sind durch thermische Auslöseelemente verschlossene Düsen mit einem Sprühteller (Deflektor), von denen jede unabhängig von den anderen auslösen kann.

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.

Um dieses Ziel erreichen zu können, muss nicht nur die Sprinkleranlage selbst, sondern auch das zu schützende Gebäude bestimmte Anforderungen erfüllen. Z.B. müssen gesprinklerte und nicht gesprinklerte Bereiche durch entsprechende Maßnahmen abgetrennt werden.

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.

Funktionsweise eines Sprinklers mit Glasfaßauslöseelement



Beim Erreichen der Auslösetemperatur der Sprinklerflüssigkeit zerplatzt das Glasfaß, das Verschlüsselement 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.

Löschmechanismus:

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

Vornässen der Brandnahbereiche behindert Brandausbreitung

Bilder: tyco - TOTAL WALTHER Feuerschutz GmbH, Köln

Bild 17: Funktionsweise eines Sprinklers mit Glasfass-Auslöseelement nach TOTAL Walther Feuerschutz, Köln

Sprinklertypen

Schirm-Sprinkler (stehend)



werden eingesetzt, wenn die Rohrleitungen sichtbar verlegt werden können, z.B. in Lager- und Fabrikhallen, Hochregallagern usw.

Schirm-Sprinkler (hängend)



werden eingesetzt, wenn die Rohrleitungen in Zwischendecken verlegt werden können, z.B. in Büros, Krankenhäusern, Kaufhäusern usw.

Normal-Sprinkler (stehend oder hängend)



benetzen im Brandfall auch die Decke. Sie werden deshalb vor allem in Gebäudeteilen mit brennbarer Deckenkonstruktion eingesetzt.

Flachschirm-Sprinkler (hängend)



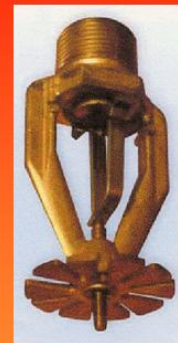
versprühen das Löschwasser flach unter der Decke. Sie werden deshalb vorzugsweise in Räumen mit Rasterdecken oder in Zwischendecken, in Regallagern usw. eingesetzt.

Seitenwand-Sprinkler (hängend)



versprühen das Wasser nur zu einer Seite. Sie werden deshalb in Räumen eingesetzt, in denen die Sprinkleranordnung in Raummitte nicht möglich ist, z. B. in Fluren, Hotelzimmern usw.

Bilder: MINIMAX, Brandschutz und Sicherheitstechnik, Bad Oldesloe



ESFR (Early Suppression Fast Response)-Sprinkler
Spezialsprinkler für Lagerräume, die von der Decke geschützt werden können.

Bild: tyco - TOTAL WALTHER Feuerschutz GmbH, Köln

Bild 18: Sprinklertypen nach Firmenprospekten der Firmen MINIMAX, Bad Oldesloe und TOTAL Walther Feuerschutz, Köln

Funktionsschema einer Sprinkleranlage

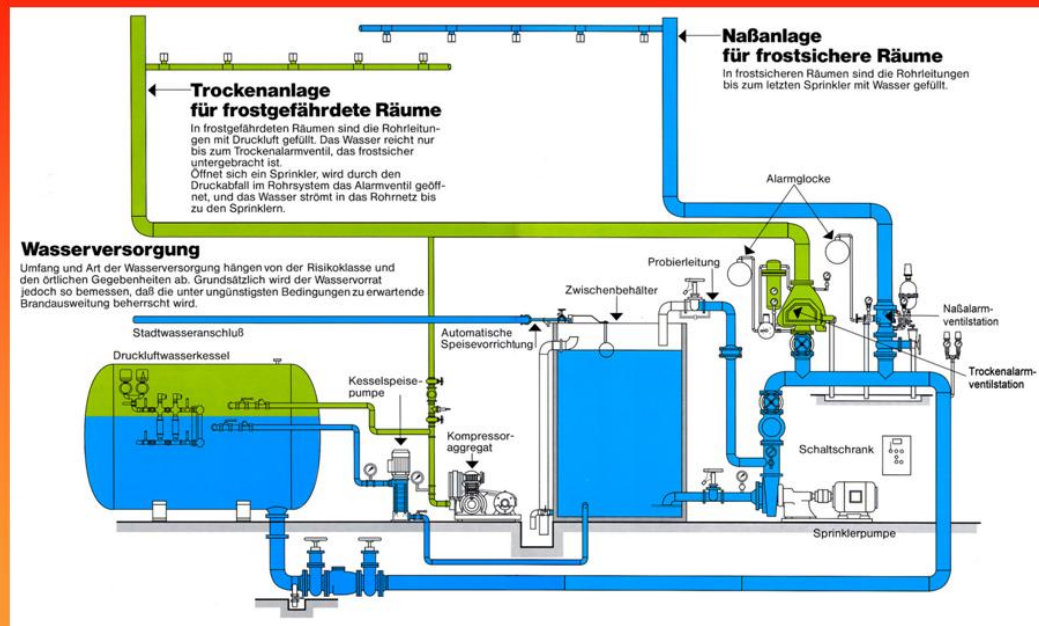


Bild: MINIMAX, Brandschutz und Sicherheitstechnik, Bad Oldesloe

Bild 19: Funktionsweise einer Sprinkleranlage nach Firmenprospekt der Firma MINIMAX, Bad Oldesloe

Man unterscheidet folgende Arten von Sprinkleranlagen:

- **Nassanlagen** sind ständig mit unter Druck stehendem Wasser gefüllt. Sie sollten nur in Risiken ohne Frostgefahr installiert werden.
- **Trockenanlagen** sind normalerweise hinter dem Trockenalarmventil mit Luft oder Inertgas unter Druck gefüllt. Vor dem Trockenalarmventil steht Wasser unter Druck an.
- **Nass-Trockenanlagen** enthalten entweder ein Nass-Trocken-Alarmventil oder eine Kombination aus einem Nassalarmventil und einem Trockenalarmventil. Während des Winters ist die Anlage hinter dem Nass-Trocken-Alarmventil bzw. Trockenalarmventil mit Luft oder Inertgas unter Druck und der Rest der Anlage vor dem Alarmventil mit Wasser unter Druck gefüllt. Zu anderen Jahreszeiten ist die Anlage als Nassanlage geschaltet.
- **Vorgesteuerte Anlage, Typ A** ist eine Trockenanlage, bei der die Alarmventilstation durch eine automatische Brandmeldeanlage und nicht durch das Öffnen der Sprinkler aktiviert wird. Falls die Brandmeldeanlage ausfällt, muss die vorgesteuerte Anlage wie eine Trockenanlage arbeiten.
=> Undichtigkeiten des mit Druckluft gefüllten Rohrnetzes zu den Sprinklern führen nicht zum Öffnen des Alarmventils.
=> Einsatz in Bereichen, in denen bei einem versehentlichen Austreten von

Wasser erheblicher Schaden entstehen könnte.

- **Vorgesteuerte Anlage, Typ B** ist eine Trockenanlage, bei der die Alarmventilstation entweder von einer automatischen Brandmeldeanlage oder durch das Öffnen der Sprinkler aktiviert wird. Unabhängig vom Ansprechen der Brandmelder bewirkt ein Druckabfall in den Rohrleitungen das Öffnen des Alarmventils.

Das nachfolgende **Bild 20** erläutert die Begriffe

- Brandgefahrenklasse
- Maximale Schutzfläche je Sprinkler
- Mindestwasserbeaufschlagung
- Wirkfläche
- Mindestwirkzeit

und zeigt ein Beispiel für zur Berechnung der Löschwassermenge in Abhängigkeit von der Brandgefahrenklasse. Für weitere Einzelheiten wird auf die **VdS CEA Richtlinie 4001 [136]** für Sprinkleranlagen – Planung und Einbau verwiesen.

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

VdS CEA 4001 : 2003-01 (01) Sprinkleranlagen, Planung und Einbau

Brandgefahren- klasse	1. Maximale Schutzfläche je Sprinkler m ²	Maximale Abstände in Bild 11.01			
		Normal-Sprinkler-anordnung		Versetzte Sprinkler-anordnung	
		S	D	S	D
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 m²

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)

Brand- gefahren- klasse	(Mindest-) Wasser- beaufschlagung 2. mm/min	Nass- oder vorgesteuerte Anlage	Trocken- oder Nass- Trockenanlage
		3. Wirkfläche m ²	
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 m² => mindestens 60 l/min je Sprinkler bei 12 Sprinklern (144 m²) => 720 l/min
 Mindestlüsendruck: 0,35 bar (max. 12 bar)
 Mindestwirkzeit: 60 min => max. 43,2 m³ Wasser

Bild 20: Maximale Schutzfläche je Sprinkler, Brandgefahrenklassen, Mindestwasserbeaufschlagung, Wirkfläche, Mindestwirkzeit nach VdS CEA 4001

48

Nennöffnungstemperatur und dynamisches Ansprechverhalten von Glasfuss-Auslöseelementen

1	2	3
Nennöffnungstemperatur* Glasfässchen (°C)	Niedrigste Öffnungstemperatur (°C)	Maximale Öffnungstemperatur (°C)
57	54	60
68	65	71
79	75	83
93	89	97
100	96	104
141	135	147
182	175	189
260	250	270

Tabelle 3: Auslösbereiche von Glasfässchen
nach VdS-Richtlinien für Sprinkleranlagen
Glasfussauslöseelemente - Anforderungen und Prüfmethoden
VdS 2160: 2000-05 (01)

Nennöffnungstemperatur	Glasfässchen Typ					
	Schnell ansprechend		Spezial ansprechend		Normal ansprechend	
	Lufttemperatur	Geschwindigkeit	Lufttemperatur	Geschwindigkeit	Lufttemperatur	Geschwindigkeit
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	
°C	°C	m/s	°C	m/s	°C	m/s
57 - 77	129 - 141	1,65 - 1,85	129 - 141	2,4 - 2,6	191 - 203	2,4 - 2,6
79 - 107	191 - 203	1,65 - 1,85	191 - 203	2,4 - 2,6	282 - 300	2,4 - 2,6
121-149	282 - 300	1,65 - 1,85	282 - 300	2,4 - 2,6	382 - 432	2,4 - 2,6
163-191	382 - 432	1,65 - 1,85	382 - 432	2,4 - 2,6	382 - 432	2,4 - 2,6

Tabelle 6: Windkanal-Bedingungen (Plunge Test)
Dynamisches Ansprechverhalten von Glasfussauslöseelementen
nach VdS-Richtlinien für Sprinkleranlagen
Glasfussauslöseelemente - Anforderungen und Prüfmethoden
VdS 2160: 2000-05 (01)

Die **Nennöffnungstemperatur** wird in einem Flüssigkeitsbad ermittelt (bis 79°C: Wasserbad, höher als 79°C: Pflanzenöl oder Glycerin).

Der **RTI-Wert** ist ein Maß für die thermische Trägheit bzw. für die dynamische Ansprechempfindlichkeit und wird im Windkanal (Plunge Test) ermittelt.

RTI-Wert (Response Time Index)

$$RTI = \frac{-tr \cdot \sqrt{U}}{\ln[1 - \Delta T_{ea} / \Delta T_g]}$$

Hierbei ist

- tr die Ansprechzeit in Sekunden
- U die aktuelle Gas- (Luft-) Geschwindigkeit in der Prüfzone in m/s zum Zeitpunkt des Ansprechens
- ΔT_{ea} die mittlere Nennöffnungstemperatur, ermittelt in der Prüfung nach Abschnitt 5.7 minus der Starttemperatur in °C
- ΔT_g die aktuelle Gas- (Luft-) Temperatur in der Prüfzone zum Zeitpunkt des Ansprechens minus der Starttemperatur in °C
- ln der natürliche Logarithmus

Bild 21: Nennöffnungstemperatur und dynamisches Verhalten von Glasfuss-Auslöseelementen nach VdS CEA 4001

Glasfuss-Auslöseelemente

Response	Type	Length (mm)	RTI		Strength		Temperature							Applications
			Response Time Index	(ms) ^{1/2}	(ft/s) ^{1/2}	Average	Crush Load	57°C	68°C	79°C	93°C	141°C	182°C	
					kN	lbs	135°F	155°F	175°F	200°F	286°F	380°F	500°F	Further details on request
Standard	G5	16/20	105	190	4	880	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL*, FM, LPC*, VdS*
	G5-XS	16/20	105	190	5,5	1210	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL, FM, LPC, VdS
Intermediate	F5	16/20	75	135	4	880	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	LPC, TFRI*, KENTEI, KOFEIC Ext. Coverage
	F4	16/20	65	115	4	880	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL*, LPC, VdS*, TFRI* Ext. Coverage, ELO, Concealed
Fast	F4-XS	16/20	65	115	5,5	1210	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL, FM Ext. Coverage, VELO, Concealed
	F3	16/20	36	65	3,5	770	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL*, FM, LPC*, VdS, TFRI* Concealed, Residential
Super Fast	F3-XS	16/20	36	65	4,5	990	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL, FM, LPC Ext. Coverage, ELO, Residential
	F2.5	16/20	27	50	2,5	550	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL*, FM, LPC*, VdS ESFR, VELO, Concealed
Ultra	F2.5-XS	16	27	50	4,0	880	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL, FM ESFR, ELO, Velo, Concealed
	F2	16	22	40	2	440	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	UL Spec. Appl., Water Mist
	F1.5	16	16	30	1	220	Orange	Red	Yellow	Green	Blue	Purple	Black	Spec. Appl., Water Mist

*Component Recognised

JOB THERMO BULBS
22926 Ahrensburg
<http://www.Job-Bulbs.com>

Bild 22: Glasfuss-Auslöseelemente – Typen nach JOB Thermo Bulbs, Ahrensburg

Vergleich der Auslösung von Rauchmeldern und Sprinklern (Beispiel)

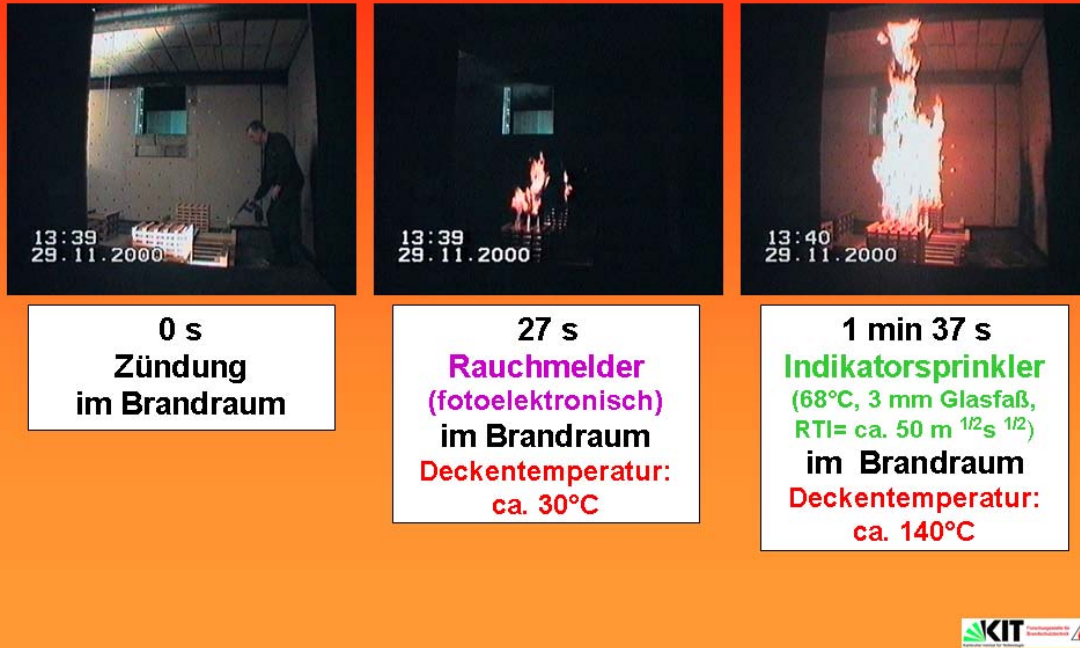


Bild 23: Vergleich der Auslösung von Rauchmelder und Sprinkler (Beispiel, FFB)

Die Brandraumtemperaturen, die zum Bersten von thermischen Glasfaser-Auslöseelementen (**Bilder 21** und **22**) führen, liegen wegen der Wärmeableitung in das wassergefüllte Rohrnetz und aufgrund von weiteren sich auf die Wärmebilanz an Auslöseelementen auswirkenden thermischen und strömungs-physikalischen Effekten wesentlich über der Nennauslösetemperatur (**Bild 23**).

Bei einem 3 mm Glasfaser mit 68°C Nennauslösetemperatur liegen die Brandrauchtemperaturen am Auslöseelement bei Auslösung überwiegend im Bereich zwischen 85°C und 140°C.

Die für die Auslösung erforderlichen Raumtemperaturen können unter Umständen auch deutlich höher liegen (z.B. Auslöseelemente mit höherer Wärmeträgheit („RTI“-Wert) und höherer Nennauslösetemperatur).

Die Anwendungsgrenzen von Sprinkleranlagen bei Feststoffbränden sind dann erreicht, wenn die brennende Oberfläche durch die vom Sprinkler aufgebraachte Wasserbeaufschlagung nicht mehr ausreichend abgekühlt werden kann. Die Tropfen des Sprinkler-

sprays müssen aufgrund ihres Impulses (Masse, Geschwindigkeit) in der Lage sein, in ausreichender Menge die Brandrauchgegenströmung zu überwinden.

Weiterhin stößt der Einsatz von Sprinkleranlagen dort an Grenzen, wo das Löschmittel Wasser, die Wirkungsweise und das Ansprechverhalten der Sprinkleranlagen dem Risikopotential nicht, nur unzureichend oder nicht allein gewachsen sind. Die Möglichkeit der Anwendung von Wasser ist daher im speziellen Einsatzfall zu überprüfen.

Hierzu zählen z.B.

- Elektrische Betriebsräume: Die Folgeschäden hängen ganz entscheidend von der elektrischen Leitfähigkeit und der Korrosivität des verwendeten Löschwassers ab. Die elektrische Leitfähigkeit kann bereits bei frischem Leitungswasser in Trinkwasserqualität je nach Versorgungsbereich großen Schwankungen unterworfen sein. Bei stagnierendem Wasser, z.B. in Löschwasserinstallationen oder Löschwasserbehältern, kann es bei Eisenwerkstoffen zu erhöhten Eisenkonzentrationen und zum Ausfall von dunkelbraunem Eisenerosion kommen. Selbst ein völlig entsalztes Wasser ist, da ungepuffert*), hochgradig korrosiv.
Beim Einsatz der Sprinkleranlage ist es daher sinnvoll, dass die Anlage nur in den Bereichen auslöst, wo es erforderlich ist, um den Löschwasserschaden gering zu halten. Die Möglichkeit einer Fehlauflösung muss ausgeschlossen werden. Weiterhin sind die Kosten gegenüberzustellen, welche für Trocknungs- und Reinigungsmaßnahmen erforderlich wären im Vergleich zu den Kosten, die durch die Rauch- und Wärmeeinwirkung aufgrund des Brandes entstehen würden.
- Räume zur Lagerung brennbarer Flüssigkeiten (unterschiedliches spezifisches Gewicht und die Eigenschaften vieler brennbarer Flüssigkeiten, sich nicht ohne weiteres mit Wasser zu vermischen)
- Explosionsgefährdete Anlagen (Sprinkleranlagen eignen sich wegen ihrer Systembedingten Ansprechzeit nicht zur Beherrschung derartiger Vorgänge)
- Stoffe, die nicht mit Wasser gelöscht werden dürfen, z.B. Leichtmetalle u. deren Legierungen wie Aluminium, Magnesium (Bildung von Wasserstoff => Knallgasreaktion).

*) Nach **Mutschmann; Stimmelmayer** „**Taschenbuch der Wasserversorgung**“ [154] bezeichnet man mit Pufferung das pH-Verhalten eines Wassers bei Säuren- oder Laugenzugabe. Je nach vorhandenen Puffersubstanzen, vorrangig die Kohlensäure mit ihren Anionen, können gleiche Säuren- oder Laugenzugaben sehr unterschiedliche pH-Änderungen zur Folge haben. Das Pufferungsvermögen eines Wassers ist aufbereitungstechnisch, korrosionschemisch und indirekt auch gesundheitlich von großer Bedeutung, da beispielsweise gering oder gar nicht gepufferte Wässer keine schützende Deckschichten bilden können und die Korrosion und damit auch den Eintrag von Schwermetallen sowie Faserzementwerkstoffen in das Trinkwasser begünstigen.

Nachfolgend werden für Sprinkleranlagen einige nationale, europäische und internationale Normen und Richtlinien aufgeführt.

DIN 14489	Sprinkleranlagen - Allgemeine Grundlagen
DIN EN 12259	Bauteile für Sprinkler- und Sprühwasseranlagen (Entwurf)
DIN EN 12845	Automatische Sprinkleranlagen - Planung und Installation (Entwurf)
VdS 2092	Richtlinien für Sprinkleranlagen - Planung und Einbau (Für Neuanlagen ab dem 1.1.2003 sind die Richtlinien VdS CEA 4001 anzuwenden!)
VdS 2160	Richtlinien für Sprinkleranlagen - Anforderungen und Prüfmethode für Glasfassauslöseelemente (Entwurf)
VdS CEA 4001	Richtlinien für Sprinkleranlagen - Planung und Einbau
NFPA 13	Standard for the Installation of Sprinkler Systems

4.1.2. Wassernebellöschanlagen

Dieses sind Sprühwasser-Feuerlöschanlagen, die im Dauer- oder Intervallbetrieb Wasser in feinverteilter Form versprühen. Zerstäubung erfolgt in Einfachdüsen (z.B. Dralldüsen) oder in Zweistoffdüsen mit Luft oder Inertgas bei unterschiedlichen Drücken.

Im Gegensatz zu Sprinkleranlagen, deren Löscheffekt hauptsächlich auf der Kühlwirkung der größeren Wassertropfen auf der brennenden Oberfläche des Brandstoffes beruht, weisen Wassernebellöschanlagen folgende Löscheffekte auf:

- **Kühlwirkung durch Verdampfung (Hauptlöscheffekt)** in der Reaktionszone u. an der Grenzfläche Flammen/Brandrauchströmung. Vornässen der Brandnahbereiche behindert Brandausbreitung.
- **Sauerstoffverdrängung (lokale Inertisierung)** am Brandherd infolge Verdampfung und durch eine ausreichende Teilchendichte an Wassertropfen.
- **Verminderung der Strahlungswärme auf benachbarte Bauteile u. Brandlast**
- **Heterogene Inhibition in der Mischungszone der Flamme mit Kettenabbruchreaktionen** => Energieentzug aus den energiereichen freien Radikalen aus der Verbrennung durch den kühleren Wassernebel (Wandeffekte).

Tropfendurchmesser (volumenbezogen):

$DV_{0,99} < 1 \text{ mm (1.000 } \mu\text{m)}$ gemäß NFPA 750

$DV_{0,90} < 1 \text{ mm (1.000 } \mu\text{m)}$ gemäß CEN/TS 14972

(in 1 m Entfernung beim minimalen Betriebsdruck)

Man unterscheidet gemäß **NFPA 750 [140]** bzw. **CEN/TS 14972 [141]** folgende Druckstufen der verschiedenen Anlagentypen:

- Niederdruck: $\leq 12,5 \text{ bar}$
- Mitteldruck: $>12 \text{ bar} < 34,5 \text{ bar}$
- Hochdruck: $\geq 35 \text{ bar}$

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.

Wie bei den Sprinkleranlagen stößt der Einsatz von Wassernebelanlagen dort an Grenzen, wo das Löschmittel Wasser, die Wirkungsweise und das Ansprechverhalten dem Risikopotential nicht, nur unzureichend oder nicht allein gewachsen sind. Die Möglichkeit der Anwendung von Wasser ist daher im speziellen Einsatzfall zu überprüfen.

Hierzu zählen z.B.

- Elektrische Betriebsräume: Die Folgeschäden hängen ganz entscheidend von der elektrischen Leitfähigkeit und Korrosivität des verwendeten Löschwassers ab. Die elektrische Leitfähigkeit kann bereits bei frischem Leitungswasser in Trinkwasserqualität je nach Versorgungsbereich großen Schwankungen unterworfen sein. Bei stagnierendem Wasser, z.B. in Löschwasserinstallationen oder Löschwasserbehältern, kann es bei Eisenwerkstoffen zu erhöhten Eisenkonzentrationen und zum Ausfall von dunkelbraunem Eisenerocker kommen. Selbst ein völlig entsalztes Wasser ist, da ungepuffert, hochgradig korrosiv.

Beim Einsatz der Wassernebelanlage ist es daher sinnvoll, dass die Anlage nur in den Bereichen auslöst, wo es erforderlich ist, um den Löschwasserschaden gering zu halten. Die Möglichkeit einer Fehlauflösung muss ausgeschlossen werden. Weiterhin sind die Kosten gegenüberzustellen, welche für Trocknungs- und Reinigungsmaßnahmen erforderlich wären im Vergleich zu den Kosten, die durch die Rauch- und Wärmeeinwirkung aufgrund des Brandes entstehen würden.

- Räume zur Lagerung brennbarer Flüssigkeiten (unterschiedliches spezifisches Gewicht und die Eigenschaften vieler brennbarer Flüssigkeiten, sich nicht ohne weiteres mit Wasser zu vermischen)
- Explosionsgefährdete Anlagen sowie Stoffe, die nicht mit Wasser gelöscht werden dürfen, z.B. Leichtmetalle u. deren Legierungen wie Aluminium, Magnesium (Bildung von Wasserstoff => Knallgasreaktion).

Wie **Krüger und Radusch [152]** in ihren Untersuchungen zur Wasserzerstäubung im Stahlrohr gezeigt haben, gibt es Unterschiede bzgl. des Löschrhaltens bei brennbaren Flüssigkeiten mit Sprühnebeln (hier mit der Bezeichnung Wasserstaubstrahl) unterschiedlicher Tropfengrößen. Nach Krüger und Radusch lässt sich bei Drücken bis 10 bar und strö-

mungstechnisch günstigen Düsen eine für die Brandbekämpfung ausreichende Zerstäubung erreichen. Nach diesen Untersuchungen der Forschungsstelle für Feuerlöschtechnik aus dem 1950iger Jahren (jetzt Forschungsstelle für Brandschutztechnik) werden Brände von niedersiedenden Flüssigkeiten, wie z.B. Autobenzin und Alkohol am günstigsten mit kleinen Tropfen (hier: Tropfendurchmesser $\approx 0,28$ mm) und Brände von hochsiedenden Flüssigkeiten, wie z.B. Dieselöl und Trafoöl, am besten mit größeren Tropfen (hier: Tropfendurchmesser $\approx 0,49$ mm) bekämpft.

Nach Untersuchungen von **Mawhinney [147]** des National Research Council Canada (NRCC) ist die Brandbekämpfung mit sehr feinen Tropfen wie bei Hochdruck-Wassernebel in Schaltschränken, Doppelböden mit elektrischen Kabeln und Kabelpritschen nicht möglich. Aufgrund der größeren Tropfen ist jedoch eine Brandbekämpfung mit Niederdruck-Wassernebel möglich. Als optimale Tropfengröße (volumetrischer Tropfendurchmesser $D_{v0,9}$) wird der Bereich von $200 < D_{v0,9} < 400$ μm angesehen.

Bei Wassernebellöschanlagen ergeben sich u. a. folgende Möglichkeiten der Auslösung:

- **Brandmeldeanlage mit optischen Rauchmeldern (Streulichtprinzip)**
Vorteil: schnellere Branderkennung als bei thermischen Auslöseelementen
Problematik der Fehlauflösung bei elektronisch gesteuerten automatischen Feuerlöschanlagen:
Verschmutzung durch z.B. Staub, Aerosole, Insektenlarven => Abhilfe durch z.B. **Zweimelderabhängigkeit:** Brandmeldezustand wird erst nach Ansprechen zweier Melder einer Meldegruppe erreicht. Nach VdS 2095 sollte der Abstand von zwei in Abhängigkeit betriebenen Meldern 2,5 m nicht unterschreiten. Weiterhin sind vorzugsweise Rauchmelder mit automatischer Kompensation der Verschmutzung durch automatische Meßwertnachführung einzusetzen.
Überspannungseinflüsse, Induktionen, indirekte Blitzeinwirkungen
=> Schutz gegen Überspannungseinflüsse, Abschirmung des Meldernetzes
=> Bei sicherheitstechnisch relevanten elektrischen Systemen muss neben den spezifischen Anforderungen die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) gegeben sein. Unter EMV versteht man einerseits die Fähigkeit des Systems, in seiner elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten und andererseits selbst nicht als unzulässiger Störer auf andere Systeme einzuwirken.
Bei großem Staubaufschlag sind z.B. Thermodifferentialmelder oder Brandgasmelder (z.B. Kohlenmonoxid-Melder) einzusetzen.
Eine verzögerte Auslösung ist aufgrund von Brandgasen möglich, 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 $1,29 \text{ kg/m}^3$

Möglichst kleine Löschsektionen zur Minimierung des Löschwasserschadens

- **Thermische Glasfass-Auslöseelemente**

Gefahr durch Fehlauslösung wesentlich 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-/ Brandrauchströmung am Auslöseelement vorhanden ist. Problematisch sind Brände mit viel Rauch und geringer Wärmeentwicklung. => vorzugsweise Verwendung einer mit Brandmeldern vorgesteuerten Trockenanlage wie bei Sprinkleranlagen zur Vermeidung von Löschwasserschäden aufgrund von Fehlauslösungen.

- **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 optischen Rauchmeldern oder Laserdetektoren (Partikelzählprinzip, höhere Empfindlichkeit, kein Filter erforderlich) analysiert.

Zweimelderabhängigkeit ist möglich.

Ein Rauchansaugsystem kann bis zu ca. 50 Ansaugöffnungen aufweisen.

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.

An der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wurde die Wechselwirkung zwischen Rauchabzugsystemen und thermischen Glasfass-Auslöseelementen in Sprinklern bzw. Wassernebelsprühköpfen untersucht.

Die **Aufgabe von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen** besteht darin, im Brandfall Rauch und Wärme abzuführen und damit dazu beizutragen,

- Flucht- und Rettungswege rauchfrei zu halten,
- die Brandbekämpfung durch Schaffung einer rauchfreien Schicht zu erleichtern,
- den Flashover und damit den Vollbrand zu verzögern bzw. zu vermeiden,
- Einrichtungen zu schützen,
- Brandfolgeschäden durch Brandrauch und thermische Zersetzungsprodukte herabzusetzen sowie
- die Brandbeanspruchung der Bauteile zu vermindern.

Man unterscheidet hierbei zwischen folgenden Systemen:

- Maschineller Rauchabzug (MRA): Ableitung von Rauch mit Ventilatoren
- Natürlicher Rauchabzug (NRA): Ableitung von Rauch durch natürlichen Auftrieb (thermischer Auftrieb, z. B. Lichtkuppeln, Jalousien, 1 m²-Öffnungen in notwendigen Treppenträumen von Gebäuden mit mehr als 5 Geschossen)
- Wärmeabzug (WA): Wand- oder Dachfläche, die bei einer bestimmten Temperatur selbsttätig eine Öffnung freigibt (z.B. durch Abschmelzen von thermoplastischen Dachlichtelementen), aus der dann die Wärme nach außen entweichen kann.

Eine raucharme Zone sowie die Abkühlung des aufsteigenden Brandrauches werden nur dann erreicht, wenn die entsprechenden Zuluft- und Abgasvolumenströme kontinuierlich aufrechterhalten werden.

- Im Brandfall kann das primäre Schutzziel verfolgt werden, dass Flucht- und Rettungswege rauchfrei zu halten sind. Die gleichzeitig aktivierte Löschanlage verhindert, dass der Brand weiter angefacht wird.
- Im speziellen Einsatzfall muss überprüft werden, ob es zu einer wesentlichen Beeinflussung der Auslösung von thermischen Glasfass-Auslöseelementen bzw. Brandmeldern durch ein zeitlich vor der Löschanlage ausgelöstes Rauchabzugssystem kommt bzw. ob die Löschwirkung durch das Auslösen des Rauchabzugsystems beeinflusst wird.
- Im Gegenzug ist die Effizienz der Rauchabführung bei aktiver Löschanlage zu beurteilen bzw. zu überprüfen, wie sich das Auslösen der Löschanlage auf die Sicht in Flucht- und Rettungswegen auswirkt.
- Sprühnebel, insbesondere Hochdruckwassernebel, kann durch Ventilationsströmungen abgelenkt werden. Wenn der Rauchabzug vor der Löschanlage ausgelöst wird, muss bei der Anlagenbemessung und -auslegung darauf geachtet werden, dass die Rauchabströmung nicht zur Ausbildung eines Schneiseneffektes im Sprühnebel führt. Dieses kann negative Auswirkungen auf die löschtüchtige Konzentration im Brandbereich haben.
- Die Gegenströmung kann dazu führen, dass Brandrauch bis auf den Boden gedrückt, zur Seite abgelenkt sowie intensiv verwirbelt wird, der Rauch abgekühlt und mit Was-

serdampf und Wassertropfen angereichert wird. Hierdurch kann die Sicht im Bereich der Flucht- und Rettungswege erheblich beeinträchtigt werden.

Von entscheidender Bedeutung für den Löscherfolg, minimale Brand,- Rauch- und Löschmittelschäden sowie Fehlauflösung ist, dass bei der Auslösung der Löschanlage durch die Brandmeldeanlage keine wesentliche Beeinflussung durch diese auftritt.

Nachfolgend werden für Wassernebellöschanlagen einige nationale, europäische und internationale Normen und Richtlinien aufgeführt.

VdS 2109	Sprühwasserlöschanlagen - Richtlinien für Planung und Einbau
ISO/DIS 6182-9	Fire Protection - Automatic Sprinkler Systems - Requirements and Test Methods for Water Mist Nozzles Arbeitsausschuss: ISO/TC 21/SC 5
CEN/TS 14972	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Feinsprüh-Löschanlagen – Planung und Einbau CEN/TC 191/WG 5/TG 3 Gremium: NA 031-03-03 AA N 473
NFPA 750	Standard on Water Mist Fire Suppression Systems
ANSI / FM 5560	American National Standard Water Mist Systems

An der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wird seit mehreren Jahren die Löschwirkung von Sprinkler- sowie Nieder- und Hochdruck-Wasserebellöschanlagen in unterschiedlichen Brandräumen untersucht und verglichen.

Die nachfolgenden **Bilder 24 bis 34** zeigen einige dieser Versuchsaufbauten sowohl in einem Versuchstrepfenraum mit angeschlossenem Brandraum als auch in einem separaten Brandraum.

Die Untersuchungsergebnisse wurden in diversen Forschungsberichten der Forschungsstelle für Brandschutztechnik [201, 202, 203, 204] veröffentlicht.



Versuchsaufbau

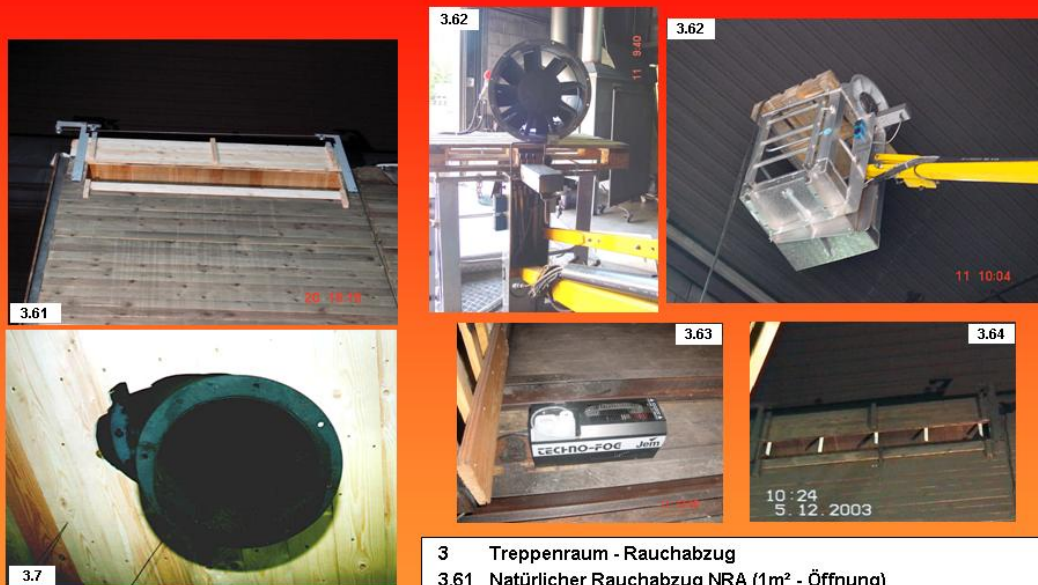


- 3 Treppenraum - Löschanlage und Brandmeldung
- 3.11 Treppenaug mit mittlerem Sprührohr u. Indikatorsprinkler Sp3 u. Sp4 sowie ein Sprühkopf des linken bzw. rechten Sprührohres
- 3.12 Niederdruck-Wassernebelprüchkopf unter Podest 3 mit 1, 4 und 5 Düsen sowie Indikatorsprinkler Sp5*
- 3.13 Sprinkler Sp5 (Wassernebelprüchkopf optional) unter 3. Podest, Indikatorsprinkler Sp5* Foto-elektronischer Rauchmelder BrTr1
- 3.14 Hochdruckpumpe
- 3.15 Hochdruck-Wassernebelprüchkopf
- 3.2 Türöffnung zwischen Brand- und Treppenraum mit Oberlicht, Vorhang und Indikatorsprinkler Sp2
- 3.3 Brandmelder BrTr2 (Foto-elektronischer Rauchmelder) im Treppenaug zentral an der Decke (3.Etage)
- 3.4 Indikatorsprinkler Sp5* zentral unter dem Podest der 2. Etage
- 3.5 Rettungsweg-Kennzeichnung



Bild 25: Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum (FFB) - 2

Versuchsaufbau



- 3 Treppenraum - Rauchabzug
- 3.61 Natürlicher Rauchabzug NRA (1m² - Öffnung)
- 3.62 Axialventilator auf Hubsteiger zur Winderzeugung an 1m² - Öffnung
- 3.63 Verdampfer-Nebelmaschine zur Erzeugung von kaltem Rauch
- 3.64 Wind-Indikatorstreifen zur Anzeige der Strömungsrichtung
- 3.7 Maschineller Rauchabzug MRA (Abgasreinigungsanlage)



Bild 26: Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum (FFB) - 3

Versuchsaufbau – Meß- und Videotechnik



- 4 Meß- und Videotechnik
- 4.1 Abbrandwaage unter dem Brandraumboden
- 4.2 Regenmesser zur Messung der Wasserbeaufschlagung am Boden und in 1 m Höhe im Brand- (Foto: oben) bzw. im Treppenraum (Foto: unten links); Anzeigeräte (Foto: unten rechts)
- 4.3 Magnetisch-induktiver Durchflußmesser
- 4.4 Piezoresistiver Druckmeßumformer im Sprühkopf
- 4.5 Einstellung der Löschwassermenge am Sprühkopf bzw. Sprinkler ohne Befeuchtung des Treppenraumes bzw. der Brandlast

Bild 27: Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum (FFB) - 4

Versuchsaufbau – Meß- und Videotechnik



- 4.6 Rauchdichtemessung mit Lichtmeßgerät (Maurer), Meßlicht-Empfänger und -geber im Treppenraum auf den Podesten der 2. und 3. Etage
- 4.7 Prandtl-Staurohre an Treppenraurtür und Zwischentür Brand-/Treppenraum
- 4.8 Flügelradanemometer an 1 m²-Öffnung der 3. Etage
- 4.9 Brandgasanalyse im Brand- und Treppenraum: Kontinuierliche Gasanalysatoren für Sauerstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid
- 4.10 Manometer zur Ermittlung der Auslösezeitpunkte der Indikator-sprinkler

Bild 28: Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum (FFB) - 5

Versuchsaufbau – Meß- und Videotechnik



4.11 Bidirektionale Strömungsmeßsonden

4.11.1 Türöffnung in den Treppen- und Brandraum

4.11.2 Treppenaug

4.11.3 1 m² - Öffnung

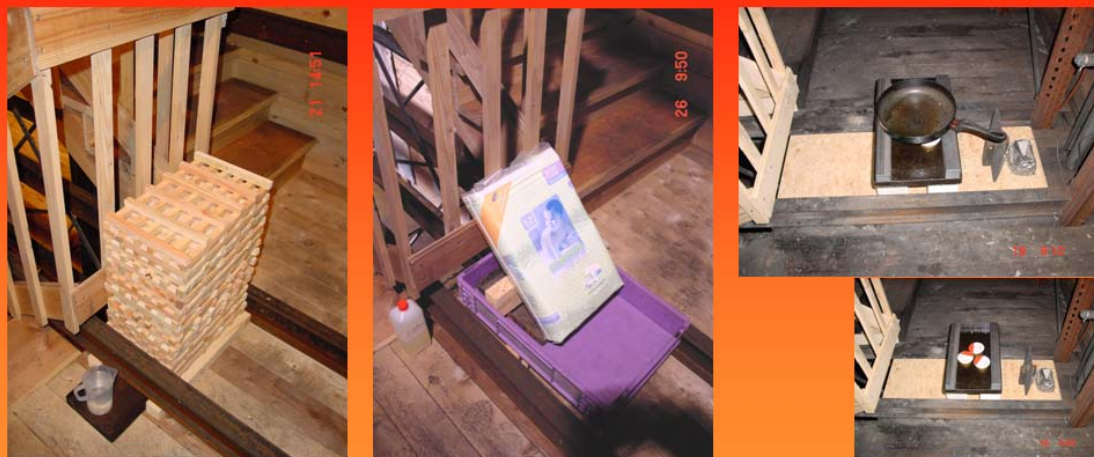
4.11.4 Maschineller Rauchabzug

4.12 Videokameras an den Beobachtungsfenstern, Übertragung der Aufnahmen auf eine Monitorwand im Foyer



Bild 29: Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum (FFB) - 6

Brandlasten im Treppenraum auf dem Podest der 1. Etage



Holzrippe (ca. 13 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm) mit Heptan (0,5 l)

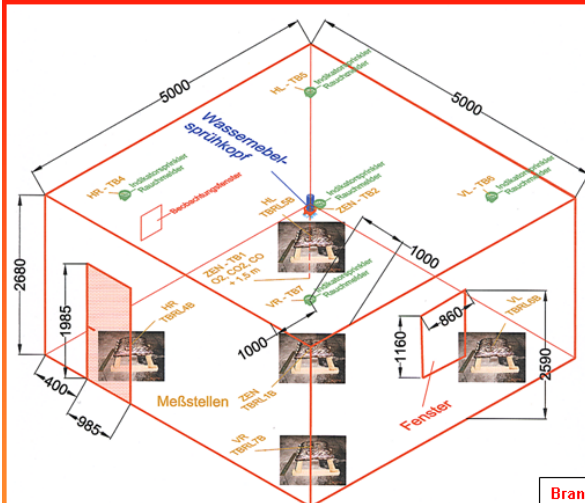
Stapelbehälter aus Polypropylen (ca. 2 kg), 1 Paket Babywindeln (ca. 2,8 kg), 2 Vierkanthölzer (ca. 0,8 kg), Zündwanne (300 mm * 200 mm * 40 mm mit Heptan (0,5 l)

Bratpfanne mit auf Flammpunkttemperatur vorgeheiztem Pflanzenöl (Vorheizung mit Glasdeckel - hier entfernt; 1 l, 2 l Öl) auf 3 Pastenbrennern



Bild 30: Versuchsholzgebäude mit Brand- und Treppenraum (FFB) - 7

Versuche mit Hochdruck-Wassernebel Brandraum - Versuchsaufbau und Messtechnik



Fenster:

- Versuche HDSC135B1 und B2 mit Rohbauöffnung
Öffnungsfläche = ca. 1,42 m² (1050 mm * 1350 mm)
- übrige Versuche mit Wärmeschutzglasfenster (PVC-Rahmen)
(4-16-4, k=1,5 W/m²K), Glasfläche = ca. 1 m² (860 mm * 1160 mm)
Öffnungsfläche vollständig geöffnet = 1,14 m² (930 mm * 1230 mm)
Öffnungsfläche gekippt = ca. 0,15 m²



Versuche mit Abbrandwaage (ohne Löscheinsatz):

- Versuch Br2V1 (Tür: zu, Fenster: auf)
Brandlast Nr. 2 (Position VR)
- Versuch Br3V1 (Tür: zu, Fenster: auf)
Brandlast Nr. 3 (Position VR)

Brandlast Nr. 1: Brandlast (einzeln, an 5 Positionen verwendet)

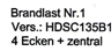
Holzkrippe: 2,8 kg - 4 Kanthölzer (500 mm * 50 mm * 50 mm)
Kissen (Bezug und Füllung aus Polyester): 325 g
5 Zündwannen (100 mm * 100 mm * 10 mm): je 50 ml Spiritus

Brandlast Nr. 2: Brandlast an 1 Position verwendet

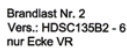
Holzkrippe: 2 kg - 36 Kanthölzer (260 mm * 20 mm * 20 mm) + 2 * 2 (Unterlage)
Kissen (Bezug und Füllung aus Polyester): 325 g
Zündwanne (100 mm * 100 mm * 10 mm): 50 ml Spiritus

Brandlast Nr. 3: Brandlast an 1 Position verwendet

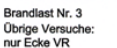
Holzkrippe: 4 kg - 72 Kanthölzer (260 mm * 20 mm * 20 mm) + 2 * 2 (Unterlage)
5 Kissen (Bezug und Füllung aus Polyester): 1,625 kg (5 * 0,325 kg)
Zündwanne (100 mm * 100 mm * 10 mm): 50 ml Spiritus



Brandlast Nr. 1
Vers.: HDSC135B1
4 Ecken + zentral



Brandlast Nr. 2
Vers.: HDSC135B2 - 6
nur Ecke VR



Brandlast Nr. 3
Übrige Versuche:
nur Ecke VR



Bild 31: Versuche mit Hochdruck-Wassernebel im 25m² Brandraum

Kaltsprühversuche mit Niederdruck-Wassernebel (minimaler Betriebsdruck: 4 bar Überdruck)



1



2



3



4



5



6

- 1 Versuchshalle - Sprinklerkopf mit 5 Düsen
- 2 Hochregallager - 3 Steigrohre mit Sprinklerköpfen
- 3, 4, 5 Brandraum des Versuchsholzgebäudes - Sprinklerkopf mit 5 Düsen
- 6 Holztreppenraum - Sprinklerkopf mit 1 Düse zentral



Bild 32: Kaltsprühversuche mit Niederdruck-Wassernebel

Kaltsprühversuche mit Hochdruck-Wassernebel



**Einzeldüse
135 bar**



**Einzeldüse
135 bar**



**Einzeldüse im Treppenraum
135 bar**



**Sprühkopf mit 4 Düsen
135 bar**



**Sprühkopf mit 4 Düsen
135 bar**



**Sprühkopf (4 Düs.) im Treppenraum
135 bar**



Bild 33: Kaltsprühversuche mit Hochdruck-Wassernebel - 1

Kaltsprühversuche mit Hochdruck-Wassernebel



**Sprühkopf mit 4 Düsen – 135 bar
Höhe des Sprühkopfes: 5 m**



**Radialgebläse zur Winderzeugung
Windgeschwindigkeit: 3 m/s**



**Einzeldüse – 135 bar
Ablenkung durch Wind (3 m/s)**



**Sprühkopf mit 4 Düsen – 135 bar
Ablenkung durch Wind im Freien**



Bild 34: Kaltsprühversuche mit Hochdruck-Wassernebel - 2

In den Untersuchungen konnte u. a. folgendes festgestellt werden:

- Wassernebel ist nur bedingt in seinen Eigenschaften mit einem Löschgas vergleichbar - nur begrenzte Löschfähigkeit in verdeckten Bereichen.
- Auslösung der Löschanlage in der frühen Brandentwicklungsphase ist erforderlich.
- Brandherd muss durch Wassernebel eingehaust werden.
- Durch die Niederdruckausführung der bei den Versuchen an der FFB verwendeten Löschanlage (minimaler Betriebsdruck: 4 bar) ist der kostengünstige Anschluss an eine Hauswasserleitung bei ausreichender Wasserversorgung und unter Beachtung der Trinkwasserverordnung (=> Trennstation) denkbar. Eine Feuerwehrnot-einspeisung ist möglich.
- Der Betriebsdruck der bisher bei der FFB eingesetzten Hochdruck-Wassernebel-löschanlage beträgt 80 und 135 bar.
- Im Gegensatz zu Mittel- und Hochdruck-Wassernebellöschanlagen ergeben sich beim Niederdruck keine besonderen Anforderungen bzgl. der Anlagentechnik (z.B. Hochdruckpumpen, Edelstahl-Verrohrung etc.). Die Verstopfungsgefahr bei Hochdruckdüsen ist höher als bei Niederdruckdüsen, falls das Wasser vor Düseneintritt nicht ausreichend gefiltert wird.
- Sowohl Sprinkler als auch Nieder- und Hochdruck-Wassernebel begrenzen die Brandausbreitung auf den Bereich am Treppenraumgeländer auf dem 1. Podest (geringer Brandschaden) des 4-geschossigen Treppenraumes.
- Durch sämtliche Wasser-Löschanlagen wird das Temperaturniveau schnell auf un-kritische Werte abgesenkt.
- Die gemessenen Gaskonzentrationen blieben bei schnellem Löscheinsatz bei der überwiegenden Anzahl der Versuche im Verhältnis zu einem nicht bekämpften Brand im unkritischen Bereich.
- Die erforderliche Löschwassermenge bis zum vollständigen Löschen des Brandes ist bei einem einzelnen Normalsprinkler bei einem Brandherd direkt unter dem Sprinkler aufgrund der Hohlkegelbildung des Sprühbildes dieses Sprinklertyps am größten.
- Die Nebeldüsen haben gegenüber einem Sprinkler den Vorteil einer gleichmäßige- ren Wasserverteilung über den Sprühquerschnitt.
- Der Löschwasserbedarf liegt beim Niederdruck-Wassernebel um ca. 20 % über dem von Hochdruck-Wassernebel bei den im Treppenraum durchgeführten Brand- versuchen.
- Der Niederdruck-Wassernebel benötigt zur vollständigen Brandbekämpfung ca. 20 %, der Hochdruck-Wassernebel ca. 15 % der Löschwassermenge eines einzeln eingesetzten Normalsprinklers bei den Versuchen im Treppenraum.
- Die Verschlechterung der Sicht durch das Sprühnebel-/Wasserdampf-/ Brand- rauchaerosol ist bei Niederdruck-Wassernebel am geringsten, gefolgt vom Normal- sprinkler.
- Beim Hochdruck-Wassernebel ergibt sich die größte Verschlechterung der Sicht

(bis zum 4 fachen des Wertes von Niederdruck-Wassernebel). Dies hat Bedeutung beim Einsatz in Flucht- und Rettungswegen.

- Insbesondere beim Hochdruck-Wassernebel ergibt sich eine Verschlechterung der Sicht durch starke Ablenkung des Sprühnebel-/ Wasserdampf-/ Brandrauch-aerosols aufgrund von Ventilationsbedingungen, z. B. durch Windeinfluss auf Rauchabzüge, Tür- oder Fensteröffnungen. Dies hat insbesondere Bedeutung für die Nutzbarkeit von Flucht- und Rettungswegen.
- Beim Auslösen der Löschanlage durch ein thermisches Glasfass-Auslöseelement wird der maximal zulässige Extinktionskoeffizient (\Rightarrow Rauchdichte) im Gegensatz zur Auslösung mit optischen Rauchmeldern (Streulichtprinzip) überschritten.
- Wie Brand- und Löschversuche im 25 m²-Brandraum zeigen, ergeben sich insbesondere bei Hochdruck-Wassernebel Probleme beim Ablöschen von tiefsitzenden Glutbränden (z.B. Holz mit spezifisch hoher Oberfläche).
- Die weitere Brandausbreitung auf im Umfeld der gezündeten Brandlast befindliche brennbare Stoffe wird durch Befeuchtung zwar wirksam verhindert, allerdings konnte der Brandherd, der u. a. aus einer aus Vierkanthölzern aufgebauten quaderförmigen Holzkrippe bestand, im Gegensatz zu Niederdruck-Wassernebel nicht vollständig gelöscht werden. Die Restglut der Holzkrippe wurde mit Wasser manuell abgelöscht.

4.2. Gaslöschanlagen und Dauerinertisierungsanlagen

Im nachfolgenden werden die Lösch- bzw. Dauerinertisierungsanlagen

- Kohlendioxid
- Stickstoff (IG001)
- Argon (IG01)
- Inergen[®] (IG541)
- Argonite[®] (IG55)
- Dauerinertisierung (Sauerstoffreduktion)

näher betrachtet.

Diese Zusammenstellung von Löschgasen stellt eine Auswahl ohne Anspruch auf Vollständigkeit dar.

Diese Gase weisen folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- überwiegend Stickeffekt: Verdrängung des Luftsauerstoffs aus der Reaktionszone => Reaktionsgeschwindigkeit wird soweit abgesenkt, dass die Flammen verlöschen (Stickwirkung im Raum, nicht im Freien anwendbar).
- 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.
In den meisten Fällen: Sauerstoffabsenkung auf 13,8 Vol.-% durch Zugabe von 34 Vol.-% Löschgas => vorhandenes Luftvolumen wird um ca. 1/3 verdrängt.
Z.B. Wasserstoff, Acetylen, weißer Phosphor können aber < 10 Vol.-% O₂ auch bei Raumtemperatur weiter brennen.
- Löschbeginn muss in der frühen Brandentwicklungsphase erfolgen.
- Geringe bis keine Löschwirkung bei tiefsitzenden Glutbränden (Holz, Papier, Textilien)
- Zur Vermeidung von Rückzündungen ist je nach Anwendungsfall die Aufrechterhaltung einer bestimmten minimalen Löschgaskonzentration erforderlich.
=> Haltezeit (Zeit vom Erreichen der Auslegungskonzentration bis zum Unterschreiten von 85% der Auslegungskonzentration): 10 min - 20 min
- 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.

- Zulässige Raumüberdrücke: 100 bis 500 Pa (ab 1.000 Pa (0,01 bar): Glasschäden möglich). Der maximal zulässige Raumüberdruck muss vom Betreiber spezifiziert werden, ggf. Absprache mit einem Architekten oder Statiker.
- Maximale Flutungszeit: 120 s, Auslegungskonzentration 30 s nach Ende der Flutungszeit
- Personenschutz: geeignete Schutzmaßnahmen (Fluchtwege, optische und akustische Alarmsignale, Warn- und Hinweisschilder etc.) sind erforderlich, um gefährdete Bereiche sofort evakuieren zu können und um Personen an dem Betreten nach der Inertgasflutung zu hindern bzw. um eine schnelle Rettung eingeschlossener Personen zu gewährleisten. In personenbesetzten, gefährdeten Bereichen müssen Alarmierungs- und Verzögerungseinrichtungen mit ausreichender Zeitverzögerung vorgesehen werden, die ein Verlassen des Schutzbereiches ohne unangemessene Hast zulassen. Vorwarnzeit: Zeitspanne zwischen Alarmsignal und Ausströmen des Löschgases zur sicheren Evakuierung (20 - 30 s)
- Akustische Alarmierung ist sehr laut (> 105 dB)
- Löschung ohne Rückstände
- Richtige Anordnung der Hochdruck-Löschdüsen (bei Inertgasen ca. 40 bar) zu den zu schützenden Gütern, evtl. Einsatz von Objektschutzdüsen mit gerichtetem Löschmittelstrahl
- Rauchabzüge dürfen nur manuell angesteuert werden.
- Ausbreitungsgeschwindigkeit der Löschgase im Raum wird durch physikalische Eigenschaften der Gase, insbesondere Dichte, Diffusionskoeffizient 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
- Einen weiteren erheblichen Einfluss haben die Ventilationsbedingungen im Raum.

Im Nachfolgenden werden die Besonderheiten der einzelnen Systeme näher erläutert.

4.2.1. Kohlendioxid (gasförmig)

Kohlendioxid weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- Lagerung im druckverflüssigten Zustand (20 bar (-20°C) bis 57 bar (20°C))
- CO₂ ist kein Inertgas, reagiert mit starken Basen sehr heftig unter Bildung von Carbonaten bzw. bei hoher Temperatur mit bestimmten Metallen z.B. Mg, Ca, Zn
- 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 CO₂ 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.-% CO₂ (= 13,8 Vol.-% Sauerstoff) ist eine Personengefährdung immer gegeben.
- Sicherung des Personenschutzes auch für unmittelbar angrenzende Raumbereiche
- Arbeitsplatzgrenzwert (AGW-Wert): 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

Normen und Richtlinien (Auswahl):

VdS 2093: Richtlinien für CO₂-Feuerlöschanlagen. Planung und Einbau

NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

4.2.2. Stickstoff (IG001)

Stickstoff weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- Bevorratung in Hochdruck-Stahlflaschen (200 bar)
- Druckreduzierung vor dem Verteilerrohrnetz nach dem Sammelrohr auf max. 60 bar
- Raumbedarf gegenüber CO₂ doppelt so groß
- Löschmittelmengenerhöhung gegenüber reinem Kohlendioxid: + 7,5 %
- ca. 40 % teurer als CO₂
- 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°K), keine Nebelbildung
- nicht toxisch, physiologisch unbedenklich in den vorgesehenen Löschgaskonzentrationen
- Stickstoff reagiert mit brennenden Metallen zu Metallnitriden

Normen und Richtlinien (Auswahl):

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

NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

4.2.3. Argon (IG01)

Argon weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- Bevorratung in Hochdruck-Stahlflaschen (300 bar)
- Druckreduzierung vor dem Verteilerrohrnetz nach dem Sammelrohr auf max. 60bar
- sehr starke Ausströmgeräusche (> 105 dB)
- Bevorratung in Hochdruck-Stahlflaschen
- 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°K), keine Nebelbildung
- schwerer als Luft: Be- und Entlüftungsmaßnahmen erforderlich, um das Löschgaskonzentrationen

aus tiefer gelegenen Räumen (z.B. Keller) zu entfernen

- nicht toxisch, physiologisch unbedenklich in den vorgesehenen Löschgaskonzentrationen

Normen und Richtlinien (Auswahl):

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

NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

4.2.4. Inergen^{®1)} (IG541)

Inergen[®] weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- Zusammensetzung: 52 Vol.% Stickstoff, 40 Vol.% Argon, 8 Vol.% Kohlendioxid
- CO₂-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°K), 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

Normen und Richtlinien (Auswahl):

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

NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

1) tyco - TOTAL WALTHER Feuerschutz GmbH, Köln

Nachfolgend wird anhand des Vortrages von **Eyer [214]** auf den Einfluss von Kohlendioxid auf die Toxikologie der Inertgase näher eingegangen.

Toxikologie der Inertgase mit und ohne CO₂

Problematik: Es sind Situationen möglich, dass trotz optischer und akustischer Alarmsysteme mit Inertgasen geflutete Räume erst später verlassen oder zu früh betreten werden, z.B. für Schalt- und Sicherungsarbeiten, zum Entfernen von wertvollen Gegenständen, wegen Verletzungen, Ohnmacht, versperrten Fluchtwegen

- Inertgase wie Stickstoff und Argon sind bei normalem Atmosphärendruck biologisch wenig wirksam.
- Kohlendioxid ist biologisch sehr wirksam: unter 1 Vol.-% belanglos, ab 5 Vol.-% mit ausgeprägten Nebenwirkungen, über 8 Vol.-% lebensgefährlich.
- Hauptproblem ist der Sauerstoffmangel: Kopfschmerzen, Gähnen, Konzentrationsmangel, rasche Ermüdbarkeit, Übelkeit, Sprachstörungen, Gangunsicherheit, Sehstörungen, Bewusstlosigkeit bis zum Tod. Die meisten dieser Erfahrungen wurden beim Aufenthalt in großen Höhen gesammelt, da hier aufgrund des geringeren Luftdruckes der Sauerstoffpartialdruck stark absinkt.
- Z.B. wird der menschliche Sauerstofftransporteur, der rote Blutfarbstoff, auf dem Mont Blanc in der Lunge statt zu 98 % nur mehr zu etwa 80 % mit Sauerstoff gesättigt.
- Sauerstoffmangel und Kohlendioxid-Überschuss bewirken eine vertiefte und beschleunigte Atmung (Hyperventilation).
- Durch die Kohlendioxid-Stimulation kann die Atmung bis auf das 10-fache der Ruheatmung erhöht werden.
- Ein Zusatz von 3 - 4 % Kohlendioxid zur Einatemluft erhöht unter den Bedingungen des Sauerstoffmangels das Atemminutenvolumen, vermindert die Sauerstoffaufnahme des Blutes in der Lunge und vermehrt die Hirndurchblutung.
- Schädliche Effekte von Kohlendioxid bei Sauerstoffmangel (Hypoxie): besonders bei Patienten mit eingeschränkter Lungenfunktion (z.B. Asthma bronchiale, chronische Bronchitis) => Übersäuerung des Blutes mit deutlich erhöhten Konzentrationen von Kohlendioxid.
- Zusätzliche Gefahr durch toxische Brandgase wie hauptsächlich Kohlenmonoxid und Cyanwasserstoff (Blausäure).
- Je nach Branddauer liegen bereits vor der Flutung mit Inertgasen ein mehr oder weniger großer Sauerstoffmangel und eine Kohlendioxid-Erhöhung vor.
- Sauerstoffmangel und Kohlendioxid erhöhen möglicherweise die Toxizität von Kohlenmonoxid und Blausäure.
- Durch die gesteigerte Atemtätigkeit durch Kohlendioxid kann auch die Aufnahme von toxischem Brandrauch beschleunigt werden.

- Auch bei Kohlendioxid-freien Löschmitteln wird die Toxizität der Brandgase Kohlenmonoxid und Blausäure bei Sauerstoffmangel erhöht, da auch hier eine - wenn auch im Vergleich zu Kohlendioxid geringere - Hyperventilation auftritt und der Sauerstoff vermindert wird.

4.2.5. Argonite^{®2)} (IG55)

Argonite[®] weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- 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°K), keine Nebelbildung
- nicht toxisch, physiologisch unbedenklich in den vorgesehenen Löschgaskonzentrationen
- Argon ist schwerer als Luft: Be- und Entlüftungsmaßnahmen erforderlich, um das Löschgas aus tiefer gelegenen Räumen (z.B. Keller) zu entfernen

Normen und Richtlinien (Auswahl):

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

NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

2) Kidde Brand- und Explosionsschutz GmbH, Ratingen

4.2.6. Dauerinertisierung (Sauerstoffreduktion)

Die Methode der Dauerinertisierung, wobei hier beispielhaft die Systeme **OxyReduct**^{® 3)} und **Permatec**^{® 4)} aufgeführt werden (andere Handelsnamen sind möglich), ist keine Gaslöschanlage im eigentlichen Sinn. Durch eine permanente Rauminertisierung auf ein niedriges Niveau der Sauerstoffkonzentration wird gewährleistet, dass eine Verbrennung nur schwer oder gar nicht durch Entzündung des Brandstoffes auftreten kann. Nachfolgend werden einige weitere Besonderheiten aufgeführt:

- Durch eine permanente Rauminertisierung auf ein niedriges Niveau der Sauerstoffkonzentration wird gewährleistet, dass eine anhaltende Verbrennung nur schwer oder gar nicht auftreten kann, weil eine Entzündung des Brandstoffes unterbleibt.
- 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.
- N₂-Erzeugung vor Ort in einem Stickstoffgenerator: Luft wird mittels Hohlfasermembranen in N₂ und Restgase getrennt.
- Schutzbereiche bleiben bei den oben angegebenen Sauerstoff-Konzentrationen für Personen begehbar.
- Überwachung der Sauerstoff-Konzentration und des Druckes im Raum ist erforderlich.
- Personenschutz ist bei kritischen Sauerstoff-Konzentrationen zu beachten: z.B. Alarmierung, mindestens 1 Fluchtweg je Schutzbereich.
- Trotz Inertisierung ist ggf. die Entstehung von Glimmbränden (bis 2 Vol.-% Sauerstoff) und starke Brandrauch- und Geruchsbildung möglich.
- Inertgas hinterlässt keine Rückstände.
- keine Nebelbildung.

Normen und Richtlinien (Auswahl):

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

3) WAGNER Alarm- und Sicherungssysteme, Langenhagen

4) MINIMAX, Brandschutz und Sicherheitstechnik, Bad Oldesloe

An der Forschungsstelle für Brandschutztechnik steht eine Versuchseinrichtung zur Untersuchung der Wirksamkeit einer reduzierten Sauerstoff-Atmosphäre bei der Einwirkung von Wärmestrahlung und kleinen Zündquellen auf das Brandgut zur Verfügung (Bild 35).

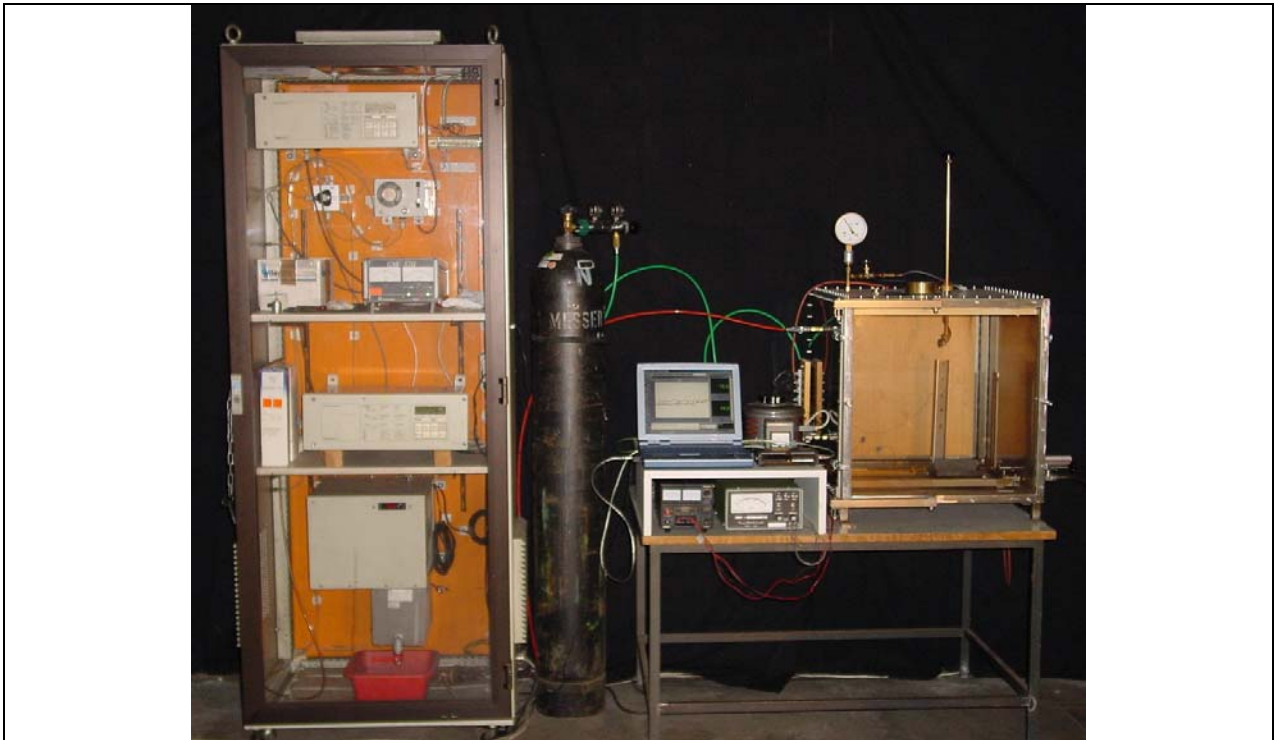


Bild 35: Versuchseinrichtung zur Untersuchung der Wirksamkeit einer reduzierten Sauerstoff-Atmosphäre bei der Einwirkung von Wärmestrahlung auf das Brandgut (FFB)

4.3. Halonersatzstoffe

Halonersatzstoffe weisen folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- Löschmechanismen: Wärmeabsorption in der Flamme, Löschmittel wird während des Löschvorganges zersetzt und greift in die Verbrennungsreaktion ein, Stickeffekt bei hohen Konzentrationen.
- 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.
- Zulässige Raumüberdrücke: 100 bis 500 Pa (ab 1.000 Pa: Glasschäden möglich)
- Maximale Flutungszeit (z.B. bei EDV-Räumen): 10 s, Auslegungskonzentration: 30 s nach Ende der Flutungszeit (möglichst keine Verlängerung der Flutungszeiten wegen möglicher Zersetzungsprodukte).
- Haltezeit vom Erreichen der Auslegungskonzentration bis zum Unterschreiten von 85% der Auslegungskonzentration: mind. 10 min. Bei ungünstigen Verhältnissen (z.B. heiße Oberflächen oder tief sitzende Brände) länger.
- 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.
- Ventilationsbedingungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Ausbreitung im Raum.
- Personenschutz: geeignete Schutzmaßnahmen (Fluchtwege, optische und akustische Alarmsignale, Warn- und Hinweisschilder etc.) sind erforderlich, um gefährdete Bereiche sofort evakuieren zu können und um Personen an dem Betreten nach der Löschgasslutung zu hindern bzw. um eine schnelle Rettung eingeschlossener Personen zu gewährleisten. In personenbesetzten, gefährdeten Bereichen müssen Alarmiereinrichtungen und Verzögerungseinrichtungen mit ausreichender Zeitverzögerung vorgesehen werden, die ein Verlassen des Schutzbereiches ohne unangemessene Hast zulassen.
- Vorwarnzeit: Zeitspanne zwischen Alarmsignal und Ausströmen des Löschgases zur sicheren Evakuierung (20 - 30 s).
- In Flammen und an heißen Oberflächen erfolgt Zerfall in giftige, ätzende und korrosive Zersetzungsprodukte (Fluor, Fluorwasserstoff und andere Fluorverbindungen). Fluor-

wasserstoff 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. => problematisch bei schneller Brandentwicklung (z.B. brennbare Flüssigkeiten) oder bereits ausgebildeten Glutherden bzw. langen Flutungszeiten. Evtl. liegen noch Oberflächen mit hoher Temperatur nach dem Löschen vor.

- Gegenwärtige Halonersatzstoffe erzeugen nach **Liu und Kim [160]** beim Löschvorgang unter vergleichbaren Brandbedingungen mindestens 5- bis 10-mal mehr Fluorwasserstoff als Halon 1301.
- Löschung ohne Rückstände.
- Löschkonzentration der Halonersatzstoffe unter der Konzentration von Inertgasen
- geringerer Lagerraumbedarf gegenüber Inertgasen
- Rauchabzüge dürfen nur manuell angesteuert werden.
- Nach VdS 2381, Abschnitt 1.7.3 dürfen halogenierte Kohlenwasserstoffe nicht bei Bränden mit der Beteiligung folgender Stoffe eingesetzt werden:
 - 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
 - feste Stoffe, in denen Brände schnell tief sitzend werden können
 - Einrichtungen, bei denen aus betrieblichen Gründen heiße Oberflächen (mit Temperaturen über 150 °C) vorhanden sind

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

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt Auskunft über die mögliche Toxikologie der Halonersatzstoffe.

Problematik:

- Es sind Situationen möglich, dass trotz optischer und akustischer Alarmsysteme mit Halonersatzstoffen geflutete Räume erst später verlassen oder zu früh betreten werden z.B. für Schalt- und Sicherungsarbeiten, zum Entfernen von wertvollen Gegenständen, wegen Verletzungen, Ohnmacht, versperrter Fluchtwege
- Löscherfolg muss mit höchster Sicherheit durch die nur einmal mögliche Flutung des Raumes gewährleistet werden (Auslösung in der frühen Brandentwicklungsphase).
- Für den Fall des ausbleibenden Löscherfolges würde ein Löschen mit mobilen Kräften der Feuerwehr im Innenangriff aufgrund der hohen Konzentration an giftigen und ätzenden Zersetzungsprodukten (Carbonylfluorid, Fluorwasserstoff) aus dem Löschmittel deutlich erschwert. Hauptaufnahmeweg über die Lunge (Zerstörung des Lungen-

gewebes bzw. toxisches Lungenödem).

- Schutzausrüstung für die Feuerwehr: Umluftunabhängiges Atemschutzgerät, Chemieschutzanzug.
- Durch die Halonersatzstoffe HFC-227ea und HCFC Blend A wird die Bildung von Kohlenmonoxid beim Löschvorgang im Vergleich zu freiem Abbrand und im Vergleich zum Einsatz von Halon 1301 nach **Su und Kim [161]** erhöht. Wie bei den Zersetzungsprodukten Fluorwasserstoff, Carbonylfluorid und Chlorwasserstoff nimmt die Menge an Kohlenmonoxid mit der Brandgröße und der Löschzeit zu.

Halonersatzstoffe werden bzgl. ihrer Umwelteigenschaften charakterisiert mit den Werten

NOAEL (no observed adverse effect level): Höchste Konzentration, bei der keine nachteiligen toxikologischen oder sonstigen für den Menschen nachteiligen Auswirkungen zu beobachten sind.

ODP (Ozone Depletion Potential) als Maß für das Ozonabbaupotential und

GWP (Global Warming Potential) als Maß für das Erderwärmungspotential.

Die folgende Zusammenstellung in **Bild 36** zeigt hierzu die verschiedenen Löschgase und Halonersatzstoffe im Vergleich mit den Halonlöschmitteln.

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

Luft:	1,29 kg/m³ (Normzustand: 0°C, 1 bar)		
Dauerinertisierung:		ODP = 0	GWP = 0
Kohlendioxid:	1,98 kg/m ³ (im Norm.)	ODP = 0	GWP = 1
Argon:	1,78 kg/m ³ (im Norm.)	ODP = 0	GWP = 0
Stickstoff:	1,25 kg/m ³ (im Norm.)	ODP = 0	GWP = 0
Inergen® :	1,52 kg/m ³ (im Norm.)	ODP = 0	GWP < 1
Argonite® :	1,52 kg/m ³ (im Norm.)	ODP = 0	GWP = 0
Trigon 300® :	3,11 kg/m ³ (im Norm.)	ODP = 0	GWP = 11.700 (bei Zeithorizont 100 Jahre)
FM 200® :	7,82 kg/m ³ (im Norm.)	ODP = 0	GWP = 2.900 (bei Zeithorizont 100 Jahre)
Novec 1230® :	14,93 kg/m ³ (im Norm.) (Flüssigkeitsdichte bei 25°C: 1.600 kg/m ³)	ODP = 0	GWP = 1
zum Vergleich: Halonlöschmittel (nur noch eingeschränkt zugelassen z.B. Militär)			
Halon 1211:	7,62 kg /m ³ (im Norm.)	ODP = 3	GWP = 5000
Halon 1301:	6,74 kg /m ³ (im Norm.)	ODP = 10	GWP = 4900



Bild 36: Vergleich der Dichte, ODP- und GWP-Werte bei gasförmigen Löschmitteln im Vergleich zu Luft.

4.3.1. Trigon-300®⁵⁾ (Trifluormethan, HFC-23, FE-13)

Trigon-300® wird hier beispielhaft für diesen chemischen Stoff genannt, wobei andere Handelsnamen möglich sind.

Trigon-300® weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

⁵⁾ DuPont, Fluorproducts, Wilmington, USA

- gasförmiges Löschmittel, farblos, Geruch süßlich
- Löschung rückstandsfrei
- Brandklasse A, B: ca. 16 Vol.-% Löschgas
- kann unter Beachtung der Sicherheitsvorschriften in Räumen angewendet werden, in denen sich Personen aufhalten
- In Flammen und an heißen Oberflächen (Temperaturen größer 400°C, siehe **Angelino und Invernizzi [159]**) 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
- spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr: Chemieschutzanzug, umluftunabhängiges Atemschutzgerät (gemäß Sicherheitsdatenblatt von **DuPont Fluorproducts, Wilmington [165]**)
- Gas ist schwerer als Luft und kann sich in geschlossenen Räumen ansammeln, insbesondere am Fußboden oder in tiefer gelegenen Bereichen
- NOAEL = 30 Vol.-%

4.3.2. FM-200^{® 6)} (Heptafluorpropan, HFC-227 ea)

FM-200[®] wird hier beispielhaft für diesen chemischen Stoff genannt, wobei andere Handelsnamen möglich sind.

FM-200[®] weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- 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
- kann unter Beachtung der Sicherheitsvorschriften in Räumen angewendet werden, in denen sich Personen aufhalten
- Zersetzung bei Einwirkung von Feuer und an heißen Oberflächen (Temperaturen größer 425°C, siehe **Angelino und Invernizzi [159]**) in giftige, ätzende und korrosive Zersetzungsprodukte: Carbonylfluorid, Fluorwasserstoff und Kohlenmonoxid, ab 9 Vol.-% narkotische Wirkung

6) DuPont Fluorproducts, Wilmington, USA

- Beim Löschvorgang wird die Bildung von Kohlenmonoxid im Vergleich zu freiem Abbrand und im Vergleich zum Einsatz von Halon 1301 nach **Su und Kim [161]** erhöht. Wie bei den Zersetzungsprodukten Fluorwasserstoff, Carbonylfluorid und Chlorwasserstoff nimmt die Menge an Kohlenmonoxid mit der Brandgröße und der Löschzeit zu.
- Kontakt mit starken Laugen, starken Oxidationsmitteln, starken Reduktionsmitteln und Metallpulver vermeiden (gemäß Sicherheitsdatenblatt von DuPont Fluorproducts, Wilmington)
- Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr: Chemieschutzanzug, umluftunabhängiges Atemschutzgerät (gemäß Sicherheitsdatenblatt von **DuPont Fluorproducts, Wilmington [166]**)
- Gas ist 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.-%

4.3.3. **Novec 1230^{® 7)}** (1,1,1,2,2,4,5,5,5-Nonafluor-4-(Trifluormethyl)-3-Pentanon, FK-5-1-12)

Novec 1230[®] wird hier beispielhaft für diesen chemischen Stoff genannt, wobei andere Handelsnamen möglich sind.

Novec 1230[®] weist folgende Besonderheiten (Eigenschaften) auf, wobei einige grundsätzliche Anforderungen einzuhalten sind:

- bei Umgebungsbedingungen flüssig => Verdampfung durch Zerstäubung bei hohem Druck mit Stickstoff (42 bar) => kann evtl. verzögert Konzentrationsollwert erreichen (Verteilung durch erforderliche Verdunstung ist gegenüber gasförmig ausgebrachten Löschmitteln evtl. verzögert)
- kann unter Beachtung der Sicherheitsvorschriften in Räumen angewendet werden, in denen sich Personen aufhalten
- Brandklasse A, B: ca. 6 Vol.-% Löschgas
- farblos, geruchlos
- bei der Verbrennung erfolgt Zersetzung in Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Fluor-

7) 3M Center, St. Paul, USA

wasserstoff

- Kontakt mit starken Basen, Aminen, Alkoholen, direktem Sonnenlicht und ultraviolettem Licht vermeiden (gemäß Sicherheitsdatenblatt von **3M Center [164]**)
- Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr: Vollschutzanzug, umluftunabhängiges Atemschutzgerät (gemäß Sicherheitsdatenblatt von **3M Center [164]**)
- Gas ist schwerer als Luft und kann sich in geschlossenen Räumen ansammeln
- NOAEL = 10 Vol.-%

5. BEURTEILUNGSKRITERIEN FÜR DEN EINSATZ VON ORTSFESTEN LÖSCHANLAGEN IN MIKROBIOLOGISCHEN UND GENTECHNISCHEN BEREICHEN

Aufgrund der verschiedenen Bereiche

- Labor
- Produktionsbereich
- Gewächshäuser
- Tierhaltungsbereich

können sich sehr unterschiedliche Arten von Brandlasten in diesen Räumen befinden.

Die Gebäude weisen zum Teil beträchtliche Brandlasten (brennbare Flüssigkeiten, wie z. B. Desinfektionsmittel, Futtermittel, Streu, Kunststoffkäfige etc.) auf, die bei ungenügenden brandschutztechnischen Maßnahmen eine Gefährdung darstellen.

Weiterhin sind die in Büros üblichen Brandlasten (Möbel, Aktenordner, PC etc.) vorhanden.

Eine weitere Verschärfung ergibt sich evtl. durch Druckbehälter mit technischen Gasen in den Laboren mit zum Teil brennbarem Nutzinhalt, wenn sich diese nicht in geeigneten Sicherheitsschränken befinden.

Die anfallenden Substanzen und Tierkadaver sind zum Teil ggf. gentechnisch als auch radioaktiv kontaminiert. Diese sollten sich in geeigneten Sicherheitsbehältnissen befinden.

Im Fall der Brandbekämpfung mit Wasser ist die Dichtigkeit von Geschosdecken zu gewährleisten, um eine großvolumige Verunreinigung mit kontaminiertem Löschwasser zu vermeiden.

Fenster und Türen stellen ein weiteres Ausbreitungsrisiko für gefährliche Organismen dar. Die Fenster dürfen sich je nach Sicherheitsstufe des gentechnischen Bereiches ggf. nicht öffnen lassen bzw. dürfen während der Arbeiten nicht geöffnet werden.

Im Brandfall ist aber allein durch den Druckanstieg im Innern des Labors zum Beispiel aufgrund des Berstens evtl. vorhandener Druckbehälter (z.B. Druckbehälter mit Kohlendioxid zum Töten von Versuchstieren oder Flüssiggas-Ventilkartuschen für Bunsenbrenner) oder durch temperaturbedingte Spannungen ein Bersten der Fenster oder durch Bildung brennbarer Zersetzungsgase zu befürchten.

Wie bereits in Abschnitt 1. erwähnt, hat die Zerstörung einer Verglasung bei einem Brand einen ganz entscheidenden Einfluss auf den weiteren Brandverlauf, ob es zum Beispiel aufgrund einer zunächst nicht zerstörten Verglasung in einem relativ dichten Raum beim Schaffen einer Öffnung zu einer Rauchgasdurchzündung oder einem Backdraft kommt oder ob bei ausreichender Ventilation ein Flashover eintritt. Gerade diese Eigenschaften von Verglasungen können ggf. bei den Laboren und Bereichen der Sicherheitsstufen S3 und S4 mit dichten bruchsicheren Fenstern zu kritischen Zuständen beim Brand führen.

Weiterhin besteht Untersuchungsbedarf, wie groß eine evtl. Gefährdung durch Rauchdurchzündung oder Backdraft ist, wenn die Lüftungsanlage des Labors im Brandfall durch Brandschutzklappen abgeschottet wird. Wird das Labor zu einem späteren Zeitpunkt wieder geöffnet, ohne dass der Brand zwischenzeitlich durch eine ortsfeste Löschanlage vollständig gelöscht worden ist, ist es denkbar, dass zündfähige Brandzersetzungsprodukte zu diesen Brandphänomenen führen können.

Durch einen Defekt von in den Laboren vorhandenen elektronischen Geräten (Messtechnik, Kühlgeräte, Wärmeschränke, PC) ist ein Brand aufgrund z.B. zu hoher Leitertemperatur, Isolationsfehler, Alterung oder Kontaktfehler nicht auszuschließen. Besondere Bedeutung hat hierbei der unbeaufsichtigte Betrieb in der Nacht.

Da z.B. Kühlgeräte und bestimmte Messgeräte im Dauerbetrieb laufen müssen, um z.B. den wertvollen Inhalt zu schützen, ist der Betrieb auch außerhalb der normalen Arbeitszeiten unabdingbar.

Weiterhin ergeben sich aus verschiedenen Sicherheitsstufen S1 bis S4 entsprechend der **Gentechnik-Sicherheitsverordnung – GenTSV [2]** zum Teil in Verbindung mit radioaktiven Substanzen unterschiedliche Anforderungen bzgl. des verwendeten Löschmittels (Eignung für Flammenbrände und Glutbrände, korrosive Eigenschaften, Zersetzungsprodukte), des Druckaufbaus sowie der Löschmittelrückhaltung und Dekontamination.

Aufgrund der Lüftungsverhältnisse in den Laboren, insbesondere durch den unter allen Umständen zu gewährleistenden Unterdruckbetrieb in S3 und S4 Bereichen mit den hier vorhandenen Hochleistungsschwebstoff-Filteranlagen, ergeben sich besondere Anforderungen an die schnelle und sichere Detektion des Brandes sowie die anschließende Brandbekämpfung.

Insbesondere muss der Unterdruck auch beim Einströmen des Löschmittels unter Brandbedingungen erhalten bleiben.

Eine Fehlauslösung der Löschanlage muss ausgeschlossen werden.

Dies hat einen entscheidenden Einfluss auf die Auswahl der geeigneten Brandmeldetechnik, insbesondere wenn diese zum Ansteuern der Löschanlage verwendet wird.

Zur Gewährleistung einer schnellen Alarmierung von Personen und sicheren Evakuierung im Brandfall ist eine flächendeckende automatische Brandmeldeanlage mit Rauchmeldern erforderlich.

Der Einsatz von Rauchmeldern steht in Einklang mit den Richtlinien des VdS für automatische Brandmeldeanlagen (**VdS 2095**) [135] Zitat: *„Ist in der Entstehungsphase mit einem Schwelbrand zu rechnen (Rauchentwicklung, wenig Wärme und keine sichtbare Flammenstrahlung), sind Rauchmelder zu verwenden. Bei zu erwartender Personengefährdung oder Schäden durch Brandrauch sind bevorzugt Rauchmelder einzusetzen“.*

Bzgl. der Ansteuerung der Löschanlagen ist zu überprüfen, ob die Löschanlage in Abhängigkeit von den Laborbedingungen durch thermische Glasfaser-Auslöseelemente, fotoelektronische Rauchmelder, Rauchansaugsystem, Wärmemelder oder Brandgasmelder (z.B. Kohlenmonoxid-Melder) ausgelöst werden muss. In Räumen, in denen mit großem Staubanfall in der Luft zu rechnen ist, wie z. B. in Tierstallungen oder in Lagern für Futtermittel

und Streu ist es sinnvoll, schnelle thermische Glasfass-Auslöseelemente, Brandgasmelder (Kohlenmonoxid-Melder) oder optische Rauchmelder mit automatischer Messwertnachführung bei Verschmutzung einzusetzen. Bei der Auswahl sind die Erfahrungen der Hersteller von Brandmeldeanlagen zu berücksichtigen.

Die Ansteuerung der Löschanlage z.B. mit Rauchmeldern ist jedoch mit einem höheren technischen, Wartungs- und Kostenaufwand, insbesondere bei vorzugsweise kleinen Löschsektionen verbunden. Weiterhin ist dadurch die erwartete Häufigkeit von Fehlauslösungen grundsätzlich größer (=> vorzugsweise Auslösung über Zweimeldersystem).

Nach bisherigen Erkenntnissen aus Versuchen an der FFB und nach Rücksprache mit dem VdS in Köln sollte die Auslösung daher zumindest über schnelle thermische Glasfassauslöseelemente (z.B. Fast F3 oder Super Fast F2) erfolgen.

Bei Verwendung von Rauchmeldern würde eine wesentlich schnellere Auslösung als bei thermischen Auslöseelementen insbesondere im Hinblick auf den Personenschutz erfolgen.

Die schnelle Auslösung z.B. einer Wassernebellöschanlage über die Brandmeldeanlage mit Zweimeldersystem ist allerdings im Hinblick auf die technische Ausführung (aufwendiger Aufbau mit der Gefahr von Fehlauslösungen, VdS zugelassene Armaturen zur Ansteuerung etc.) sowie die Kosten bei entsprechend kleinen Löschsektionen gegenwärtig nicht unproblematisch.

An dieser Stelle soll eine weitere Problematik erwähnt werden, die in Tierstallungen auftreten könnte. Hohe Schallpegel (> 105 dB) aufgrund von sehr lauten akustischen Alarmierungen und sehr lauten Ausströmgeräuschen bei Gaslöschanlagen können sich insbesondere bei einer Fehlauslösung als nachteilig für Versuchstiere erweisen. Nach Untersuchungen der Gesellschaft für Versuchstierkunde (Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover) **[61, 62]** zur tiergerechten Haltung von Laborratten sollten Schallspitzen im Tierhaltungsbereich nicht über 85 dB und Schallpegel dauerhaft unter 60 dB liegen. Plötzliche Geräusche lösen bei Ratten Schreck- und Fluchtreaktionen aus, die eine weitere Verwendbarkeit der Tiere für gesicherte wissenschaftliche Aussagen in Frage stellen. Das Auslösen von Schreck- und Fluchtreaktionen trifft natürlich auch für Menschen zu.

Allerdings müssen hier ganz klar der Personenschutz und die sichere Evakuierung von Menschen im Vordergrund stehen.

Der Einsatz von halbstationären anstatt von automatischen ortsfesten Löschanlagen ist möglich, wenn z.B. schnell einsatzfähige Werksfeuerwehren vorhanden sind.

Nach **AGBF [217]** ist eine halbstationäre Löschanlage für größere Objekte nur dann sinnvoll, wenn die Inbetriebnahme durch die Feuerwehr innerhalb der vorgegebenen Zeit sichergestellt werden kann. Eine solche Sicherstellungsgarantie kann im Regelfall von einer öffentlichen Feuerwehr nicht erteilt werden.

Gemäß der Stellungnahme der Projektgruppe „Labortechnik“ (ELATEC) des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) **„Löschanlagen und Löschwasserrückhaltung in Laboratorien der Sicherheitsstufen S2 und S3“** (Ausgabe Juni 2007) **[99]** sind zur Einhaltung der Schutzziele der Musterbauordnung für Laboratorien der Sicherheitsstufe S2 aufgrund der Nutzung als Laboratorium keine Löschanlagen erforderlich.

Im Brandfall ist es zulässig, dass Fenster des Laboratoriums zerstört werden, Rauchgase in die Umwelt gelangen und der Löschangriff wie üblich durch Einsatzkräfte der örtlichen Feuerwehr vorgetragen wird. Der erforderliche Brandschutz ist bezogen auf die Nutzung als Laboratorium ohne Löschanlage sichergestellt. Eine Löschanlage kann aber auch bei der Sicherheitsstufe S2 erforderlich werden, wenn unter Berücksichtigung der Planung die baurechtlichen Anforderungen entsprechend der jeweiligen Bauordnung des Landes nicht eingehalten werden, wie z. B. bei Überschreitung der maximal möglichen Brandabschnittsgrößen oder Planung von Laboratorien in Hochhäusern. Zur Erreichung der Schutzziele der MBO können in gentechnischen Bereichen der Sicherheitsstufe S3 (bzw. S4) Löschanlagen erforderlich werden.

Aufgrund der hier vorliegenden Besonderheiten (Unterdruck, Filterproblematik, Ventilationsverhältnisse in Verbindung mit der Brandmeldetechnik, Art und Menge der Brandlast, Gefahrstoffe, Raumgröße) liegt dringender Untersuchungsbedarf vor.

Nachfolgend werden die beiden Löschanlagentypen Wassernebel und Löschgas näher beleuchtet.

Nach ersten Erkenntnissen ist der Druckaufbau durch eine Sprinkleranlage oder Wassernebellöschanlage vernachlässigbar bzw. kann dieser durch die Regelung der Unterdruckanlage ausgeglichen werden. Diese Aussage soll jedoch in der gegenwärtig errichteten Versuchseinrichtung in der FFB näher untersucht werden.

Hierbei ergeben sich jedoch weitere Fragestellungen zu den zum Einsatz kommenden Hochleistungsschwebstoff-Filtern, auf die im nachfolgenden näher eingegangen wird.

Einstufige Filteranlagen sind meist nur für den Einsatz in einfachen Raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) ausreichend. Für höhere Anforderungen an die Luftreinheit und insbesondere die genügende Abscheidung von Mikroorganismen werden mehrstufige Luftfilteranlagen benötigt.

Filteranlagen bestehen aus einer oder mehreren eingebauten Filterzellen, die einer bestimmten Filterklasse zugeordnet sind. Die Festlegung der einzelnen Filterstufen hängt u. a. ab von der Luftkontamination, der Reinraumklasse und der Raumnutzung.

Die erste Filterstufe dient als Vorfilter dem Schutz von Geräten und der Standzeitverlängerung der teureren Endfilter.

Nach **Langenohl, et. al. [109]** „Überwachung gentechnischer Anlagen - Teil 2“ ergeben sich bei derartigen Filteranlagen folgende Schwierigkeiten für den Betrieb:

Die Luftfeuchtigkeit darf einen kritischen Wert nicht übersteigen, damit es nicht zu einer Veränderung der Polarität und damit zu einer Keimpenetration kommt.

Die Abluft ist von Netzmittel, Schmutzkolloiden und Elektrolyten (z. B. in Schaum oder Schaumpartikel) durch Vorabscheider (z. B. Demister, Prallflächenabscheider oder Tiefenfilter) zu reinigen, damit eine Veränderung der Polarität nicht zu einer Keimpenetration führt.

Die Filter sind regelmäßig von der Beladung mit Organismen und anderen Partikeln zu befreien, so dass keine Blockade freier Valenzen der Filter stattfindet und eine Keimpenetration nicht zu befürchten ist.

Die Penetration der Filter ist durch regelmäßige Sterilisation zu verhindern.

Regelmäßige Partikelbeaufschlagungstests an sauberen Filtern zum Nachweis der Integrität der Filtersysteme sind durchzuführen.

Die Anströmgeschwindigkeit muss auf den jeweiligen Filtertyp abgestimmt werden, damit die elektrostatischen oder adsorptiven Effekte im vollen Maße wirksam werden können. Chemische Reaktionen des Filtermediums mit dem Sterilisationsmedium (z. B. Hydrazin im Dampf mit Borosilikat) sind zu verhindern.

Für den Einsatz der Filter ist die Luft demnach einer gewissen Vorkonditionierung zu unterziehen. Die Luft sollte im Idealfall nur noch geringe Spuren des eingesetzten Nährmediums enthalten. Weiterhin darf es in Tiefenfiltern nicht zu einer Kondensation der Luftfeuchtigkeit kommen. Weisen Abluftstrecken eine hohe Keimbelastung auf, so ist diese zur Erhöhung der Keimrückhaltung durch geeignete Maßnahmen (beispielsweise die Verwendung von Vorfiltern) zu reduzieren. Die Filter sind in regelmäßigen Abständen einer Prüfung zu unterziehen.

Nach Erfahrungen der Feuerwehr kann die Wirkung von Hochleistungsschwebstoff-Filtern bereits wenige Sekunden nach Beginn eines Brandes durch verstopfende Rußpartikel zum Erliegen kommen. Die Ventilation wird in diesem Fall automatisch gestoppt und der erforderliche Unterdruck im Labor kann nicht länger gewährleistet werden. Durch die brandbedingte Erwärmung der Raumluft kann es vor allem in kleinen Labors sogar zur Ausbildung eines Überdrucks im System kommen. Eine druckbedingte Filterzerstörung, verbunden mit Austritt der möglicherweise in der Raumluft dispergierten gentechnisch veränderten Organismen, kann nicht mehr ausgeschlossen werden. Im Hinblick auf diesen Tatbestand ist eine schnelle Brandbekämpfung in der frühen Brandentwicklungsphase von großer Bedeutung.

Handelsübliche HEPA (High Efficiency Particulate Air)- und ULPA (Ultra Low Penetration Air)-Filter haben eine maximale Betriebstemperatur von 70°C bis kurzfristig 90°C und eine maximal zulässige relative Luftfeuchtigkeit von 100 %.

Gemäß DIN EN 1822 Teil 1 Schwebstofffilter (HEPA und ULPA) [16] muss die bei der Filterprüfung verwendete Luft folgenden Bedingungen genügen:

Temperatur: $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$

Relative Luftfeuchte: $< 75 \%$

Die Brandraumtemperaturen, die zum Bersten von thermischen Glasfass-Auslöseelementen führen, liegen aufgrund z.B. von Wärmeableitung in das wassergefüllte Rohrnetz und von weiteren sich auf die Wärmebilanz an Auslöseelementen auswirkenden thermischen und strömungsphysikalischen Effekten wesentlich über der Nennauslösetemperatur. Untersuchungen an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik haben gezeigt, dass bei einem Raumbrand die gemessenen Brandrauchtemperaturen bei Auslösung eines Glasfass-Auslöseelementes mit 68°C Nennauslösetemperatur (3 mm-Glasfass, Typ: Fast F3) überwiegend im Bereich zwischen 85°C (bei langsamem Temperaturanstieg) und 140°C (bei schnellem Temperaturanstieg) liegen. Bei größeren Durchmessern wie z. B. bei einem 5 mm-Glasfass wurde in einem Vergleichsversuch 157°C Brandrauchtemperatur bei Auslösung ermittelt. Diese Werte sind jedoch lediglich Beispiele. Die Raumtemperaturen können unter Umständen auch deutlich höher liegen, insbesondere bei sehr rascher Brandentwicklung, da die Temperatur im Auslöseelement der Temperatur der umgebenden Brandrauchströmung „nachläuft“. Dies bedeutet, dass die maximale Betriebstemperatur der Filter bei der Auslösung einer Löschanlage über thermische Glasfass-Auslöseelement je nach dem verwendeten Auslöseelement mit hoher Wahrscheinlichkeit zumindest lokal überschritten werden könnte.

Die maximal zulässige Luftfeuchtigkeit von 100% r. F. bei Hochleistungsschwebstoff-Filtern wird bei jeder Wasserlöschanlage (Sprinkler, Niederdruck-Wassernebel, Hochdruck-Wassernebel) überschritten.

Die Rußbildung beim Brand ist insbesondere dann, wenn die Materialien Flammenschutzmittel enthalten oder wenn es sich um brennbare Flüssigkeiten (Ausnahme z.B. Äthanol) handelt, spezifisch hoch. Hierdurch besteht Verstopfungsgefahr der Filter.

Als Abhilfemaßnahme und vorbehaltlich neuer Erkenntnisse können entsprechend der Stellungnahme der **Projektgruppe „Labortechnik“ (ELATEC)** des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) „Löschanlagen und Löschwasserrückhaltung in Laboratorien der

Sicherheitsstufen S2 und S3“ (Ausgabe Juni 2007) [99] vor den HEPA-Filtern eine Wasserabscheideanlage und ein Grobschmutzfilter angeordnet werden, um die Lüftungsanlage weiter betreiben zu können. Allerdings muss hierbei überprüft werden, ob die gegenwärtige Lüftungsanlage den erforderlichen Unterdruck unter diesen Maßnahmen aufrechterhalten kann. Eine Löschwasserrückhaltung kann bereits in Laboratorien der Sicherheitsstufe S2 dann erforderlich werden, wenn aufgrund des Umgangs mit bestimmten Organismen oder mit deren Menge eine Gefährdung von Menschen, Umwelt, Tieren, Pflanzen und Sachgütern nicht im erforderlichen Umfang ausgeschlossen werden kann.

Das anfallende Löschwasser ist einer Inaktivierung zu unterziehen.

Reichenbacher und Krüger [127] sehen hierzu eine thermische Abwasserinaktivierungsanlage beim Robert-Koch-Institut vor.

Bei **Reichenbacher und Krüger [127]** finden sich ebenfalls Angaben zur Überprüfung von HEPA-Filtern während des Betriebes sowie die Behandlung dieser Filter bei der Entsorgung durch Begasung mit Formaldehyd, der Autoklavierung sowie der Überprüfung der Inaktivierung mit Bioindikatoren.

An dieser Stelle soll auch auf die Liste der vom **Robert-Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und –verfahren [87]** hingewiesen werden.

Bei der Anwendung der aufgeführten Mittel und Verfahren ist deren mikrobiologisches Wirkungsspektrum zu berücksichtigen. Die Wirkungsbereiche sind durch Buchstaben gekennzeichnet; es bedeuten:

- | |
|---|
| <p>A: zur Abtötung von vegetativen Bakterien einschließlich Mykobakterien sowie von Pilzen einschließlich Pilzsporen geeignet</p> <p>B: zur Inaktivierung von Viren geeignet</p> <p>C: zur Abtötung von Sporen des Erregers des Milzbrandes geeignet</p> <p>D: zur Abtötung von Sporen der Erreger von Gasödem und Wundstarrkrampf geeignet (zur Abtötung dieser Sporen müssen Sterilisationsverfahren unter Berücksichtigung der einschlägigen Normen angewendet werden)</p> |
|---|

In der Liste werden sowohl thermische Verfahren wie Verbrennen, Kochen mit Wasser und Dampfdesinfektion als auch chemische Mittel und chemische Verfahren aufgeführt.

Nach **Brunner [133]** hängt die relative Wirksamkeit der Behandlungsverfahren von einer Anzahl von Faktoren ab, einschließlich des Volumens, der Konzentration, der Art und der Gefährlichkeit des Abfalls selbst, des Diffusionswiderstandes des Materials gegenüber der Desinfektion und der Betriebsparameter und –bedingungen des Behandlungsverfahrens. Thermische Verfahren sind im Allgemeinen leichter zu validieren und zu überwachen als eine chemische Behandlung, und sie wirken weniger umweltschädlich. Im Allgemeinen sollte die Dampfsterilisation für Mikroorganismen der Gruppen 2 und 3 vorgezogen werden, und sie ist das geforderte Behandlungsverfahren für Mikroorganismen der Gruppe 4.

Bei der Anwendung der Desinfektionsmittel und –verfahren ist neben der Wirksamkeit auf eine evtl. mögliche Gesundheitsgefährdung (z.B. toxisch, reizend) sowie auf ihre Verträglichkeit mit den zu desinfizierenden Objekten zu achten. Chemische Desinfektionsmittel können brennbar sein (Gefährdung durch Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre) oder stark oxidierend wirken.

Alternative Behandlungsverfahren wie z.B. Mikrowellen, Gamma- und Ultraviolettbestrahlung sind nach **Brunner [133]** gegenwärtig noch nicht für die allgemeine Verwendung validiert und nur begrenzt anwendbar.

Diese Wirksamkeit muss ggf. mit speziellen Verfahren wie Bioindikatoren (z.B. Sporen von bestimmten thermophilen Bakterien wie dem *Geobacillus stearothermophilus*) überprüft werden, die den Sterilisationserfolg bei der Dampfsterilisation in einem Autoklaven durch Farbumschlag anzeigen. Das endgültige Analyseergebnis kann allerdings bis zu 7 Tage dauern.

Bei der Autoklavierung ist z.B. nach **Camfil Containment Workshop [114]** darauf zu achten, dass bei großen Filterbeuteln die erforderliche Kerntemperatur zur Inaktivierung erreicht wird. Weiterhin müssen Filteranlagen für die Wartung leicht zugänglich sein.

Bei Tierstallungen für Großtiere (z.B. Kühe) ist zu gewährleisten, dass Rohrleitungen zur Abführung von Fäkalien ausreichend desinfiziert werden können. Dieses ist insbesondere bei langen Rohrleitungen und der möglichen Verstopfungsgefahr evtl. problematisch. Filteranlagen sollten sich möglichst nah am Labor befinden, da die Begasung zur Desinfizierung von langen Rohrleitungen problematisch ist.

Weiterhin hat eine Überprüfung des Löschwassers auf sonstige toxische und radioaktive Stoffe zu erfolgen.

Im Brandfall ist zu gewährleisten, dass nur Löschwasser in die Abwasserkanäle eingeleitet werden bzw. Rauchgase bzw. Löschgase in die Abluft gelangen dürfen, die die Grenzwerte der **Strahlenschutzverordnung [45]** zum Schutz von Bevölkerung und Umwelt bei Strahlenexposition aus Tätigkeiten nicht überschreiten (Teil 2, Kapitel 3 Abschnitt 4 § 47 Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe und Anlage VII Teil D: Maximal zulässige Aktivitätskonzentrationen aus Strahlenschutzbereichen).

Bei Reparatur oder Wartung der Brandmelde- bzw. Löschanlage ist der Brandschutz ggf. durch eine Brandwache sicherzustellen.

Bei den Umbauarbeiten ist das Merkblatt VdS 2021 „Brandschutz bei Bauarbeiten“ **[171]** zu beachten.

Bei Einsatz von **Löschgas** ist folgendes zu beachten:

Bei jedem Einsatz von Löschgas muss die Dichtigkeit der Räume gewährleistet sein.

Im Brandfall muss auch beim Einsatz von Löschgas der Unterdruck im Labor bei den S3- und S4-Laboren unter allen Umständen gewährleistet werden. Eine Druckentlastung mit Kontamination der Umgebung ist ebenfalls unzulässig. Der Brand muss gleichzeitig mit einer ausreichend schnellen Flutung so bekämpft werden, dass z.B. auch die Filter nicht mit einer unzulässigen Menge an Ruß beaufschlagt werden. Es ist bisher nicht geklärt, wie dies technologisch gelöst werden kann.

Sander [110] schlägt zur Inaktivierung des Brandrauch-/ Löschgas-Aerosols in der Veröffentlichung „Raumluftechnische Anlagen in Bereichen mit besonderen Gefahrenquellen“ eine thermische Nachverbrennung des vor. Diese technologische Umsetzung ist nach bisherigem Kenntnisstand noch nicht erfolgt.

Zu prüfen ist, ob verzögerte Branddetektion durch voreingepögte Ventilationsströmungen im Raum erfolgen kann, die sich aufgrund der Lüftungstechnik (Absaugung) im Labor ergibt. Z.B. hat eine Absaugung im Boden- oder Deckenbereich evtl. einen Einfluss auf die Strö-

mung des Brandrauchs im Labor.

Brandrauchströmungen können durch Lüftungseinflüsse abgelenkt werden und somit zu verspäteter Branddetektion mit der Folge verspäteter Auslösung der Löschanlage führen.

Aus den aus dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnissen ist es daher erforderlich, Brand- und Löschversuche in einer originalgetreuen Laboranordnung mit der entsprechend dort vorhandenen Lüftungstechnik, Brandlast und diversen ortsfesten Löschanlagen durchzuführen.

Die Beurteilung der Funktionsfähigkeit einer Löschanlage ohne Brand reicht hier keinesfalls aus.

Gegenwärtig wird für diese Untersuchungen ein Versuchsraum mit Schleuse in Anlehnung an ein Labor der Sicherheitsstufe S3 an der FFB errichtet.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Derzeit bestehen große Unsicherheiten hinsichtlich der Auslegung von Löschanlagen für mikrobiologische und gentechnische Bereiche, z.B. Labore, Tierstallungen und Produktionsbereiche der höheren Sicherheitsstufen, in denen mit Organismen (z.B. Bakterien, Viren, Pilze) der Risikogruppen S3^{**}-, S3- und S4- gearbeitet wird.

Erhöhte Sicherheitsanforderungen ergeben sich zusätzlich für Labore, wenn diese Organismen dort gentechnisch verändert werden. S3 und S4 Labore werden für den normalen Laborbetrieb mit entsprechenden Lüftungs- und Hochleistungsschwebstoff-Filteranlagen ausgerüstet. Der Unterdruck im Labor muss unter allen Umständen gewährleistet werden. Die Filteranlage muss durch entsprechende Maßnahmen auch im Brand- und Brandbekämpfungsfall ordnungsgemäß funktionieren und darf hierbei weder durch hohe Temperaturen, noch durch Brandrauch oder das Löschmedium beschädigt werden.

In dieser Arbeit wird auf die Risikogruppen der Organismen (Gefährlichkeit der Erreger: minimale Infektionsdosis, Kontagiosität, Manifestationsindex, Inkubationszeit), gezielte und nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (auch im Hinblick auf die Gefährdung von Feuerwehreinsatz- und Rettungskräften durch Infektionen im Einsatz), Druckverhältnisse und Ventilationsbedingungen, unterschiedliche Brandlasten (brennbare Flüssigkeiten und Gase, glutbildende Brandstoffe, wie z.B. Chemikalien, Kühlgeräte, Druckbehälter, Futtermittel, Streu, Kunststoffkäfige, elektronische und elektrische Anlagen (Messtechnik, EDV etc.), Inaktivierung und Desinfektion (Überprüfung der Wirksamkeit, mögliche Gesundheitsgefährdung, Verträglichkeit mit den zu desinfizierenden Objekten) näher eingegangen.

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 ortsfesten Löschanlagen (Sprinkler, Nieder- und Hochdruck-Wassernebel, Inertgase, Halonerstattstoffe, Sauerstoffreduktion) und die Beurteilungskriterien für den Einsatz in diesen Bereichen. Hierzu zählen die Art der Branddetektion, die Löschwirkung, die Wirkung von Alarmierungseinrichtungen und des Löschmittels auf Mensch und Tier insbesondere auch

bei Fehlauflösung, die Löschmittelrückhaltung und die Inaktivierung des ggf. mit Organismen kontaminierten Löschmittels sowie die Wechselwirkungen des Brandrauches und des Löschmittels mit den Hochleistungsschwebstofffiltern.

Aus den aus dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnissen ist es daher erforderlich, Brand- und Löschversuche in einer originalgetreuen Laboranordnung mit der entsprechend dort vorhandenen Lüftungstechnik, Brandlast und diversen ortsfesten Löschanlagen durchzuführen.

Die Beurteilung der Funktionsfähigkeit einer Löschanlage ohne Brand reicht hier keinesfalls aus.

Gegenwärtig wird für diese Untersuchungen ein Versuchsraum mit Schleuse in Anlehnung an ein Labor der Sicherheitsstufe S3 an der FFB errichtet.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Literatur zu		
Gentechnik, biologische Sicherheit, Sicherheitstechnik, radioaktive Strahlung, Feuerwehren im Abc-Einsatz, Löschanlagen und Brandmeldetechnik in gentechnischen Laboren, Medizin		
[1]	BioStoffV [2008]	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) Ausfertigungsdatum: 27.1.1999, zuletzt geändert: 18.12.2008 http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/biostoffv/gesamt.pdf
[2]	GenTSV [2008]	Verordnung über die Sicherheitsstufen und Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnischen Arbeiten in gentechnischen Anlagen (Gentechnik-Sicherheitsverordnung – GenTSV) Ausfertigungsdatum: 24.10.1990, zuletzt geändert: 18.12.2008 http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/gentsv/gesamt.pdf
[3]	GenTAufzV [2008]	Verordnung über Aufzeichnungen bei gentechnischen Arbeiten und bei Freisetzungen (Gentechnik-Aufzeichnungsverordnung – GenTAufzV) Ausfertigungsdatum: 24.10.1990, zuletzt geändert: 28.4.2008 http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/gentaufzv/gesamt.pdf
[4]	GenTNotfV [2008]	Verordnung über die Erstellung von außerbetrieblichen Notfallplänen und über Informations-, Melde- und Unterrichtungspflichten (Gentechnik-Notfallverordnung – GenTNotfV) Ausfertigungsdatum: 10.12.1997, zuletzt geändert: 28.4.2008 http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/gentnotfv/gesamt.pdf
[5]	ZKBSV [2006]	Verordnung über die Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS-Verordnung - ZKBSV) Ausfertigungsdatum: 30.10.1990, zuletzt geändert: 31.10.2006 http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/zkbsv/gesamt.pdf
[6]	Forschungszentrum Karlsruhe [2007]	Projektleiter und Beauftragter für biologische Sicherheit. Kursunterlagen, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 2007 http://www.fortbildung.fzk.de/
[7]	Forschungszentrum Karlsruhe [2007]	Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen. Kursunterlagen, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 2007 http://www.fortbildung.fzk.de/
[8]	FwDV 500 [2004]	Einheiten im ABC-Einsatz Feuerwehrdienstvorschrift 500 (FwDV 500), 2004 http://www.bbk.bund.de/cln_027/nn_402322/DE/06_Fachinformationsstelle/03_Vorschriften_und_Richtlinien/06_Volltext_FwDV/FwDV_20500.templateld=raw.property=publicationFile.pdf/FwDV%20500.pdf

[9]	vfdb-Richtlinie 10/02 [2002]	Feuerwehr im B-Einsatz vfdb-Richtlinie 10/02: 2002-12 (02) vfdb Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Altenberge, 2002 http://vds.de/de/bildungszentrum-verlag/vds-verlag/richtlinien/vfdb-richtlinien/ http://www.beuth.de/langanzeige/vfdb+10%2F02/de/95264343.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[10]	vfdb-Richtlinie 08/06 [2006]	Auswahl von Schutzanzügen gegen Infektionserreger für Einsatz- aufgaben bei den Feuerwehren vfdb Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Altenberge, 2006 http://www.beuth.de/langanzeige/vfdb+08%2F06/de/99571004.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[11]	Eckwertepapier [2002]	Eckwertepapier zum Brandschutz in gentechnischen Anlagen vom 23. Oktober 2002 (MBI. Nr. 59 vom 29.11.2002 S. 1206) Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, NRW, Ministerium für Arbeit und Soziales, Qualifikation und Technologie, NRW, Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport, NRW https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=1&gld_nr=7&ugl_nr=7137&bes_id=3082&val=3082&ver=7&sg=2&aufgehoben=N&menu=1
[12]	Fachkoordinierungsstel- le Umwelttechnik des Landes Niedersachsen [2001]	Gentechnische Anlagen – Technische Anforderungen. Fachkoordinierungsstelle Umwelttechnik des Landes Niedersach- sen, Clausthal-Zellerfeld , 2001 http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/7343
[13]	BBK, RKI [2007]	Biologische Gefahren I - Handbuch zum Bevölkerungsschutz 3. Auflage, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophen- hilfe, Robert-Koch-Institut, Bonn, Berlin 2007 http://www.bbk.bund.de/nn_398726/DE/05_Publikationen/05_Fachpublikationen/05_Sonderpublikationen/Sonderpublikationen_node.html_nnn=true
[14]	BBK, RKI [2007]	Biologische Gefahren II - Entscheidungshilfe zu medizinisch an- gemessenen Vorgehensweisen in einer B-Gefahrenlage 1. Auflage, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophen- hilfe, Robert-Koch-Institut, Bonn, Berlin 2007 http://www.bbk.bund.de/nn_398726/DE/05_Publikationen/05_Fachpublikationen/05_Sonderpublikationen/Sonderpublikationen_node.html_nnn=true
[15]	BBK [2005]	Biologische Gefahren – Beiträge zum Bevölkerungsschutz, 2. Auflage, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophen- hilfe, Bonn 2005 http://www.bbk.bund.de/nn_398726/DE/05_Publikationen/05_Fachpublikationen/05_Sonderpublikationen/Sonderpublikationen_node.html_nnn=true

[16]	DIN EN 1822 Teile 1, 2, 3, 4, 5 [2008]	<p>Schwebstofffilter (HEPA und ULPA) Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung, Norm-Entwurf 2008-04 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+1822-1/de/106275760.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN</p> <p>Teil 2: Aerosolerzeugung, Messgeräte, Partikelstatistik, Norm-Entwurf 2008-04 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+1822-2/de/106603197.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN</p> <p>Teil 3: Prüfung des planen Filtermediums Norm-Entwurf 2008-04 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+1822-3/de/106275786.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN</p> <p>Teil 4: Leckprüfung des Filterelementes (Scan-Verfahren) Norm-Entwurf 2008-04 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+1822-4/de/106603777.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN</p> <p>Teil 5 : Abscheidegradprüfung des Filterelementes Norm-Entwurf 2008-04 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+1822-5/de/107248012.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN</p> <p>Beuth Verlag GmbH, Berlin http://www.beuth.de/</p>
[17]	DIN 1946-7 [2009]	<p>Raumluftechnik – Teil 7: Raumluftechnische Anlagen in Laboratorien Beuth Verlag GmbH, Berlin, Juli 2009 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+1946-7/de/117465479.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN http://www.beuth.de/</p>
[18]	DIN EN 12128 [1998]	<p>Biotechnik – Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse Sicherheitsstufen mikrobiologischer Laboratorien, Gefahrenbereich, Räumlichkeiten und technische Sicherheitsanforderungen Beuth Verlag GmbH, Berlin, Mai 1998 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+12128/de/4534069.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN http://www.beuth.de/</p>
[19]	DIN 12924-Teil 3 Entwurf [2010]	<p>Laboreinrichtungen – Abzüge Durchreichabzüge Beuth Verlag GmbH, Berlin, Januar 2010 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+12924-3/de/124128066.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN http://www.beuth.de/</p>
[20]	DIN EN 12740 [1999]	<p>Biotechnik - Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse Leitfaden für die Behandlung, Inaktivierung und Prüfung von Abfällen Beuth Verlag GmbH, Berlin, Oktober 1999 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+12740/de/19809112.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN http://www.beuth.de/</p>

[21]	DIN EN 12461 [1998]	Biotechnik – Verfahren im Großmaßstab und Produktion Leitfaden zur Handhabung, Inaktivierung und Prüfung von Abfall Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 1998 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+12461/3367431.html http://www.beuth.de/
[22]	DIN EN ISO 14698-1, - 2 [2004]	Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche - Biokontaminationskontrolle Teil 1: Allgemeine Grundlagen http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+ISO+14698-1/de/64079430.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2004 Teil 2: Auswertung und Interpretation von Biokontaminationsdaten Auswertung http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+ISO+14698-2/de/64079469.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN DIN EN ISO 14698-2 Berichtigung 1:2010-07 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+ISO+14698-2+Berichtigung+1/de/131891335.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN Beuth Verlag GmbH, Berlin, Februar 2004 http://www.beuth.de/
[23]	DIN EN 14470-1, -2 [2004]	Feuerwiderstandsfähige Lagerschränke Teil 1: Sicherheitsschränke für brennbare Flüssigkeiten Beuth Verlag GmbH, Berlin, Januar 2004 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+14470-1/de/67591422.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN Teil 2: Sicherheitsschränke für Druckgasflaschen Beuth Verlag GmbH, Berlin 2006-11 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+14470-2/de/88969470.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN http://www.beuth.de/
[24]	Institut für Medizinische Biometrie [2009]	InfluSim – Programm zur Visualisierung einer Influenza-Epidemie Institut für Medizinische Biometrie, Universität Tübingen, 2009 http://www.uni-tuebingen.de/modeling/Mod_Pub_Software_de.html
[25]	BBK [2010]	Katastrophenmedizin – Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall, 5. überarbeitete Auflage, Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern, Bonn, München 2010 http://www.bbk.bund.de/nn_402322/DE/03_Aktuelles/01_Meldungen/Nachrichten/2010/20051030_Schutzkom_neuer_Leitf_KatMed.html
[26]	BVA [2001]	Kehren die Seuchen zurück? (Neue) Gefahren durch biologische Kampfstoffe, Workshop I., Bundesverwaltungsamt, Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AkNZ), Deutsche Gesellschaft für Katastrophenmedizin e.V. (DGKM e.V.), Bonn-Bad Godesberg, 2001 http://www.denis.bund.de/dokumente/01693/index.html?567

[27]	BVA [2002]	<p>Kehe ren die Seuchen zuru ck? (Neue) Gefahren durch biologische Kampfstoffe, Workshop II., Bundesverwaltungsamt, Akademie fu r Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AkNZ), Deutsche Gesellschaft fu r Katastrophenmedizin e.V. (DGKM e.V.), Bonn-Bad Godesberg, 2002</p> <p>http://www.denis.bund.de/themenspecial/02094/index.html</p>
[28]	BBK [2005]	<p>Problemstudie: Risiken fu r Deutschland, Teil 1 Bundesamt fu r Bev olkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Akademie fu r Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz, Bad Neuenahr-Ahrweiler, 2005</p> <p>http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Publikationen/Wissenschaftsforum/Risiken-fuer-D_Teil1,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/Risiken-fuer-D_Teil1.pdf</p>
[29]	BBK [2005]	<p>Problemstudie: Risiken fu r Deutschland, Teil 2 Bundesamt fu r Bev olkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Akademie fu r Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz, Bad Neuenahr-Ahrweiler, 2005</p> <p>http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Publikationen/Wissenschaftsforum/Risiken-fuer-D_Teil2,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/Risiken-fuer-D_Teil2.pdf</p>
[30]	Wirtz, A., Gottschalk, R., Weber, H.-J.: [2003]	<p>Management biologischer Gefahren – U berlegungen notwendigen Infrastruktur in L andern und Kommunen. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2003</p> <p>http://www.springerlink.com/content/va29x5crdjfyt1db/fulltext.pdf</p>
[31]	BBK [2006]	<p>Dekontamination Verletzter. Bundesamt fu r Bev olkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Sonderausgabe, Bonn 2006</p> <p>http://www.bbk.bund.de/cln_027/nn_1069804/SharedDocs/Publikationen/Publ_magazin/Sonderausgabe/Dekontamination_Verletzter,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/Dekontamination_Verletzter.pdf</p>
[32]	BBK [2009]	<p>Dekontamination von Verletzten im Krankenhaus bei ABC-Gefahrenlagen. Bundesamt fu r Bev olkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Sonderausgabe, Bonn 2009</p> <p>http://www.bevoelkerungsschutz.de/cln_090/DE/03_Informationsmaterial/01_Handb_C3_BCcher/001_DekonV/DekonV,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/DekonV.pdf</p>
[33]	BBK [2010]	<p>Empfehlungen fu r die Probenahme zur Gefahrenabwehr im Bev olkerungsschutz – Zur Analytik von chemischen, biologischen und radioaktiven Kontaminationen Bundesamt fu r Bev olkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Sonderausgabe, Bonn 2010</p> <p>http://www.bbk.bund.de/nn_398010/SharedDocs/Publikationen/Publikationen_20Forschung/FiB_Band5,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/FiB_Band5.pdf</p>

[34]	BMELV [2010]	Gentechnik. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Bonn, Berlin 2010 http://www.bmelv.de/cln_163/DE/Service/Gesetze-Verordnungen/gesetze-verordnungen_node.html?lv2=466922
[35]	BVL [2010]	Gentechnik. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Braunschweig, 2010 http://www.bvl.bund.de/cln_027/nn_495478/DE/06_Gentechnik/gentechnik_node.html_nnn=true
[36]	ZKBS [2010]	Zentrale Kommission für biologische Sicherheit Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit http://www.bvl.bund.de/nn_495478/DE/06_Gentechnik/093_ZKBS/gentechnik_zkbs_node.html_nnn=true
[37]	RKI [2010]	Robert Koch Institut Epidemiologisches Bulletin, Gesamtliste Berlin, 2010 http://www.rki.de/ http://edoc.rki.de/browsing/configurations/rki_bulletin/
[38]	PEI [2010]	Paul-Ehrlich-Institut Bundesamt für Sera und Impfstoffe Langen, 2010 http://www.pei.de/
[39]	BNI [2010]	Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin – Abteilung für Virologie, Hamburg 2010 http://www.bni-hamburg.de/
[40]	ABAS [2010]	Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe – ABAS Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund, 2010 http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Biologische-Arbeitsstoffe/ABAS/ABAS.html_nnn=true
[41]	Biotechnologie [2010]	Biotechnologie.de auf Initiative des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin 2010 http://www.biotechnologie.de/
[42]	bioSicherheit [2010]	Biosicherheit – Gentechnik - Pflanzen - Umwelt Projektverbund Kommunikationsmanagement in der Biologischen Sicherheitsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), 2010 http://www.biosicherheit.de/de/
[43]	SGD Süd [2010]	Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd Gewerbeaufsicht Neustadt/Pfalz, 2010 http://www.sgdsued.rlp.de/icc/Internet/nav/a23/a237070e-e3fe-2911-fe08-7d352700266c.htm

[44]	Brill, V.; Woithe, M.: [2005]	Mikrobiologische Laboratorien der Sicherheitsstufe S1 – S 4 mit der Auslegung einer RLT- Anlage in einem S3-Bereich und dem Vergleich der DIN- , EN- und ASHRAE-Normen bei der Auslegung Diplomarbeit, Fachhochschule Münster, Fachbereich Energie – Gebäude – Umwelt und Ingenieurbüro agn, Ibbenbüren, 2005 http://www.agn.de/pdf/veroeff/diplomarbeit-brill.pdf
[45]	StrlSchV [2008]	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) Ausfertigungsdatum: 20.07.2001, zuletzt geändert: 29.8.2008 http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/strlschv_2001/gesamt.pdf
[46]	Miska, H.: [1991]	Strahlenschutz Brandhilfe 4/91, S. 102 – 105
[47]	Kemper, H.: [2006]	Grundlagen des ABC-Einsatzes. Fachwissen Feuerwehr Ecomed Sicherheit, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, Landsberg/Lech, 2006
[48]	StMUGV [2010]	Gentechnik.bayern.de Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München 2010 http://www.stmug.bayern.de/umwelt/gentechnik/index.htm
[49]	Johanniter-Unfall-Hilfe e.V. [2007]	Biologische Gefahrenlagen – Leitfaden für Rettungs- und Einsatzdienste bei Ereignissen mit biologischen Gefahrstoffen Johanniter-Unfall-Hilfe e.V., Berlin 2007
[50]	Metzger, N., A.: [1999]	Bewertungsschema für die Beurteilung baulicher Anlagen mit biologischen Arbeitsstoffen. VFDB 4/99, S. 180 -185
[51]	Löwe, C.: [2002]	Brandschutz in Bio-Anlagen. Brandschutz – Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 5/2002, S. 441 – 446
[52]	Lange, K., Witte, A.: [1994]	Gentechnik – Maßnahmen des vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzes Brandschutz – Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 6/1994, S. 364 – 369
[53]	Lange, C.: [2008]	B-Einsatz: Biologische Arbeitsstoffe aus Sicht der Feuerwehr. Brandschutz – Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 12/2008, S. 923 – 930
[54]	Wickert, L., Holzapfel, B.: [2008]	B-Einsatz Die Roten Hefte, Band 91, W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 2008
[55]	U.S. Department of Health and Human Services [2009]	Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories. U.S. Department of Health and Human Services – Public Health Service – Public Health Service –Centers for Disease Control and Prevention and National Institute of Health, Fifth Edition, Washington, 2009 http://www.cdc.gov/biosafety/publications/bmb15/BMBL.pdf

[56]	WHO [2004]	Laboratory Biosafety Manual. Third Edition (Revised), World Health Organization, Genf 2004 http://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/Biosafety7.pdf
[57]	ASU [2010]	Biosafety Manual Arizona State University - Department of Environmental Health & Safety Current Revision January 2010 http://www.asu.edu/uagc/EHS/documents/biosafetymanual.pdf
[58]	TRBA 001 [2007]	Allgemeines und Aufbau des Technischen Regelwerkes zur Bio- stoffverordnung - Anwendung von Technischen Regeln für Biolo- gische Arbeitsstoffe Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, November 2007 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673110/publicationFile/48580/TRBA-001.pdf
[59]	TRBA 100 [2006]	Schutzmaßnahmen für gezielte und nicht gezielte Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dezember 2006 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673098/publicationFile/48545/TRBA-100.pdf
[60]	TRBA 120 [2000]	Versuchstierhaltung. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Mai 2000 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673070/publicationFile/48581/TRBA-120.pdf
[61]	GV Solas [2004]	Tiergerechte Haltung von Laborratten, Gesellschaft für Versuchstierkunde, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, 2004, http://www.gv-solas.de/auss/hal/rattenhaltung.pdf
[62]	Schleif, O.: [2001]	Ein Beitrag zur tiergerechten Haltung der Ratte anhand der Litera- tur. Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, 2001, http://elib.tiho-hannover.de/dissertations/schleifo_2001.pdf
[63]	VdS 3449 [2009]	<i>Intensiv-Tierhaltungen - Konzepte für Alarmierungseinrichtungen in Stallanlagen</i> VdS 3449: 2009-06, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln
[64]	GV Solas	Informationen zur Erstellung transgener Labortiere und Empfeh- lung zur tierschutzrechtlichen Wertung. Gesellschaft für Versuchstierkunde, Stiftung Tierärztliche Hoch- schule Hannover http://www.gv-solas.de/auss/gen/gen-p1.pdf

[65]	TRBA 212 [2003]	Thermische Abfallbehandlung: Schutzmaßnahmen Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Oktober 2003 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673044/publicationFile/48582/TRBA-212.pdf
[66]	TRBA 213 [2005]	Abfallsammlung: Schutzmaßnahmen Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Mai 2005 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673036/publicationFile/48583/TRBA-213.pdf
[67]	TRBA 214 [2007]	Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, April 2007 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673026/publicationFile/48584/TRBA-214.pdf
[68]	TRBA 220 [2002]	Sicherheit und Gesundheit bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in abwassertechnischen Anlagen. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Mai 2002 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673018/publicationFile/48585/TRBA-220.pdf
[69]	TRBA 230 [2007]	Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Land- und Forstwirtschaft und vergleichbaren Tätigkeiten. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, November 2007 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673010/publicationFile/48544/TRBA-230.pdf
[70]	TRBA 240 [2003]	Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit mikrobiell kontaminiertem Archivgut. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de März 2003 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/673000/publicationFile/48586/TRBA-240.pdf
[71]	TRBA 250 [2007]	Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrtspflege. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, November 2003, Änderung und Ergänzung November 2007 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672990/publicationFile/47839/TRBA-250.pdf

[72]	TRBA 310 [1998]	Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach Anhang VI Gentechnik-Sicherheitsverordnung. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, April 1997, Änderung und Ergänzung 1998 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672978/publicationFile/48588/TRBA-310.pdf
[73]	TRBA 400 [2006]	Handlungsanleitung für Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, April 2006 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672970/publicationFile/48543/TRBA-400.pdf
[74]	TRBA 405 [2006]	Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für luftgetragene Biologische Arbeitsstoffe. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Mai 2001, Änderung und Ergänzung Juli 2006 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672948/publicationFile/48591/TRBA-405.pdf
[75]	TRBA/TRGS 406 [2008]	Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Juni 2008 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/666074/publicationFile/47928/TRGS-TRBA-406.pdf
[76]	TRBA 450 [2004]	Einstufungskriterien für Biologische Arbeitsstoffe. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Juni 2000 mit Ergänzungen 2002 und 2004, http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672936/publicationFile/48542/TRBA-450.pdf
[77]	TRBA 460 [2002]	Einstufung von Pilzen in Risikogruppen. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Oktober 2002 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672914/publicationFile/48592/TRBA-460.pdf
[78]	TRBA 462 [1998, 2005, 2006]	Einstufung von Viren in Risikogruppen. Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de August 1998 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672902/publicationFile/48593/TRBA-462.pdf Beschluss des ABAS zur Einstufung der hochpathogenen aviären Influenzaviren (HPAI) www.baua.de, Mai 2006 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672904/publicationFile/48578/HPAI.pdf Einstufung von SARS-assoziierten Coronaviren (SARS-CoV) www.baua.de, Juni 2005 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672906/publicationFile/48579/SARS-Coronaviren.pdf

[79]	TRBA 464 [2002]	Einstufung von Parasiten in Risikogruppen Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Oktober 2002 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672894/publicationFile/48594/TRBA-464.pdf
[80]	TRBA 466 [2005]	Einstufung von Bakterien (Bacteria) und Archaeobakterien (Archaea) in Risikogruppen Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Dezember 2005 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672886/publicationFile/48595/TRBA-466.pdf
[81]	TRBA 500 [1999]	Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, www.baua.de, Juni 1999 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/672878/publicationFile/48596/TRBA-500.pdf
[82]	LGL [2010]	Arbeitsmedizin - Zoonosen Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit http://www.lgl.bayern.de/arbeitschutz/arbeitsmedizin/index.htm
[83]	LGL [2006]	Biostoffverordnung – Ratgeber für Arbeitgeber und Beschäftigte. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Erlangen 2006 http://www.verwaltung.bayern.de/Anlage3810071/Biostoffverordnung.pdf
[84]	BVL [2001], [2010]	Liste risikobewerteter Spender- und Empfängerorganismen für gentechnische Arbeiten. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Braunschweig, Berlin 2001 Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Braunschweig, Berlin 2010 http://www.bvl.bund.de/cIn_007/nn_491872/DE/06_Gentechnik/00_doks_downloads/06_Register_Datenbanken/organismenliste,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/organismenliste.pdf
[85]	Robert-Koch-Institut [2007]	Falldefinitionen des Robert Koch-Instituts zur Ermittlung von Erkrankungs- oder Todesfällen und Nachweisen von Krankheitserregern. RKI, Berlin, 2007 http://www.rki.de/cIn_160/nn_200710/DE/Content/Infekt/IfSG/Falldefinition/Falldefinition,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/Falldefinition.pdf
[86]	Robert-Koch-Institut [2006]	Steckbriefe seltener und importierter Infektionskrankheiten. Robert-Koch Institut, www.rki.de, Berlin 2006 http://www.rki.de/cIn_100/nn_494674/DE/Content/InfAZ/Steckbriefe/Steckbriefe_120606,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/Steckbriefe_120606.pdf

[87]	Robert-Koch-Institut [2007]	Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren (15. Ausgabe, 31.5.2007) Robert-Koch Institut, www.rki.de, Berlin 2007
		http://www.rki.de/clin_151/nn_200706/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Desinfektionsmittel/Desinfektionsmittelliste,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Desinfektionsmittelliste.pdf
		<p>Nachtrag zur Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren (15. Ausgabe) Stand: 19. November 2009</p> http://www.rki.de/clin_178/nn_200706/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Desinfektionsmittel/Nachtrag_Li,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Nachtrag_Li.pdf
[88]	Robert-Koch-Institut [2004]	Anforderungen an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 1, 2004, S. 51 - 61 Robert-Koch Institut, www.rki.de, Berlin 2004
		http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Kommission/Downloads/Flaeche_Rili,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Flaeche_Rili.pdf
[89]	Braun, G., Luh, V. ; Quaiser, J.: [2005]	Keime mit Volldampf abtöten. Cav 3/2005, S. 94 – 95
[90]	Schlenger, R.: [2009]	Desinfektion: Infektionen im Keim ersticken. Deutsche Apotheker Zeitung, Nr.41, 8.10.2009 S. 54 – 57
[91]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [2002]	Richtlinie über die ordnungsgemäße Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes – Stand Januar 2002 http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/abfallentsorgung_richtlinie_laga.pdf
[92]	LUK NRW, StAfA Coesfeld [2005]	Handlungshilfe „Gefährdungsbeurteilung gemäß Biostoffverordnung in Sektionsbereichen von Veterinäruntersuchungsämtern“ Landesumfallkasse Nordrhein-Westfalen, Staatliches Amt für Arbeitsschutz Coesfeld, 2005 http://www.arbeitsschutz.nrw.de/pdf/themenfelder/handlungshilfe_veterinaeruntersuchungsaeamter.pdf
[93]	StMUGV [2004]	Grüne Gentechnik – Chancen und Risiken für Verbraucher und Umwelt Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München 2004
[94]	Grössler, M.: [2005]	Gefahr Gentechnik – Irrweg und Ausweg. Concord Verlag Mariahof, Graz 2005
[95]	Schmatz, H.; Nöthlichs, M.: [2010]	Sicherheitstechnik digital Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2010

[96]	TRGS 526 [2008]	Technische Regeln für Gefahrstoffe – Laboratorien Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2008, http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/665874/publicationFile/47894/TRGS-526.pdf
[97]	Schulz-Forberg, B.; Kraus, K.: [1990]	Transport- und Lagerbehälter für radioaktive Stoffe - Übereinstimmung mit den Sicherheitsanforderungen. Schadenprisma 1/90, S. 13 - 20
[98]	TRbF 20 [2001]	Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten – Lager (TRbF 20), März 2001
[99]	ABAS, ELATEC [2007]	Löschanlagen und Löschwasserrückhaltung in Laboratorien der Sicherheitsstufen S2 und S3. Stellungnahme der Projektgruppe Labortechnik, Frankfurt a. M., Juni 2007 http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/678944/publicationFile/49648/Loeschanlagen.pdf
[100]	Knappertsbusch, V.; Beard, A.; Zimmer, M.; Seifert, U.: [1998]	Brandschutz in gentechnischen Anlagen höherer Sicherheitsstufen., VFDB- Zeitschrift, 3/98, S. 124 – 129
[101]	Krug, M.; Schicht, B.: [1995]	Gefährdungspotentiale durch biologische Agenzien am Arbeitsplatz und in der Umwelt. TÜ, Bd. 36 (1995), Nr. 5 – Mai, S. 197 – 203
[102]	Metzger, N. A.: [1999]	Bewertungsschema für die Beurteilung baulicher Anlagen mit biologischen Arbeitsstoffen. VFDB- Zeitschrift, 4/99, S. 180 – 185
[103]	Jäckel, R.: [1994]	Arbeitsbedingte Erkrankungen durch biologische Arbeitsstoffe. Sichere Arbeit 6/1994, S. 35 – 40
[104]	Gabler, W.: [2000]	Immer wichtiger: Einsatzhygiene im Feuerwehrdienst. Feuerwehr Kurier, 1/2000, S. 7 – 11
[105]	Farrenkopf, D.: [1981]	Giftmüll im Klinikum – Umweltskandal! Großeinsatz für die Feuerwehr Brandschutz / Deutsche Feuerwehrzeitung 7/1981, S. 246 – 247
[106]	Petter, F.: [1995]	Biologische Arbeitsstoffe aus der Sicht der Feuerwehr. Brandschutz / Deutsche Feuerwehrzeitung 1/1995, S. 49 – 55
[107]	Petter, F.: [1992]	Biologische Gefahren im Feuerwehreinsatz. Blaulicht 3/92, S. 10 – 12
[108]	Langenohl, E.; Hesel, D.; Düvell-Langenohl, A: [1992]	Überwachung gentechnischer Anlagen.- Teil 1, TÜ Bd. 33 (1992) Nr. 9, S. 317 -322
[109]	Langenohl, E.; Hesel, D.; Düvell-Langenohl, A: [1992]	Überwachung gentechnischer Anlagen.- Teil 2, TÜ Bd. 33 (1992) Nr. 10, S. 363 -367

[110]	Sander, M.: [2004]	Raumlufttechnische Anlagen in Bereichen mit besonderen Gefahrenquellen. s+s report 5/2004, S. 19 – 25
[111]	Trox GmbH [2010]	Firmenprospekte der Gebrüder Trox GmbH, Neukirchen-Vluyn, 2010, http://www.trox.de/de/
[112]	HS-Luftfilterbau [2010]	Firmenprospekte der Firma HS-Luftfilterbau GmbH, Kiel, 2010, www.hs-luftfilterbau.de
[113]	Camfil KG [2010]	Firmenprospekte der Firma Camfil KG, Reinfeld 2010 http://www.camfilfarr.com
[114]	Camfil KG [2010]	Containment Workshop 2010, Tagungsunterlagen Lübeck, 16. – 17 Juni 2010
[115]	Miska, H.: [1991]	Strahlenschutz. Brandhilfe 4/1991, S. 102 – 105 (Fortsetzung aus Heft 3/91)
[116]	StMUGV [2006]	Radioaktivität und Strahlungsmessung. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz 8. überarbeitete Auflage, München 2006
[117]	StMUGV [2006]	Radioaktivität, Röntgenstrahlung und Gesundheit. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz München 2006 http://www.bestellen.bayern.de/application/stmugv_app000000?SID=478476514&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:stmugv_stra_00005,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29=X
[118]	Meyer, P.: [1984]	Richtlinien für den Vorbeugenden Brandschutz in Anlagen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen- Eine Begründung aus der Sicht des Strahlenschutzes. VFDB 3/84, S. 112 – 116
[119]	Zilch, G.: [1984]	Richtlinien für den Vorbeugenden Brandschutz in Anlagen zum Umgang mit radioaktiven Stoffen- Eine Begründung aus der Sicht des Strahlenschutzes. VFDB 3/84, S. 116 – 118
[120]	Bayer. Staatsministerium des Innern [1980]	Richtlinien für den Einsatz von Feuerwehren an strahlengefährdeten Einsatzstellen. Bekanntmachung des Bayer. Staatsministeriums des Innern vom 14.11.1979, Brandwacht 10/80, S. 213 – 220
[121]	Zimmermann, G.; Florstedt, M.: [1983]	Schutzkleidung für den Feuerwehreinsatz bei besonderen Gefahrenlagen. Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 7/1983, S. 192 – 195
[122]	Bauer, A.: [2004]	Die Irrtümer der Gentechnologie. Umweltnachrichten. Informationsbrief des Umweltinstitut München e.V., www.umweltinstitut.org Heft 100, 19. Jahrgang, Nr. 2, Nov. 2004, S. 20 – 21
[123]	Bauer, A.:	Pharma-Pflanzen mit menschlichen oder tierischen Genen.

	[2004]	Umweltnachrichten. Informationsbrief des Umweltinstitut München e.V. www.umweltinstitut.org Heft 100, 19. Jahrgang, Nr. 2, Nov. 2004, S. 26 – 29
[124]	Mommsen H.: [1990]	Der Gesundheits-Brockhaus. 4. Auflage, Mannheim 1990
[125]	Bogenberger S., et al.:	Lexikon Medizin 3. Auflage, Verlag Urban & Schwarzenberg, München
[126]	Hommel G.: [1999]	Handbuch der gefährlichen Güter. 9. Auflage Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1999
[127]	Reichenbacher, D., Krüger, D.: [2009]	Kostenaspekte bei Planung und Betrieb von biologischen Hochsicherheitslaboratorien. TÜ Bd. 50, Nr. 3, 2009
[128]	Richter, S.: [2009]	Schnelltest-/Screening-Methoden zum Nachweis von biologischen Kampfstoffen/ Krankheitserregern – Studie Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 2009 http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Feuerwehr/IdF_dokumente/Kontextmen%C3%BC/Biodetektion_IdF_Sachsen-Anhalt_2008.pdf
[129]	Makulla, D.: [2009]	Die lufttechnische Versorgung und Druckhaltung in Hochsicherheitslaboren, BHKS-Almanach 2009 Bundesindustrieverband Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik / Technische Gebäudesysteme e.V., Bonn 2009 http://www.bhks.de/almanach/2009/028-035.pdf
[130]	Schoofs, S.:	Forschung unter Druck Marburger UniJournal 30, Mai 2008 http://www.uni-marburg.de/aktuelles/unijournal/mai2008/20
[131]	Labor Spiez:	Das Sicherheitslabor VBS: Ein Eckpfeiler des nationalen B-Schutzes Glove-Box als Sicherheitslabor im Miniformat Geschäftsbericht 2003 Labor Spiez - schweizerische Fachinstitut für den Schutz vor atomaren, biologischen und chemischen (ABC) Bedrohungen und Gefahren. http://www.labor-spiez.ch/de/dok/ge/pdf/GB_2003_d.pdf
[132]	Fock, R. et al.:	Schutz vor lebensbedrohenden importierten Krankheiten Robert-Koch Institut, www.rki.de, Berlin 200 http://www.rki.de/cln_160/nn_200238/DE/Content/Infekt/Biosicherheit/Management/Patientenversorgung/alarm,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/alarm.pdf
[133]	Brunner, A.:	Luftfilter in Biosicherheitsanlagen – Planung, Handhabung und Entsorgung Wallisellen-Zürich, 2003 http://www.bht.ch/de/pdf/publikationen/Biosicherheitsanlagen_030721-Bru.pdf
[134]	GenTG	Gesetz zur Regelung der Gentechnik

[2009]

(Gentechnikgesetz - GenTG)

Ausfertigungsdatum: 20.06.1990, zuletzt geändert: 29.7.2009

<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gentg/gesamt.pdf>

Literatur zu

Brand- und Rauchausbreitung (allgemein), Brandbekämpfung (allgemein), Löschanlagen (allgemein), Brandmeldetechnik (allgemein)

[135]	VdS 2095 [2010]	VdS-Richtlinien für automatische Brandmeldeanlagen. Planung und Einbau. VdS 2095: 2010-05, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2095/de/132981128.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[136]	VdS CEA 4001 [2008]	VdS CEA-Richtlinien für Sprinkleranlagen. Planung und Einbau. VdS CEA 4001: 2008-11 VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+CEA+4001/de/115331554.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[137]	VdS 2160 [2000]	VdS- Richtlinien für Sprinkleranlagen. Glasfassauslöseelemente-Anforderungen und Prüfmethode.. VdS 2160: 2000-05, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2160/de/36740419.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[138]	VdS 2109 [2002]	VdS-Richtlinien für Sprühwasserlöschanlagen. Planung und Einbau. VdS 2109: 2002-06, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2109/de/58136082.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN Ergänzung S1: Übergangsregelung SP 1/2005 zu VdS 2109:2002-06 http://www.beuth.de/cn/d29ya2Zsb3duYW1IPXNob3dBZW5kZXJEdXJjaCZhcnpZD01ODEzNjA4MiZsYW5ndWFnZWlkPWRI.html
[139]	ANSI / FM 5560 [2007]	American National Standard Water Mist Systems ANSI / FM 5560, FM Approvals, Boston, 2007 http://www.fmglobal.com/assets/pdf/fmapprovals/5560ansi.pdf
[140]	NFPA 750 [2010]	Standard on Water Mist Fire Protection Systems. National Fire Protection Association (NFPA) Massachusetts, 2010 http://www.nfpa.org/aboutthecodes/AboutTheCodes.asp?DocNum=750

[141]	DIN CEN/TS 14972 [2008]	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Feinsprüh-Löschanlagen – Planung und Einbau, Vornorm Beuth Verlag GmbH, Berlin, November 2008 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+CEN%2FSTS+14972/de/103504260.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[142]	Allianz Risiko Service [1994]	Brand- und Löschversuche an EDV-Anlagen Sonderdruck des Allianz Risiko Service, ABS-SD 6, München 1994
[143]	Schildhauer, P.: [2002]	Wasserdampf als Löschmittel für Schaltschränke Zwischenergebnisse eines ersten Teilprojekts Allianz Report 2/2002, S. 99 – 102
[144]	Dortmann, H.-D.: [1997]	Kabelkanal-Schutz mit Wasserdampf-Löschanlage. Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung 10/1997, S. 801 – 804
[145]	Liu, Z.; Kim, A., K.: [2001]	A Review of Water Mist Fire Suppression Technology: Part II – Application Studies Journal of Fire Protection Engineering, 2001 http://jfe.sagepub.com/cgi/reprint/11/1/16
[146]	Factory Mutual International: [1990]	Protecting high-value computer systems Fire Prevention 228, April 1990, S. 17 – 20
[147]	Mawhinney, J.R.: [1996]	Findings of Experiments using Water Mist for Fire suppression in an electronic equipment room Halon Options Technical Working Conference, May 7-9, 1996 (NMERI) http://www.bfrl.nist.gov/866/HOTWC/HOTWC2006/pubs/R0001214.pdf
[148]	Loibl, P.: [2000]	Brandschutz für Server und EDV Protector 11/2000, S. 18 – 19
[149]	Schlosser, I.: [2006]	Löschanlagen für elektrische und elektronische Bereiche VdS-Fachtagung Brandschutz in elektrischen Anlagen, Köln 2006
[150]	Tewarson, A.: [2003]	Characterization of the fire environments in central offices of the telecommunications industry. Fire and Materials, 2003; 27, S. 131 – 149
[151]	Krüger, A.: [1958]	Sprühwasserlöschanlagen für Freilufttransformatoren. VFDB Zeitschrift, 7. Jahrgang, Heft 3, 1958, S. 86 – 94
[152]	Krüger, A.; Radosch, R.: [1956]	Wasserzerstäubung im Strahlrohr. Forschungsstelle für Feuerlöschtechnik an der Technischen Hochschule Karlsruhe, Forschungsbericht Nr. 329 des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen, 1956 http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/Krueger_Radosch_Wasserzerstaebung_im_Strahlrohr.pdf

[153]	DIN EN 50186, VDE 0143 [1999]	DIN EN 50186-1, VDE 0143 Teil 1 Abspritzeinrichtungen für Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV Teil 1: Allgemeine Anforderungen VDE-Verlag, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Januar 1999 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+EN+50186-1%3B+VDE+0143-1%3A1999-01/de/3358075.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[154]	Mutschmann, J.; Stimmelmayer, F.: [1995]	Taschenbuch der Wasserversorgung, 11. Auflage, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co, Stuttgart, 1995
[155]	Is-ergebau [1992]	Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (LÖRÜRL) - Fassung August 1992 http://www.is-ergebau.de/
[156]	VdS 2091 [1999]	Erhaltung der Betriebsbereitschaft von Wasserlöschanlagen. Merkblatt zur Schadenverhütung. VdS 2091: 1999-03 (03), VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2091/de/107825821.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[157]	VdS CEA 4020 [2009]	VdS CEA-Richtlinien für Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA).- Natürliche Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (NRA). VdS CEA 4020: 2009-10), VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+CEA+4020/de/123327409.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[158]	VdS 2093 [2009]	Richtlinien für CO ₂ -Feuerlöschanlagen. Planung und Einbau VdS 2093: 2009-06, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2093/de/120548805.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[159]	Angelino, G., Invernizzi, C.: [2003]	Experimental investigation on the thermal stability of some new zero ODP refrigerants. <i>International Journal of Refrigeration</i> 26 (2003), p. 51 – 58 http://www.sciencedirect.com/
[160]	Liu, Z.; Kim, A. K.: [1999]	A Literature Review of the Impact of Thermal Decomposition Products Generated by Halon Replacements on Electronic Equipment. IR-780, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, 1999 http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/ir/ir780/ir780.pdf
[161]	Su, J. Z.; Kim, A. K.: [1999]	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

[162]	Su, Z., J.; Kim, A. K., Mawhinney, J.R.: [1996]	Review of total flooding gaseous agents as Halon 1301 substitutes. <i>Journal of Fire Protection Engineering</i> , 8 (2), 1996, S. 45 - 64 http://jfe.sagepub.com/content/8/2/45.full.pdf+html
[163]	Carnazza, B.P., Owens, J.G., Rivers, P.E., Schmeer, J.S.: [2004]	FK-5-1-12 Performance Characteristics: Recent Developments. NIST SP 984-2, Halon Options Technical Working Conference, 14 th Proceedings, Albuquerque 2004 http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire04/PDF/f04068.pdf
[164]	3M [2008]	NOVEC™ 1230 Fire Protection Fluid Sicherheitsdatenblatt 3M Deutschland GmbH, Neuss, 2008 http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Novec/Home/Product_Information/Product_Navigator/?PC_7_RJH9U5230GE5D02J33P04L38E5_univid=1180599171161
[165]	DuPont [2008]	FE-13 Material Safety data Sheet DuPont Fluorproducts, Wilmington 2008 http://msds.dupont.com/msds/pdfs/EN/PEN_09004a35804fa7f3.pdf
[166]	DuPont [2008]	FM-200 Material Safety data Sheet DuPont Fluorproducts, Wilmington 2008 http://msds.dupont.com/msds/pdfs/EN/PEN_09004a35804fa7d3.pdf
[167]	VdS 2380 [2009]	VdS-Richtlinien für Feuerlöschanlagen. Feuerlöschanlagen mit nicht verflüssigten Inertgasen. – Planung und Einbau. VdS 2380: 2009-06, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2380/de/120549028.html&imitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[168]	VdS 2381 [2009]	VdS-Richtlinien für Feuerlöschanlagen. Feuerlöschanlagen mit halogenierten Kohlenwasserstoffen. - Pla- nung und Einbau. VdS 2381: 2009-06, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2381/de/120549068.html&imitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[169]	VdS 3527 [2007]	VdS- Richtlinie für Inertisierungs- und Sauerstoffreduzierungsan- lagen – Planung und Einbau VdS 3527: 2007-01, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+3527/de/97482140.html&imitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[170]	Schlosser, I.: [2002]	Anforderungen an die Raumumfassung bei Gaslöschanlagen. - Druckentlastungsöffnungen sind erforderlich. s+s Report, 4/2002, S. 20 – 23 http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/

[171]	VdS 2496 [2008]	Richtlinien für die Ansteuerung von Feuerlöschanlagen. VdS 2496: 2008-09 VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2496/de/113811970.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[172]	VdS 2021 [2010]	Baustellen - Unverbindlicher Leitfaden für ein umfassendes Schutzkonzept VdS 2021: 2010-01 VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2021/de/132164705.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[173]	VdS 2000 [2000]	Brandschutz im Betrieb – Leitfaden für den Brandschutz. VdS 2000: 2000-08, VdS Schadenverhütung GmbH, Köln http://www.vds.de/ http://www.beuth.de/langanzeige/VdS+2000/de/38267194.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[174]	DIN VDE 0132 [2008]	Brandbekämpfung und Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen Beuth Verlag GmbH, Berlin 2008 http://www.beuth.de/langanzeige/DIN+VDE+0132%3B+VDE+0132%3A2008-08/de/109192799.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[175]	Staatliche Feuerweherschule Würzburg [2004]	Brandbekämpfung im Bereich elektrischer Anlagen. Staatliche Feuerweherschule Würzburg, Winterschulung 2004/2005, Beilage zur Brandwacht 5/2004
[176]	vfdb-Richtlinie 10/03 [2009]	Schadstoffe bei Bränden. vfdb-Richtlinie 10/03: 2009-05 der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Altenberge, 2009 http://www.beuth.de/langanzeige/vfdb+10%2F03/de/145D39C94CCFB0CE322C117154418259.2/122525877.html
[177]	vfdb-Richtlinie 10/04 [2006]	Dekontamination bei Einsätzen mit ABC-Gefahren. vfdb-Richtlinie 10/04: 2006-09 (02) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Altenberge, 2006 http://www.beuth.de/langanzeige/vfdb+10%2F04/de/99570122.html&limitationtype=&searchaccesskey=MAIN
[178]	Knorr, K.-H.: [2000]	Die Gefahren der Einsatzstelle. 7. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 2000
[179]	Rodewald, G., Rempe, A.: [2005]	Feuerlöschmittel. Eigenschaften, Wirkung, Anwendung 7. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 2005
[180]	Tretzel, F., Alt, F.: [1999]	Handbuch der Feuerbeschau. 3. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 1999
[181]	Cagliostro D.E.: [1980]	Modelling of Exposure to Carbon Monoxide in Fires. <i>Journal of Combustion Toxicology</i> , Vol. 7, 1980, p. 231 - 242

[182]	Weiß, A.: [1988]	Dioxine und Brandschäden. VFDB- Zeitschrift, 3/88, S. 122 – 128
[183]	Widetschek, O.: [2004]	Vorwort, Einführung in die Problemstellung; Brandschutz in EDV-Anlagen – Gestern, heute, morgen, Vom Halon zu möglichen umweltverträglichen Alternativen. Themenspezifisches Seminar „Gaslöschanlagen“ und Sonderseminar (SOS) „Brandschutz in EDV-Anlagen“, Grazer Brandschutzforum, Graz 2004
[184]	Schatzmayr, W.: [1984]	Wie gefährlich sind brennende Kunststoffe wirklich. Brandschutz in der kunststoffverarbeitenden Industrie. Heft F/ABS 1462/4 (0/00) 3.4.84 Allianz Brandschutz Service, München
[185]	Oberndorfer, H.: [2004]	Das Konzept der Brandfrüherkennung für EDV, Mess-, Regel und Steuerungstechnik, Alternative Löschkonzepte 1: Oxyredukt Themenspezifisches Seminar „Gaslöschanlagen“ und Sonderseminar (SOS) „Brandschutz in EDV-Anlagen“, Grazer Brandschutzforum, Graz 2004
[186]	Delis, S.: [2004]	Alternative Löschkonzepte 2: Inergen. Themenspezifisches Seminar „Gaslöschanlagen“ und Sonderseminar (SOS) „Brandschutz in EDV-Anlagen“, Grazer Brandschutzforum, Graz 2004
[187]	Engelhardt, W.: [2004]	Alternative Löschkonzepte 3: Hochdruckwassernebel Themenspezifisches Seminar „Gaslöschanlagen“ und Sonderseminar (SOS) „Brandschutz in EDV-Anlagen“, Grazer Brandschutzforum, Graz 2004
[188]	Eisenberger, P.: [2004]	Alternative Löschkonzepte 4: Novec 1230 Themenspezifisches Seminar „Gaslöschanlagen“ und Sonderseminar (SOS) „Brandschutz in EDV-Anlagen“, Grazer Brandschutzforum, Graz 2004
[189]	Föhl, A.: [1998]	Untersuchung der Löschverfahren und Löschmittel zur Bekämpfung von Bränden gefährlicher Güter – Literatur-Recherche über Stoffe mit unterschiedlichen Löschmittel-Empfehlungen in europäischen Gefahrstoff-Merkblättern. Forschungsbericht Nr. 112,1 u. 112,2 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1998) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._112-1.pdf http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._112-2.pdf
[190]	John, R.: [1967]	Entwicklung eines Verfahrens zur Schnellprüfung von Schaummitteln und Schaumerzeugern im Einsatzdienst der Feuerwehren. Kurzfassung. Forschungsbericht Nr. 1 der Arbeitsgemeinschaft der Landesdienststellen für Feuerschutz in den Bundesländern. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1967) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._1.pdf

[191]	John, R.: [1969]	Entwicklung eines Verfahrens zur Schnellprüfung von Schaummitteln und Schaumerzeugern im Einsatzdienst der Feuerwehren. Teil 2. Forschungsbericht Nr. 14 der Arbeitsgemeinschaft der Landesdienststellen für Feuerschutz in den Bundesländern. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1969) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._14.pdf
[192]	Hoffmann, W.: [1972]	Folgeschäden von Löschpulvern an Maschinen und sonstigen empfindlichen Gegenständen durch Korrosion. Forschungsbericht Nr. 25 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Unterausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1972) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._25.pdf
[193]	Schatz, H., Brein, D.	Entwicklung eines Meßverfahrens im Labormaßstab zur Bestimmung der Löschwirksamkeit von ABC-Pulvern an Feststoffbränden. Forschungsbericht Nr. 28 der Arbeitsgemeinschaft der Landesdienststellen für Feuerschutz in den Bundesländern. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1975) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._28.pdf
[194]	Kunkelmann J.: [2003]	Flashover / Backdraft. Ursachen, Auswirkungen, mögliche Gegenmaßnahmen. Forschungsbericht Nr. 130 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2003) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._130.pdf
[195]	Wieder, M.A. et al.: [1992]	Quelle: Wieder, M.A. et al.: Essentials of Fire Fighting, The International Fire Service Training Association, Fire Protection Publications, Oklahoma State University, 1992
[196]	Neumann, J.: [2003]	Brand- und Explosionsschutz (Skriptum zur Vorlesung Arbeits- und Anlagensicherheit), Universität Dortmund, Fachbereich Bio- und Chemieingenieurwesen, Lehrstuhl Umwelttechnik, Juni 2003
[197]	Pölzl, A.: [1993]	Schwerer Unfall mit Spraydosen. Blaulicht 2/93, S. 24 – 26
[198]	Widetschek, O.: [1993]	Schwerer Unfall mit Spraydosen. Blaulicht 2/93, S. 24 – 26
[199]	Feutlinske, K., Borsch, J.: [1994]	Das Zeug zum Feuer Gefährliche Ladung, 39. Jahrgang, Nr. 1/1994, S. 12 – 14
[200]	Kunkelmann J.: [2002]	Einsatz von Niederdruck-Wassernebellöschanlagen in Gebäuden. Vortrag bei der vfdb Jahresfachtagung, Dresden 2002 http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/NWA.pdf

[201]	Kunkelmann J.: [2004]	<p><i>Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und mit Einfluss von ortsfesten Wasserlöschanlagen.</i></p> <p>Teil 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vergleich des Auslöseverhaltens von fotoelektronischen Rauchmeldern bei Einsatz von Disconebel und Brandrauch. • Brand- und Löschversuche ohne Windeinfluß auf einen natürlichen Rauchabzug. • Vergleich von Normal-Sprinkler mit Niederdruck-Wasserebel-löschanlage. <p>Forschungsbericht Nr. 135 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2004) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._135.pdf</p>
[202]	Kunkelmann, J.: [2005]	<p><i>Rauchausbreitung in Treppenträumen ohne und mit Einfluss von ortsfesten Wasserlöschanlagen.</i></p> <p>Teil 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brand- und Löschversuche mit Windeinfluß auf einen natürlichen Rauchabzug • Vergleich von Normal-Sprinkler- mit Niederdruck-Wasserebel-löschanlage <p>Forschungsbericht Nr. 136 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2005) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._136.pdf</p>
[203]	Kunkelmann, J.: [2006]	<p><i>Anwendungsbereiche für Wasserebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer 'Brandgefahrenklasse'.</i></p> <p>Teil 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-Wasserebel im Holztreppenraum (ohne und mit Windeinfluß auf einen natürlichen Rauchabzug) • Vergleich mit Niederdruck-Wasserebel und Sprinkler. <p>Forschungsbericht Nr. 143 der ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2006) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/AGF143_Kunkelmann_Anwendung_Wasserebel_Hochdruck_Teil_1-20_komp.pdf</p>

[204]	Kunkelmann, J.: [2010]	<p>Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftlich sinnvolle Nutzungen) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer 'Brandgefahrenklasse'. Teil 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brand- und Löschversuche mit Hochdruck-Wassernebel im 25 m²- Brandraum • Auslöseverhalten von fotoelektronischen Rauchmeldern und thermischen Glasfass-Auslöseelementen bei unterschiedlichen Ventilationsbedingungen <p>Forschungsbericht Nr. 144 der ständigen Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (2010), http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/392.php</p>
[205]	Kunkelmann J.: [2005]	<p>Moderne Löschanlagen für Archive, Bibliotheken, Museen Brand- und Rauchausbreitung, Wasserlöschanlagen, Gaslöschanlagen, Sauerstoffreduktion, Halonersatzstoffe: Löschmechanismen, Anwendungsgrenzen, Personenschutz, Sekundärwirkungen auf Kunst- und Kulturgüter Vorträge beim Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz Bad Neuenahr-Ahrweiler und Berlin, 2005</p>
[206]	Kunkelmann, J.: [1998]	<p>Auswirkung des Einsatzes ortsfester Wassernebellöschanlagen auf die Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden mit doppelten Fassaden. Teil 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Literaturobwertung (Wassernebellöschanlagen - Entwicklung, Löschprinzipien, Einsatzgebiete, Anwendungsgrenzen, Anlagentechnik, Normung) • Brand- und Löschversuche in einem Gebäudeausschnitt mit einer Ganzflächendoppelfassade <p>Forschungsbericht Nr. 108 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1998) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber_Nr_108.pdf</p>
[207]	Kunkelmann, J.: [1995]	<p>Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind. Teil 12:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenstellung von Erkenntnissen aus theoretischen, numerischen und experimentellen Untersuchungen als Planungshilfe zur Ausführung von Lägern und Sprinkleranlagen sowie zur Überprüfung von numerischen Simulationen. • Darstellung der Problematik bei der messtechnischen Erfassung von physikalisch / chemischen Größen bei Brand- und Löschversuchen insbesondere im Hinblick auf die Verwendung bei numerischen Simulationen. <p>Forschungsbericht Nr. 95 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1995) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber_Nr_95.pdf</p>

[208]	VEGLA: [1999]	Technisches Handbuch "Glas am Bau" Vereinigte Glaswerke GmbH, Aachen 1999
[209]	John R.: [1983]	Ermittlung der erforderlichen Luftvolumenströme zur Verdünnung von Brandrauch auf ein die Gesundheit und Sichtbarkeit in Rettungswegen gewährleistendes Maß. Teil 2: Optische Brandrauchdichte Forschungsbericht Nr. 50 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer. Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten. Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutztechnik (1983) http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._50.pdf
[210]	John R.: [1988]	Rauch- und Wärmeabzug bei Bränden in großen Räumen. VFDB-Zeitschrift, 1/88
[211]	John R.: [2006]	Rauchfreie Treppenträume – Voraussetzungen für die Wirksamkeit von Druckbelüftungsanlagen - Bundesbaublatt, 7/2000, S. 29 – 31
[212]	Friedl, W., J.: [1994]	Fehlalarme minimieren – Brand- und Einbruchmeldeanlagen – Brandlöschsysteme. Technische Akademie Wuppertal, VDE-Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 1994
[213]	Lucks, K.: [2002]	Haushaltsgeräte als Brandverursacher. s+s report 3/2002, S. 29 – 33
[214]	Eyer, P.: [2004]	Toxikologie der Inertgase mit und ohne CO ₂ . Tagung „Brandsicherheit - ohne Halon“, ETH, Zürich, 1994
[215]	Sepp, R.: [2009]	Auswirkungen von Sauerstoffreduzierungsanlagen auf die Gesundheit. Brandschutz Deutsche Feuerwehrzeitung, 4/09, S. 269 - 271
[216]	Wünschel, S.: [2009]	Machbarkeitsstudie zum Einsatz von Nieder- und Hochdruckwassernebel. Brandschutz Deutsche Feuerwehrzeitung, 4/09, S. 280 - 282
[217]	AGBF [2000]	Halbstationäre Löschanlagen im Bereich von Feuerwehren. Arbeitskreis Vorbeugender Brand- u. Gefahrenschutz der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland (AGBF), 2000 http://www.agbf.de/AK/AVBG/2000-2%20%20Einsatzbereich%20halbstationaerer%20Loeschanlagen.pdf
[218]	Gressmann, H.-J.: [2008]	Abwehrender und Anlagentechnischer Brandschutz Expert Verlag GmbH, Renningen 2008

8. TABELLEN

Tabelle: Anforderungen an gentechnische Labore und Bereiche in den verschiedenen Sicherheitsstufen entsprechend der Gentechnik-Sicherheitsverordnung – (GenTSV), [2]

<p>Anhang III</p> <p>Sicherheitsmaßnahmen für Labor- und Produktionsbereich</p> <p>A. Sicherheitsmaßnahmen für den Laborbereich</p> <p>Die Anforderungen der niedrigen Stufen sind von den höheren eingeschlossen.</p>
<p>I. Stufe 1</p>
<ol style="list-style-type: none">1. Der Gentechnik-Arbeitsbereich ist als solcher und entsprechend der Sicherheitsstufe der gentechnischen Arbeiten, für die er zugelassen ist, zu kennzeichnen.2. Die Arbeiten sollen in abgegrenzten und in ausreichend großen Räumen bzw. Bereichen durchgeführt werden. In Abhängigkeit von der Tätigkeit ist eine ausreichende Arbeitsfläche für jeden Mitarbeiter zu gewährleisten.3. Oberflächen (Arbeitsflächen sowie die an den Arbeitsflächen angrenzenden Wandflächen und Fußböden) sollen leicht zu reinigen und müssen dicht und beständig gegen die verwendeten Stoffe und Reinigungsmittel sein.4. Ein Waschbecken soll im Arbeitsbereich vorhanden sein.5. Türen der Arbeitsräume sollen während der Arbeiten geschlossen sein. Labortüren sollen nach außen aufschlagen und sollen aus Gründen des Personenschutzes Sichtfenster aufweisen.6. Mundpipettieren ist untersagt, Pipettierhilfen sind zu benutzen.7. Spritzen und Kanülen sollen nur wenn unbedingt nötig benutzt werden.8. Bei aßen Arbeiten muss darauf geachtet werden, dass Aerosolbildung so weit wie möglich vermieden wird. Bei Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen der Risikogruppe 1 mit sensibilisierenden oder toxischen Wirkungen sind entsprechende Maßnahmen zu treffen, die eine Exposition der Beschäftigten minimieren. Hier kann es sich z. B. um die Verwendung einer Sicherheitswerkbank, den Einsatz von Atemschutz oder die Vermeidung sporenbildender Entwicklungsphasen bei Pilzen handeln.9. Nach Beendigung der Tätigkeit und vor Verlassen des Arbeitsbereiches müssen die Hände ggf. desinfiziert, sorgfältig gewaschen, und rückgefettet (Hautschutzplan) werden.10. Laborräume sollen aufgeräumt und sauber gehalten werden. Auf den Arbeitstischen sollen nur die tatsächlich benötigten Geräte und Materialien stehen. Vorräte sollen nur in dafür bereitgestellten Räumen oder Schränken gelagert werden.11. Die Identität und Reinheit der benutzten Organismen ist regelmäßig zu überprüfen, wenn dies für die Beurteilung des Gefährdungspotentials notwendig ist. Die zeitlichen Abstände richten sich nach dem möglichen Gefährdungspotential.12. Die Aufbewahrung der gentechnisch veränderten Organismen hat sachgerecht zu erfolgen.13. Ungeziefer und Überträger von GVO (z. B. Nagetiere und Arthropoden) sind in geeigneter Weise zu bekämpfen, sofern erforderlich.14. Verletzungen sind dem Projektleiter unverzüglich zu melden.15. Nahrungs- und Genussmittel sowie Kosmetika dürfen im Arbeitsbereich nicht aufbewahrt werden.16. In Arbeitsräumen darf nicht gegessen, getrunken, geraucht, geschnupft oder geschminkt werden. Für die Beschäftigten sind Bereiche einzurichten, in denen sie ohne Beeinträchtigung ihrer Gesundheit durch gentechnisch veränderte Organismen essen, trinken, rauchen oder schnupfen können.17. In Arbeitsräumen sind Laborkittel oder andere Schutzkleidung zu tragen.18. Ein Autoklav muss innerhalb des Betriebsgeländes vorhanden sein.19. Erforderlichenfalls ist außerhalb der primären physikalischen Einschließung auf das Vorhandensein

lebensfähiger, in der Anwendung eingesetzter Organismen zu prüfen.

20. Für den Fall des Austretens von GVO müssen wirksame Desinfektionsmittel und spezifische Desinfektionsverfahren zur Verfügung stehen.
21. Gegebenenfalls ist für eine sichere Aufbewahrung von kontaminierten Laborausrüstungen und -materialien zu sorgen.

II. Stufe 2

1. Der Arbeitsbereich ist zusätzlich mit dem Warnzeichen "Biogefährdung" zu kennzeichnen.
2. Arbeiten mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen der Risikogruppe 2 sollen so erfolgen, dass eine Exposition der Beschäftigten so weit wie möglich vermieden wird.
3. Zutritt zum Labor haben außer den an den Experimenten Beteiligten nur Personen, die vom Projektleiter oder durch von ihm autorisierte Dritte hierzu ermächtigt wurden. Hierauf ist durch geeignete Kennzeichnung an den Zugängen hinzuweisen.
4. Fenster und Türen der Arbeitsbereiche müssen während der Arbeiten geschlossen sein. Labortüren müssen nach außen aufschlagen und aus Gründen des Personenschutzes ein Sichtfenster aufweisen.
 - 4a. Oberflächen müssen leicht zu reinigen und beständig gegenüber den eingesetzten Desinfektionsmitteln sein.
5. Für das Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen ist ein Hygieneplan zu erstellen.
6. In Abhängigkeit von der durchzuführenden Tätigkeit ist vom Betreiber geeignete persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen und vom Beschäftigten zu tragen. Getrennte Aufbewahrungsmöglichkeiten für die Schutz- und Straßenkleidung sind vorzusehen. Die Benutzung persönlicher Schutzausrüstung schließt das Tragen von Schutzkleidung mit ein. Die Reinigung der Schutzkleidung ist vom Betreiber durchzuführen. Die Schutzausrüstung darf nicht außerhalb der Arbeitsräume getragen werden.
7. Für die Desinfektion und Reinigung der Hände muss ein Waschbecken, dessen Armatur ohne Handberührung bedienbar sein sollte, und Desinfektionsmittel-, Handwaschmittel- und Einmalhandtuchspender vorhanden sein. Diese sind vorzugsweise in der Nähe der Labortür anzubringen. Einrichtungen zum Spülen der Augen müssen vorhanden sein.
8. Bei Arbeiten, bei denen Aerosole entstehen können, muss sichergestellt werden, dass diese nicht in den Arbeitsbereich gelangen. Dazu sind insbesondere folgende Maßnahmen geeignet:
 - a) Durchführung der Arbeit in einer Sicherheitswerkbank oder unter einem Abzug, bei denen ein Luftstrom vom Experimentator zur Arbeitsöffnung hin gerichtet ist, oder
 - b) Benutzung von Geräten, bei denen keine Aerosole freigesetzt werden,
 - c) das Tragen geeigneter Schutzausrüstung, wenn technische und organisatorische Maßnahmen nicht ausreichen oder nicht anwendbar sind.

Die Abluft aus dem unter Buchstabe a genannten Geräten muss durch einen Hochleistungsschwebstoff-Filter geführt oder durch ein anderes geprüftes Verfahren keimfrei gemacht werden. Die Funktionsfähigkeit der Geräte ist durch regelmäßige Wartung sicherzustellen.
9. Ein Autoklav oder ein gleichwertiges Gerät zur Inaktivierung oder Sterilisierung muss im Labor vorhanden oder innerhalb desselben Gebäudes verfügbar sein.
10. Abfälle, die gentechnisch veränderte Organismen enthalten, dürfen nur in geeigneten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.
11. Gentechnisch veränderte Organismen dürfen nur in verschlossenen und gegen Bruch geschützten und bei Kontamination von außen desinfizierten, gekennzeichneten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.
12. Vor Reinigungs-, Instandsetzungs- und Änderungsarbeiten an kontaminierten Geräten oder Einrichtungen ist die Dekontamination durch das Laborpersonal durchzuführen oder zu veranlassen.
13. Alle Arbeitsflächen sind nach Beendigung der Tätigkeiten zu desinfizieren,
14. Werden Organismen verschüttet, muss unverzüglich der kontaminierte Bereich gesperrt und desinfiziert werden.
15. Ungeziefer und Überträger von GVO (z. B. Nagetiere und Arthropoden) sind in geeigneter Weise zu bekämpfen.
16. Der Arbeitsbereich soll frei von Bodenabläufen sein. Ablaufbecken in Arbeitsflächen sollen mit einer Aufkantung versehen sein.

17. Kontaminierte Prozessabluft, die in den Arbeitsbereich gegeben wird, muss durch geeignete Verfahren wie Filterung oder thermische Nachbehandlung gereinigt werden. Dies gilt z. B. auch für die Abluft von Autoklaven, Pumpen oder Bioreaktoren."
18. Gentechnisch veränderte Organismen der Risikogruppe 2 sind dicht verschlossen und sicher aufzubewahren.

III. Stufe 3

1. Das Labor muss von seiner Umgebung abgeschirmt sein.
2. Fenster dürfen nicht zu öffnen sein.
3. In der Regel ist eine Schleuse einzurichten, über die das Labor zu betreten und zu verlassen ist. Die Schleuse ist mit zwei selbstschließenden Türen auszustatten, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb gegeneinander verriegelt sind. Sie muss eine Händedesinfektionsvorrichtung enthalten. In der Regel ist in der Schleuse ein Handwaschbecken mit Ellenbogen-, Fuß- oder Sensorbetätigung einzurichten. In begründeten Einzelfällen kann auf eine Schleuse verzichtet werden. Falls erforderlich, ist eine Dusche einzurichten.
4. In der Schleuse ist geeignete Schutzkleidung anzulegen. Beim Arbeiten sind Schutzhandschuhe zu tragen. Schutzkleidung geschlossene Schuhe und Schutzhandschuhe sind vom Betreiber bereitzustellen. Die Schutzkleidung ist vor der Reinigung oder der Beseitigung zu sterilisieren. Die Schutzkleidung umfasst einen an den Rumpfvorderseiten geschlossenen Schutzkittel mit Kennzeichnung, geschlossene Schuhe, die entsprechend der Tätigkeit anzulegen sind, sowie in Abhängigkeit von der Tätigkeit Mundschutz (Berührungsschutz).
5. Jedes Labor sollte über eigene Laborgerätschaften verfügen.
6. Ein Autoklav oder eine gleichwertige Sterilisationseinheit muss im Labor vorhanden sein.
7. Bei Arbeiten, bei denen Aerosole entstehen können, muss stets in Sicherheitswerkbänken der Klasse I oder II gearbeitet werden.
8. Der Zutritt zum Labor ist auf die Personen zu beschränken, deren Anwesenheit zur Durchführung der Versuche erforderlich ist und die zum Eintritt befugt sind. Der Projektleiter ist verantwortlich für die Bestimmung der zutrittsberechtigten Personen. Eine Person darf nur dann allein im Labor arbeiten, wenn eine von innen zu betätigende Alarmanlage vorhanden ist.
9. Im Arbeitsbereich anfallende 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.
Bei bestimmungsgemäßem Betrieb und unter Beachtung der organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen fallen aus der Schleuse keine kontaminierten Abwässer an.
10. Der Laborbereich muss zum Zwecke der Begasung abdichtbar sein.
11. Sofern mit pathogenen Organismen gearbeitet wird, für die eine Übertragung durch die Luft nicht ausgeschlossen werden kann, muss das Labor unter ständigem, durch Alarmgeber kontrollierbarem Unterdruck gehalten und die Abluft über Hochleistungsschwebstoff-Filter geführt werden. Die Rückführung kontaminierter Abluft in Arbeitsbereiche ist unzulässig.
12. Für sicherheitsrelevante Einrichtungen wie Lüftungsanlagen, einschließlich Ventilationssystem, Notruf- und Überwachungseinrichtungen ist eine Notstromversorgung einzurichten. Zum sicheren Verlassen des Arbeitsbereichs ist eine Sicherheitsbeleuchtung einzurichten.
13. Beim Auswechseln von Filtern z. B. der Lüftungstechnischen Anlage oder der Sicherheitswerkbank müssen diese entweder am Einbauort sterilisiert oder zwecks späterer Sterilisierung durch ein geräte-seits vorgesehene Austauschsystem in einen luftdichten Behälter verpackt werden, so dass eine Infektion des Wartungspersonals und anderer Personen ausgeschlossen werden kann.
14. Für die Kommunikation vom Labor nach außen muss eine geeignete Einrichtung vorhanden sein
15. Gentechnisch veränderte Organismen dürfen nur in bruchsicheren, dicht verschlossenen, entsprechend gekennzeichneten und außen desinfizierten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.

IV. Stufe 4

1. Das Labor muss entweder ein selbständiges Gebäude oder, als Teil eines Gebäudes, durch einen Flur oder Vorraum deutlich von den allgemein zugänglichen Verkehrsflächen abgetrennt sein. Das Labor soll keine Fenster haben. Sind Fenster vorhanden, müssen sie dicht, bruchsicher und dürfen nicht zu öffnen sein. Es müssen Maßnahmen getroffen werden, die jedes unbeabsichtigte oder unerlaubte Betreten des Labors verhindern. Alle Türen des Labors müssen selbstschließend sein. Die Arbeitsräume des Labors dürfen nur durch eine dreikammerige Schleuse betreten werden können.
2. Die Schleuse muss gegen den Vorraum und die Arbeitsräume mit einer entsprechenden Druckstaffelung versehen sein, um den Austritt von Luft aus dem isolierten Laborteil zu verhindern. Die mittlere Kammer der Schleuse muss eine Personendusche enthalten. Eine Einrichtung zum Einbringen großräumiger Geräte oder Einrichtungsgegenstände ist vorzusehen.
3. Wände, Decken und Fußböden des Labors müssen nach außen dicht sein. Alle Durchtritte von Ver- und Entsorgungsleitungen müssen abgedichtet sein.
4. Alle Innenflächen des Labors, einschließlich der Oberfläche der Labormöbel, müssen desinfizierbar und gegen in diesem Labor benutzte Säuren, Laugen und organische Lösungsmittel widerstandsfähig sein.
5. Das Labor muss mit einem Durchreicheautoklaven ausgerüstet sein. Durch eine automatisch wirkende Verriegelung ist sicherzustellen, dass die Tür nur geöffnet werden kann, nachdem der Sterilisierungszyklus in der Schleuse beendet wurde. Zum Ein- und Ausschleusen von Geräten und hitzeempfindlichem Material ist ein Tauchtank oder eine begasbare Durchreiche mit wechselseitig verriegelbaren Türen vorzusehen.
6. Das Labor muss durch ein eigenes Ventilationssystem belüftet werden. Dieses ist so auszulegen, dass im Labor ständig ein Unterdruck gegenüber der Außenwelt aufrechterhalten wird. Der Unterdruck muss vom Vorraum bis zum Arbeitsraum jeweils zunehmen. Der in der letzten Stufe tatsächlich vorhandene Unterdruck muss von innen wie von außen leicht kontrollierbar und überprüfbar sein. Unzulässige Druckveränderungen müssen durch einen hörbaren Alarm angezeigt werden.

Zu- und Abluft sind so zu koppeln, dass bei Ausfall von Ventilatoren die Luft keinesfalls unkontrolliert austreten kann.

Die Abluft aus dem Labor muss so aus dem Gebäude gelangen, dass eine Gefährdung der Umwelt nicht eintreten kann. Zu- und Abluft des Labors müssen durch zwei aufeinander folgende Hochleistungsschwebstoff-Filter geführt werden. Die Filter sind so anzuordnen, dass ihre einwandfreie Funktion in eingebautem Zustand überprüft werden kann. Zu- und Abluftleitungen müssen hinter den Filtern mechanisch dicht verschließbar sein, und ein gefahrloses Wechseln der Filter zu ermöglichen.
7. Das Kondenswasser des Autoklaven muss sterilisiert werden, bevor es in die allgemeine Abwasserleitung gelangt. Durch eine geeignete Anordnung von Ventilen und durch Hochleistungsschwebstoff-Filter gesicherte Entlüftungsventile sind diese Sterilisationsanlagen gegen Fehlfunktion zu schützen.
8. Alle Ver- und Entsorgungsleitungen sind durch geeignete Maßnahmen gegen Rückfluss zu sichern. Gasleitungen sind durch Hochleistungsschwebstoff-Filter, Flüssigkeitsleitungen durch keimdichte Filter zu schürzen. Das Labor darf nicht an ein allgemeines Vakuumsystem angeschlossen werden.
9. Im Labor muss ein mit Ellbogen, Fuß oder Sensor zu betätigendes Handwaschbecken mit Desinfektionseinrichtungen oder ein besonderes Becken mit Desinfektionslösung zum Desinfizieren der Hände vorhanden sein. Es ist eine laborinterne Arbeitsvorschrift für die notwendigen Desinfektionsmaßnahmen zu erlassen.
10. Für alle Arbeiten mit humanpathogenen Organismen gelten zusätzlich die folgenden Sicherheitsmaßnahmen:
 - Die Arbeiten dürfen nur in geschlossenen, gasdichten Sicherheitswerkbänken durchgeführt werden. Die Arbeitsöffnungen dieser Bänke sind mit armlangen, luftdicht angebrachten Schutzhandschuhen zu versehen. Die Belüftung dieser Sicherheitswerkbänke erfolgt durch individuelle Zu- und Abluftleitungen, die auf der Zuluftseite durch einen, auf der Abluftseite durch zwei aufeinander folgende Hochleistungsschwebstoff-Filter geschützt sind. Die Abluft der Sicherheitswerkbänke ist durch einen eigenen Kanal nach außen zu führen. Bei Normalbetrieb haben die Sicherheitswerkbänke im Vergleich zum Arbeitsraum einen Unterdruck aufzuweisen. Es muss sichergestellt sein, dass bei einem Ausfall des Stromnetzes Alarm gegeben wird.
 - Die Ventile des Lüftungssystems müssen stromlos in einen sicheren Zustand gelangen.
 - Die Sicherheitswerkbänke müssen eine Vorrichtung für das gefahrlose Ein- und Ausschleusen

von Material und Gütern enthalten. Zum Zweck der Desinfektion der Arbeitsbänke muss eine von außen zu bedienende Begasungsanlage vorgesehen werden. Eine Alternative zu den geschlossenen, gasdichten Sicherheitswerkbänken ist die Verwendung von fremdbelüfteten Vollschutzanzügen, die es erlauben, die unter den Sicherheitsmaßnahmen der Sicherheitsstufe 2 beschriebenen Sicherheitswerkbänke zu benutzen.

- Zentrifugen, in denen Organismen zentrifugiert werden, mit denen nur unter den Bedingungen der Sicherheitsstufe 4 gearbeitet werden darf, dürfen nur in vergleichbaren Sicherheitswerkbänken betrieben werden oder sind entsprechend zu umbauen,

11. im Labor darf niemals eine Person allein tätig sein, es sei denn, es besteht eine kontinuierliche Sichtverbindung oder Kameraüberwachung. Eine Wechselsprechanlage nach außen oder eine Telefonverbindung muss vorhanden sein.
12. Vor Betreten des Arbeitsbereichs sind alle Kleidungsstücke einschließlich Uhren und Schmuck im Raum vor der Dusche abzulegen. Es sind eine besondere Schutzkleidung und Schutzhandschuhe zu tragen. Vor Verlassen des Arbeitsbereichs ist in dem Teil der Schleuse, der unmittelbar an die Arbeitsräume angrenzt, die Arbeitskleidung in sterilisierbare Behälter abzulegen. Die Straßenkleidung darf erst nach Duschen mit Abseifen angezogen werden. Die abgelegte Kleidung verbleibt in der Schleuse und wird beim nächsten Betreten des Arbeitsbereichs nach Sterilisierung ausgeschleust. Schutzkleidung und Schutzhandschuhe sind vom Betreiber bereitzustellen.

B. Sicherheitsmaßnahmen für den Produktionsbereich

Die Anforderungen der niedrigen Stufen sind von den höheren eingeschlossen.

I. Stufe 1

1. Die Laborsicherheitsmaßnahmen der Stufe 1 gelten für die Produktion sinngemäß.
2. In Abhängigkeit von ihren Eigenschaften müssen lebensfähige Mikroorganismen oder Zellkulturen in einem System eingeschlossen sein, das den Prozess von der Umwelt trennt (Fermenter).
3. Im Rahmen der Regeln guter mikrobiologischer Technik kommt der Vermeidung von Aerosolen besondere Bedeutung zu. Um zu verhindern, dass größere Mengen an Kultursuspensionen über die Abluft aus den technischen Apparaturen austreten, können z.B. folgende Maßnahmen getroffen werden:
 - Füllung der Fermenter bis max. 80 % und/oder
 - Überwachung der Schaumbildung durch Sensoren und kontinuierliche oder geregelte Zugabe von Antischaummitteln und/oder
 - Einbau von Wasch- und Abscheidevorrichtungen, wie z.B. Demister, Zentrifugalabscheider.Falls erforderlich, sind Aerosole während der Probenahme, der Zugabe von Material in einen Fermenter oder der Übertragung von Material in einen anderen Fermenter zu kontrollieren.
4. Falls erforderlich, sind spezifische Maßnahmen zur angemessenen Belüftung des Arbeitsbereichs anzuwenden, um die Kontamination der Luft auf ein Mindestmaß zu reduzieren.
5. Zur Wellenabdichtung sind Stopfbuchsen ausreichend.
6. Falls erforderlich, sind große Mengen an Kulturflüssigkeit, bevor sie aus dem Fermenter genommen werden, zu inaktivieren.
7. Falls erforderlich, muss der Arbeitsbereich so ausgelegt sein, dass bei Austreten des gesamten Inhalts des Fermenters dieser aufgefangen werden kann.

II. Stufe 2

1. Der Arbeitsbereich ist zusätzlich mit dem Warnzeichen "Biogefährdung" zu kennzeichnen.
2. Falls erforderlich, müssen die Fermenter innerhalb eines kontrollierten Bereichs liegen.
3. Falls erforderlich, muss der kontrollierbare Bereich abdichtbar sein, um eine Begasung zu ermöglichen.
4. Der Zutritt ist nur autorisierten Personen erlaubt.
5. Ausreichende Sterilisationskapazität muss im Gebäude vorhanden sein.
6. An den Waschbecken müssen Direktspender mit Händedesinfektionsmitteln zur Verfügung stehen.
7. Die technischen Apparaturen sind konstruktionsmäßig so auszulegen, dass Aerosolbildung und Undichtigkeiten vermieden werden.
Zur Sicherstellung, dass keine Aerosole in den Arbeitsbereich gelangen, sind insbesondere folgende Maßnahmen geeignet:
 - a) bei der Verwendung von Zentrifugen und Separatoren
 - Betreiben der Zentrifugen in Abzügen mit Abluftfilter oder Sicherheitswerkbänken,
 - Verwendung dichter Zentrifugen z. B kontinuierlich betriebene inline-Geräte)
 - Verwendung eines Rotars mit dicht schließendem Deckel, Verwendung bruchsicherer und geschlossener Zentrifugeneinsätze oder -gefäße oder
 - Einstellung nicht bruchsicherer Zentrifugengefäße in geschlossene und bruchsichere Einsätze,
 - b) bei der Verwendung von Homogenisatoren
 - besondere Konstruktionsmerkmale wie Abdichten des Deckels mit einem O-Ring, geeignete Werkstoffe für Schüssel und Deckel,
 - Betrieb und insbesondere Öffnen der Geräte in Abzügen oder Sicherheitswerkbänken oder
 - Verwendung kontinuierlich betriebener in-line-Geräte.Diese Maßnahmen sind beim Betrieb von Geräten, die der Erreichung eines vergleichbaren Zieles dienen und an die deshalb dieselben Anforderungen zu stellen sind, sinngemäß anzuwenden.
8. Lebensfähige Mikroorganismen müssen in einem System eingeschlossen sein, das den Prozess von der Umwelt trennt (z. B. Fermenter). Um das Austreten von gentechnisch veränderten Organismen

über die Fermenterabluft auf ein Minimum zu beschränken, können verwendet werden;

- Zentrifugalabscheider,
- Venturi-Wäscher,
- Demister,
- Tiefenfilter,
- Maßnahmen zur Schaumkontrolle (chemisch, mechanisch).

Kontaminierte Prozessabluft, die in den Arbeitsbereich gegeben wird, muss durch geeignete Verfahren wie Filterung oder thermische Nachbehandlung gereinigt werden. Dies gilt z.B. auch für die Abluft von Autoklaven, Pumpen oder Bioreaktoren.

9. Werden Lösungen, die gentechnisch veränderte Organismen enthalten, verschüttet, ist der verunreinigte Bereich unverzüglich zu desinfizieren.
10. Dichtungen müssen so beschaffen sein, dass das unbeabsichtigte Entweichen von gentechnisch veränderten Organismen auf ein Mindestmaß reduziert wird. Für Wellendurchführungen sind z.B. folgende Abdichtungen geeignet
 - einfach wirkende Gleitringdichtung,
 - Stopfbuchse mit Dampf- oder Desinfektionsmittelsperre.
11. Arbeiten, bei denen Aerosole in den Arbeitsbereich austreten können, müssen in einer Sicherheitswerkbank der Klasse 1 oder II oder unter einem Abzug mit Hochleistungsschwebstoff-Filter durchgeführt werden. Die Oberfläche der Sicherheitswerkbank muss gegenüber Wasser, Säuren, Lösungs-, Desinfektions- und Dekontaminationsmitteln resistent und leicht zu reinigen sein.
12. Der Arbeitsbereich ist so auszulegen, dass durch Auffangvorrichtungen, deren Volumina sich mindestens am größten Einzelvolumen orientieren, ein unkontrollierter Austritt verhindert wird.
13. Zum Beimpfen und für Überführungsvorgänge sollen geschlossene Leitungen zwischen der Anlage und dem Impfbehälter verwendet werden.
14. Zur Probennahme sind Einrichtungen zu verwenden, die nach jedem Probenahmevergange desinfiziert werden können. Die Probenahme ist unter Vermeidung von Aerosolen durchzuführen. Probenahmegeräte müssen während des Transports verschlossen sein und insbesondere gegen Bruch geschützt werden.
15. Gentechnisch veränderte Organismen sind vor dem Abernten durch validierte Verfahren zu inaktivieren oder in weitgehend geschlossenen Apparaturen weiter zu verarbeiten. Als Aufarbeitungsgeräte kommen in Frage:
 - Separatoren und Dekanter in geschlossener Ausführung,
 - Filteranlagen (geschlossen),
 - gekapselte Vakuumdrehfilter,
 - Kammerfilterpresse.
16. Vor dem Öffnen der technischen Apparaturen, in denen mit gentechnisch veränderten Organismen umgegangen wurde, sind die verunreinigten Teile zu desinfizieren.
17. Für das Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen ist ein Hygieneplan zu erstellen.
18. Schutzkleidung ist vom Betreiber bereitzustellen und vom Beschäftigten zu tragen. Getrennte Aufbewahrungsmöglichkeiten für die Schutz- und Straßenkleidung sind vorzusehen. Die Reinigung der Schutzkleidung ist vom Betreiber durchzuführen. Die Schutzkleidung darf nicht außerhalb der Arbeitsräume getragen werden.

III. Stufe 3

1. Der Arbeitsbereich muss von seiner Umgebung abgeschirmt sein. Der Zugang zum Arbeitsbereich ist nur autorisierten und über die Sicherheitsanforderungen belehrten Personen gestattet.
2. Fermenter müssen innerhalb eines kontrollierten Bereichs liegen.
3. Sofern mit pathogenen Organismen gearbeitet wird, für die eine Übertragung durch die Luft nicht ausgeschlossen werden kann, muss der Produktionsbereich unter ständigem, durch Alarmgeber kontrollierbarem Unterdruck gehalten und die Abluft über Hochleistungsschwebstoff-Filter geführt werden. Die Rückführung kontaminierter Abluft in den Arbeitsbereich ist unzulässig. Das Ventilationssystem muss eine Notstromversorgung haben.
4. In der Regel ist eine Schleuse einzurichten, über die der Produktionsbereich zu betreten und zu verlassen ist. Die Schleuse ist mit zwei selbstschließenden Türen auszustatten, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb gegeneinander verriegelt sind. Sie muss eine Händedesinfektionsvorrichtung enthal-

ten. In der Regel ist in der Schleuse ein Handwaschbecken mit Ellenbogen-, Fuß- oder Sensorbetätigung einzurichten. Falls erforderlich, ist eine Dusche einzurichten. In begründeten Einzelfällen kann auf eine Schleuse verzichtet werden.

5. In der Schleuse ist geeignete Schutzkleidung anzulegen. Beim Arbeiten sind Schutzhandschuhe zu tragen. Schutzkleidung, geschlossene Schuhe und Schutzhandschuhe sind vom Betreiber bereitzustellen. Die Schutzkleidung umfasst einen an den Rumpfvorderseiten geschlossenen Schutzkittel mit Kennzeichnung, geschlossene Schuhe, die entsprechend der Tätigkeit anzulegen sind, sowie in Abhängigkeit von der Tätigkeit Mundschutz (Berührungsschutz). Die Schutzkleidung ist vor der Reinigung oder der Beseitigung zu sterilisieren.
6. Boden und die Oberfläche der Sicherheitswerkbank, soweit vorhanden, müssen gegenüber Wasser, Säuren, Laugen, Lösungs-, Desinfektions- und Dekontaminationsmitteln resistent und leicht zu reinigen sein.
7. Der Arbeitsbereich muss mit einer technischen Lüftung ausgestattet sein, wobei die Filtration der Raumabluft in der Regel nicht erforderlich ist.
8. Im Arbeitsbereich anfallende 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.
Bei bestimmungsgemäßem Betrieb und unter Beachtung der organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen fallen aus der Schleuse keine kontaminierten Abwässer an.
9. Die Apparaturen sind entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik als geschlossene Systeme auszuführen.
10. Die Fermenterabluft muss entweder über ein geeignetes Filtersystem, z.B. mit Hochleistungsschwebstoff-Filter, abgeführt werden oder ist durch Erhitzen zu sterilisieren.
11. Dichtungen müssen so beschaffen sein, dass das unbeabsichtigte Entweichen von gentechnisch veränderten Organismen verhindert wird. Durchführungen von Antriebswellen müssen mit doppelt wirkenden Dichtelementen, wie z.B. durch doppelte Gleitringdichtung, oder Doppellippendichtung, ausgestattet sein. Die Sperrflüssigkeit ist unter geringem Überdruck gegenüber dem Behälterinnendruck zu halten und zu überwachen. Der Antrieb kann auch über eine Magnetkupplung erfolgen.
12. Vor dem Aberten sind die gentechnisch veränderten Organismen zu sterilisieren oder in geschlossenen Apparaturen weiterzuverarbeiten. Als Erntegeräte kommen in Frage:
 - desinfizierbare Separatoren und Dekanter in geschlossener Ausführung,
 - Membranfilteranlage (geschlossen),
 - Cross-Flow-Filter.

IV. Stufe 4

1. Die Arbeitsräume des Produktionsbereichs dürfen nur durch eine dreikammerige Schleuse betreten werden können. Die Schleuse muss gegen den Vorraum und die Arbeitsräume mit einer Druckstaffelung versehen sein, um den Austritt von Luft aus dem isolierten Produktionsbereich zu verhindern. Die mittlere Kammer der Schleuse muss eine Personendusche enthalten. Die Arbeitsbereiche müssen mit Materialschleusen mit gegenseitig verriegelbaren Türen ausgerüstet sein.
2. Vor Betreten des Arbeitsbereichs sind alle Kleidungsstücke einschließlich Uhren und Schmuck im Raum vor der Dusche abzulegen. Es sind eine besondere Schutzkleidung und Schutzhandschuhe zu tragen. Vor Verlassen des Arbeitsbereiches ist in dem Teil der Schleuse, der unmittelbar an die Arbeitsräume angrenzt, die Arbeitskleidung in sterilisierbare Behälter abzulegen. Die Straßenkleidung darf erst nach Duschen mit Abseifen angezogen werden. Die abgelegte Kleidung verbleibt in der Schleuse und wird beim nächsten Betreten des Arbeitsbereichs nach Sterilisierung ausgeschleust. Schutzkleidung und Schutzhandschuhe sind vorn Betreiber bereitzustellen.
3. Fenster, Wände, Decken und Fußböden müssen nach außen dicht sein. Fenster dürfen sich im Normalbetrieb nicht öffnen lassen.
4. Im Arbeitsbereich muss ein Unterdruck durch geeignete Lüftungssysteme gewährleistet sein. Der Unterdruck ist durch ein Messgerät mit Alarmgeber laufend zu überwachen.
5. Zu- und Abluft müssen über doppelt ausgeführte geführt werden. Der Filterwechsel muss unter aseptischen Bedingungen erfolgen, wie z.B. Sack-im-Sack-System oder chemische Desinfektion. Die Abluft der Fermenter ist über Doppelmembranfilter zu führen.
6. Die Anlage ist so auszulegen, dass die gesamte Abwassermenge aus Fermenter und Abflüssen aufgefangen und sterilisiert werden kann,
7. Für den gesamten Arbeitsbereich sind Sicherheitsschaltungen vorzusehen, die einen Austritt von gentechnisch veränderten Organismen auch bei Ausfall der Netzenergien verhindern. Das können z.B. sein: zwangsweise Schaltungen von Ventilen in den sicheren Zustand, Rückschlagklappen an Versorgungsleitungen, Notstromversorgung.
8. Zur Probenahme sind geschlossene Systeme zu verwenden. Das Probenahmegefäß muß insbesondere vor mechanischer Beschädigung geschützt werden.
9. Werden die Organismen vor dem Abernten nicht sterilisiert, müssen die folgenden Aufbauarbeitsschritte, bei denen noch mit lebenden Organismen zu rechnen ist, in geschlossenen und desinfizierbaren Apparaturen erfolgen.
Bereiche, in denen sich Aerosole bilden können, müssen räumlich abgetrennt sein. Die Abluft der Absaugungen ist über doppelt ausgeführte Hochleistungsschwebstoff-Filter zu führen, oder es muss in geschlossenen, gasdichten Sicherheitswerkbänken gearbeitet werden.
10. Bei Kontaminationsgefahr, z.B. nach dem Verschütten von Kulturlösungen, sind fremdbelüftete Vollschutzanzüge zu benutzen.
11. Der kontrollierte Bereich muss abdichtbar sein, um eine Begasung zu ermöglichen.
12. Das Gebäude muss so ausgeführt werden, dass im Brandfall Dauerlöschwasser nicht in das Kanalsystem gelangen kann

Anhang IV **Sicherheitsmaßnahmen für Gewächshäuser**

Die Sicherheitsmaßnahmen gelten sinngemäß für Klimakammern. Die Anforderungen der niedrigeren Stufen werden von den höheren Stufen eingeschlossen. Sofern in Gewächshäusern mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen gearbeitet wird, gelten sinngemäß zusätzlich die Anforderungen des Anhangs III für Laboratorien der entsprechenden Sicherheitsstufe.

I. Stufe 1

1. Der Gentechnik-Arbeitsbereich ist als solcher zu kennzeichnen.
 - 1a. In Abhängigkeit von der Tätigkeit ist eine ausreichende Arbeitsfläche für jeden Mitarbeiter zu gewährleisten.
2. Der Boden des Gewächshauses kann aus Kies oder anderem gewächshaustypischen Material bestehen. Erdbeete sind ebenfalls geeignet. Es sollten jedoch mindestens die Gehwege befestigt (z.B. betoniert) sein. Sofern erforderlich, sollte ein Auffangen von kontaminiertem Ablaufwasser möglich sein.
3. Die Fenster und sonstigen Öffnungen des Gewächshauses können zu Belüftungszwecken geöffnet werden und erfordern keine besondere Schutzvorrichtung, um Pollen, Mikroorganismen oder kleine Fluginsekten (z.B. Gliederfüßer, Vögel) abzuhalten oder auszuschließen. Gegen die zuletzt Genannten werden jedoch Netze empfohlen.
4. In gentechnischen Experimenten verwendete Organismen sind mit geeigneten Methoden, insbesondere durch Abschneiden der Vermehrungsorgane bei Pflanzen, vermehrungsunfähig zu machen, bevor sie außerhalb des Gewächshauses, jedoch auf dem umgebenden Gelände des Betreibers, unschädlich entsorgt werden.
5. Ein geeignetes, auf die Experimentalpflanzen abgestimmtes Programm zur erfolgreichen Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten, Unkräutern, Insektenbefall und Nagetieren ist aufzustellen.
6. Das Austreten von gentechnisch veränderten Organismen aus dem Gewächshaus ist auf das geringstmögliche Maß zu reduzieren.
7. Verletzungen sind dem Projektleiter unverzüglich zu melden.
8. Nahrungs- und Genussmittel sowie Kosmetika dürfen im Arbeitsbereich nicht aufbewahrt werden.
9. In Arbeitsräumen darf nicht gegessen, getrunken, geraucht, geschminkt oder geschminkt werden. Für die Beschäftigten sind Bereiche einzurichten, in denen sie ohne Beeinträchtigung ihrer Gesundheit durch gentechnisch veränderte Organismen essen, trinken, rauchen, schnupfen oder sich schminken können.
10. Die Sicherheitsmaßnahmen der Stufe 1 gelten sinngemäß auch für Klimakammern.

II. Stufe 2

1. Das Gewächshaus muss ein festes Bauwerk mit durchgehend wasserdichter Bedeckung sein; es sollte eben gelegen sein, so dass kein Oberflächenwasser eindringen kann, und über selbstschließende verriegelbare Türen verfügen. Das Ablaufwasser ist auf ein Mindestmaß zu reduzieren, soweit eine Übertragung von GVO über dem Boden stattfinden kann. Sofern nur eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, dass vermehrungsfähiges Material durch den Boden verbreitet werden kann, ist Kies oder anderes poröses Material unter den Pflanzischen verwendbar. Erdbeete sind ebenfalls geeignet, sofern nur eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, dass vermehrungsfähiges biologisches Material sich durch den Boden verbreiten kann.
2. Die Fenster und sonstigen Öffnungen des Gewächshauses können zur Belüftungszwecken geöffnet werden, wenn sie mit Insektenschutzgittern ausgestattet sind. Besondere Schutzvorrichtungen zur Abwehr von Pollen oder Mikroorganismen sind nicht erforderlich. Wenn Ausblasventilatoren verwendet werden, ist das Eindringen von Insekten auf ein Mindestmaß zu beschränken. Luftklappen und Ventilatoren sind so zu konstruieren, dass sie sich nur bei Inbetriebnahme des Ventilators öffnen.
3. Abfälle, die gentechnisch veränderte Mikroorganismen enthalten, dürfen nur in geeigneten Behältern

innerbetrieblich transportiert werden.

4. Werden anstelle von Gewächshäusern Klimakammern verwendet, gelten die vorstehenden Sicherheitsmaßnahmen sinngemäß.
5. Sofern erforderlich, sollte der Zutritt zum Gewächshaus über einen getrennten Raum mit zwei verriegelbaren Türen erfolgen. Zutritt zum Gewächshaus haben außer den in den Experimenten Beteiligten nur der Projektleiter oder durch ihn autorisierte Personen. Hierauf ist durch geeignete Kennzeichnung an den Zugängen hinzuweisen. Das Gewächshaus ist zusätzlich mit dem Warnzeichen "Biogefährdung" zu kennzeichnen.
6. Arbeitsgeräte, die in unmittelbarem Kontakt mit gentechnisch veränderten Organismen waren, müssen vor einer Reinigung autoklaviert oder desinfiziert werden, wenn bei diesem Kontakt gentechnisch veränderte Organismen übertragen werden können.
7. Gentechnisch veränderte Organismen dürfen nur in verschlossenen und gegen Bruch geschützten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.
8. Eine Händedesinfektionsmöglichkeit muß vorhanden sein.
9. Schutzkleidung ist vom Betreiber bereitzustellen und vom Beschäftigten zu tragen. Getrennte Aufbewahrungsmöglichkeiten für die Schutz- und Straßenkleidung sind vorzusehen. Die Reinigung der Schutzkleidung ist vom Betreiber durchzuführen. Die Schutzkleidung darf nicht außerhalb des Gewächshauses getragen werden.
10. Besteht ein Teil des Gewächshausbodens aus Kies oder ähnlichem Material, sind geeignete Behandlungen zur Beseitigung der im Kies eingefangenen Organismen durchzuführen.

III. Stufe 3

1. Der Fußboden des Gewächshauses ist aus wasserundurchlässigem Material mit Vorkehrungen zur Sammlung und Sterilisierung der Abwässer auszuführen. Dies ist nicht erforderlich, wenn die Experimentalpflanzen in geschlossenen Systemen kultiviert werden, bei denen eine Sammlung und Sterilisierung des Abwassers möglich ist.
2. Die Fenster und sonstigen Öffnungen sind zu verschließen und abzudichten. Es ist bruchsaferes Glas zu verwenden.
Das Gewächshaus muss ein in sich abgeschlossenes Gebäude mit durchgehendem Dach sein, das von den frei zugänglichen Bereichen abgetrennt ist.
3. Es muss eine Schleuse vorhanden sein, über die das Gewächshaus zu betreten und zu verlassen ist. Die Schleuse ist mit zwei selbstschließenden Türen auszustatten, von denen die Äußere abschließbar sein muss, und muss eine Händedesinfektionsvorrichtung enthalten. In der Regel ist in der Schleuse ein Handwaschbecken mit Ellbogen-, Fuß- oder Sensorbetätigung einzurichten.
4. In der Schleuse ist eine geeignete Schutzkleidung einschließlich Schuhwerk anzulegen. Beim Arbeiten sind Schutzhandschuhe zu tragen. Schutzkleidung und Handschuhe sind vom Betreiber bereitzustellen. Die Schutzkleidung umfasst einen an den Rumpfvorderseiten geschlossenen Schutzkittel mit Kennzeichnung, geschlossene Schuhe, die entsprechend der Tätigkeit anzulegen sind, sowie in Abhängigkeit von der Tätigkeit Mundschutz (Berührungsschutz). Die Schutzkleidung ist vor der Reinigung oder der Beseitigung zu sterilisieren.
5. Die Gewächshausanlage ist mit einem Sicherheitszaun zu umgeben oder durch ein gleichwertiges Sicherheitssystem zu schützen.
6. Die Innenwände, -decken und -böden müssen gegen Reinigungs- und Desinfektionsflüssigkeiten beständig sein. Alle Durchbrüche in den Strukturen und Flächen, wie Rohr- und Stromleitungen, sind abzudichten.
7. Vakuumleitungen sind durch Hochleistungsschwebstoff-Filter oder gleichwertige Filter und Verschlüsse für flüssige Desinfektionsmittel zu sichern.
8. Es muss ein gesondertes Be- und Entlüftungssystem vorhanden sein. Das System hat für die Druckunterschiede und die Luftstromausrichtung zu sorgen, die erforderlich sind, um eine Luftzufuhr von außen in das Gewächshaus sicherzustellen.
9. Die Abluft aus dem Gewächshaus ist durch Hochleistungsschwebstoff-Filter nach außen zu leiten, sofern mit pathogenen Organismen gearbeitet wird, für die eine Übertragung durch die Luft nicht ausgeschlossen werden kann. Bei dem Auswechseln des Filters muss dieser entweder zuerst sterilisiert oder zwecks späterer Sterilisierung unmittelbar in einen luftdichten Beutel verpackt werden. Die Belüftungsventilatoren sind mit Rückflußdämpfern auszustatten, die sich schließen, wenn der Belüftungsventilator abgeschaltet ist. Der Zu- und Abluftstrom wird unterbrochen, um jederzeit einen nach innen gerichteten (oder Null-)Luftstrom zu gewährleisten.

9a. Im Arbeitsbereich anfallende 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. Bei bestimmungsgemäßem Betrieb und unter Beachtung der organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen fallen aus der Schleuse keine kontaminierten Abwässer an.

10. Der Zutritt zum Gewächshaus ist auf die Personen zu beschränken, deren Anwesenheit zur Durchführung der Versuche erforderlich ist und die zum Eintritt befugt sind. Der Projektleiter ist verantwortlich für die Bestimmung der zutrittsberechtigten Personen.
11. Ein Autoklav oder eine gleichwertige Sterilisationseinheit muss im Gewächshaus vorhanden sein.
12. An den Zugangstüren zum Gewächshaus ist das Warnzeichen "Biogefährdung" anzubringen.
13. Gentechnisch veränderte Organismen dürfen nur in bruch sicheren, dicht verschlossenen, entsprechend gekennzeichneten und außen desinfizierten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.

IV. Stufe 4

1. Das Gewächshaus muss entweder aus einem separaten Gebäude oder einer klar abgegrenzten und isolierten Zone innerhalb eines Gebäudes bestehen.
2. Im Gewächshaus muss durch geeignete Lüftungssysteme ein Unterdruck gewährleistet sein.
3. Die Zugangstüren zum Gewächshaus sind selbstschließend und abschließbar auszuführen. Für die ein- und austretenden Beschäftigten müssen durch eine Dusche getrennte äußere und innere Umkleieräume zur Verfügung stehen.
4. Wände, Fußboden und Decke des Gewächshauses sind so zu konstruieren, dass sie eine gasundurchlässige innere Ummantelung bilden, die die Begasung ermöglicht und Sicherheit vor Anthropoden bietet.
Alle Durchbrüche sind gasdicht auszuführen. Lüftungsanlagen müssen Hochleistungsschwebstoff-Filter enthalten.
5. Ein Durchreicheautoklav zur Sterilisierung des Materials, das die Gewächshausanlage verlässt, hat zur Verfügung zu stehen. Die Autoklavtür, die sich nach außen öffnet, ist zur Außenwand abzudichten und automatisch zu kontrollieren, so dass die Außentür nur nach Abschluss des Sterilisationszyklus des Autoklaven geöffnet werden kann.
Eine begasbare Durchreiche oder eine gleichwertige Desinfektionsmethode hat zur Verfügung zu stehen, so dass das Material und die Ausrüstungsgegenstände, die nicht im Autoklaven sterilisiert werden können, sicher aus der Anlage gebracht werden können.
6. Jedes Gewächshaus muss ein eigenständiges Vakuumsystem besitzen. In-line-Hochleistungsschwebstoff-Filter sind so nahe wie möglich an jedem Punkt oder Vakuumzweignahn anzubringen. Andere Flüssigkeits- oder Gasleitungen zur Anlage sind durch Vorrichtungen zu sichern, die einen Rückfluss verhindern.
7. Der Druck ist durch ein Messgerät mit Alarmgeber laufend zu überwachen. Der Zu- und Abluftstrom wird unterbrochen, um jederzeit einen nach innen gerichteten (oder Null-) Luftstrom zu gewährleisten. Hochleistungsschwebstoff-Filter haben zur Verfügung zu stehen, um die der Anlage zugeführte Luft zu behandeln.
8. Der Zutritt in durch sichere, verschlossene Türen einzuschränken. Der Zugang ist vom Projektleiter zu regeln. Arbeiten mehrere Projektleiter in einem Bereich, hat der Betreiber den für die Regelung des Zugangs verantwortlichen Projektleiter zu bestimmen. Eintretende Personen sind vor dem erstmaligen Betreten über die einzuhaltenden Vorsichtsmaßnahmen zur Gewährleistung der Umweltsicherheit zu unterrichten. Es ist eine Liste aller Personen unter Angabe des Datums und des Zeitpunktes zu führen, die das Gewächshaus betreten und verlassen.
9. Bei einem Notfall sind alle angemessenen Maßnahmen zu treffen, um das Austreten vermehrungsfähigen biologischen Materials aus der gentechnischen Anlage zu verhindern.
10. Über das Material, das in das oder aus dem Gewächshaus verbracht ist, ist Buch zu führen. Versuchsorganismen, die in einem lebensfähigen oder intakten Zustand in das oder aus dem Gewächshaus verbracht werden sollen, sind in ein unzerbrechliches, versiegeltes Primärbehältnis zu geben und sodann in einem desinfizierten, versiegelten Transportbehältnis einzuschließen.
11. Zubehör und andere Hilfsmittel werden mittels des Durchreicheautoklaven, der Begasungskammer oder der Schleuse, die bei jeder Benutzung angemessen zu desinfizieren sind, eingebracht. Nach Sicherung der Außentüren haben die Beschäftigten innerhalb der Anlage zur Innentür des Autoklaven, der Begasungskammer oder der Schleuse zu gehen. Diese Türen sind zu sichern, nachdem das Material in die Anlage verbracht worden ist.

12. Kein Material, mit Ausnahme der Versuchsorganismen, die lebensfähig oder intakt bleiben sollen, darf ohne vorherige Sterilisierung aus dem Gewächshaus entfernt werden.
13. Gliederfüßer und andere Makroorganismen, die im Zusammenhang mit Versuchen benutzt werden, die eine physikalische Einschließung dieser Sicherheitsstufe erfordern, sind in entsprechenden Behältern unterzubringen. Soweit es der Organismus erforderlich macht, sind die Versuche in den Behältern, in denen die beweglichen Organismen festgehalten werden, durchzuführen.
14. In dem Warnhinweis vor biologischen Gefahren sind auch die benutzten Pflanzen, Mikroorganismen und Tiere sowie der Name des Projektleiters und anderer Verantwortlicher aufzuführen. Ferner hat er besondere Auflagen für das Betreten des Bereichs anzugeben.
15. Unfälle im Gewächshaus, die eine unbeabsichtigte Freisetzung oder Streuung von Mikroorganismen zur Folge haben, sind unverzüglich dem Projektleiter und den jeweils zuständigen Behörden zu melden. Über diese Unfälle sind schriftliche Aufzeichnungen anzufertigen und aufzubewahren.
16. Das Gewächshaus darf nur durch die Umkleide- und Duschräume betreten und verlassen werden. Für die Beschäftigten, die die Anlage betreten, ist vollständige Schutzkleidung (möglicherweise Einwegkleidung), einschließlich Unterwäsche, Hosen und Hemden oder Overalls, Schuhen und Kopfbedeckungen vom Betreiber zur Verfügung zu stellen und von den Beschäftigten zu tragen. Bei Verlassen des Gewächshauses und vor Betreten des Duschbereichs haben die Beschäftigten ihre Schutzkleidung abzulegen und in einem Schließfach oder Wäschekorb im inneren Umkleideraum aufzubewahren. Die Beschäftigten haben sich bei jedem Verlassen der Anlage zu duschen. Alle Schutzkleidungen sind vor der Reinigung zu sterilisieren.

Anhang V

Sicherheitsmaßnahmen für Tierhaltungsräume

Die Anforderungen der niedrigen Stufen sind von den höheren eingeschlossen. Sofern in Tierhaltungsräumen mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen gearbeitet wird, gelten sinngemäß zusätzlich die Anforderungen des Anhangs III für Laboratorien der entsprechenden Sicherheitsstufe.

I. Stufe 1

1. Sofern erforderlich, ist eine Abschirmung der Tieranlage (Gebäude oder abgetrennter Bereich innerhalb eines Gebäudes mit Tierhaltungsräumen und anderen Bereichen wie Umkleideräumen, Duschen, Autoklaven, Futterlagerräumen usw.) vorzunehmen.
2. Der Tierhaltungsraum (Raum oder Einrichtung, in denen normalerweise Vieh-, Zucht- oder Versuchstiere gehalten werden bzw. kleinere operative Eingriffe vorgenommen werden) ist als Gentechnik-Arbeitsbereich zu kennzeichnen. Er muss leicht zu reinigen und zu desinfizieren sein. In Abhängigkeit von der Tätigkeit ist eine ausreichende Arbeitsfläche für jeden Mitarbeiter zu gewährleisten.
3. Der Zutritt zum Raum ist auf hierzu ermächtigte Personen zu beschränken.
4. Es soll geeignete Schutzkleidung und geeignetes Schuhwerk getragen werden, das bei Verlassen des Tierhaltungsraums zu säubern oder abzulegen ist. Schutzkleidung und Schuhwerk sind vom Betreiber bereitzustellen.
5. Die Tierhaltungsräume müssen in Abhängigkeit von der Belegungsdichte ausreichend belüftet sein.
6. Tierhaltungsräume müssen für die beherbergten Tiere fluchtsicher und abschließbar sein.
7. Tiere sind in Tierkäfigen oder anderen für die Tierart geeigneten Einrichtungen unterzubringen.
8. Besteht bei transgenen Tieren keine Gefahr eines horizontalen Transfers des übertragenen Gens, können sie auch außerhalb in einem sicher eingefriedeten Bereich oder auf andere Weise eingeschlossen gehalten werden. Der Möglichkeit eines Diebstahls oder Entweichens ist durch geeignete Maßnahmen entgegenzuwirken. Die Überwachung des Tieres hat zu gewährleisten, dass ein Entweichen unverzüglich entdeckt werden kann.
9. Ein Eindringen von Wildformen der entsprechenden Tierarten in die Tierhaltungsräume muss ausgeschlossen sein.
10. Mundpipettieren ist untersagt: Pipettierhilfen sind zu benutzen.
11. Bei allen Arbeiten muß darauf geachtet werden, dass Aerosolbildung so weit wie möglich vermieden wird.
12. Es sollen Maßnahmen ergriffen werden, um eine Fortpflanzung der Tiere zu verhindern, sofern nicht die Reproduktion Teil des Experiments ist.
13. Alle Tiere müssen leicht und versuchsbezogen zu identifizieren sein.
14. Die Hände sind unverzüglich zu desinfizieren oder zu waschen, wenn Verdacht auf Kontamination besteht, sowie nach dem Umgang mit Tieren oder Tierabfällen.
15. Bei Verletzungen im Zusammenhang mit Tätigkeiten mit gentechnischen Arbeiten und infizierten oder infektionsverdächtigen Tieren sind Erste-Hilfe-Maßnahmen einzuleiten, der Projektleiter zu informieren und ggf. medizinische Hilfe in Anspruch zu nehmen.
16. Das Personal ist im Umgang mit den zu verwendenden Tieren zu schulen. Die für den Umgang mit Tieren verantwortliche Person muss sicherstellen, dass alle, die mit den Tieren und dem Abfallmaterial in Berührung kommen, mit den örtlichen Regeln vertraut sind und alle anderen möglicherweise erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen und Verfahren kennen.
17. Ungeziefer ist in geeigneter Weise zu bekämpfen.
18. Nahrungs- und Genussmittel sowie Kosmetika dürfen im Arbeitsbereich nicht aufbewahrt werden.
19. Im Tierhaltungsraum darf nicht gegessen, getrunken, geraucht oder geschnupft werden. Für die Beschäftigten sind Bereiche einzurichten, in denen sie ohne Beeinträchtigung ihrer Gesundheit durch gentechnisch veränderte Organismen essen, trinken, rauchen oder schnupfen können.
20. Tierkäfige und andere Einrichtungen sind nach Gebrauch zu reinigen.
21. Material, das zur Sterilisierung oder Verbrennung bestimmt ist, sowie benutzte Tierkäfige und andere Einrichtungen sind so zu transportieren, dass Verunreinigungen der Umgebung auf das geringstmögliche Maß zu reduzieren sind.

II. Stufe 2

1. Alle Tiere sind in umschlossenen und abschließbaren Räumlichkeiten (Tierhaltungsräume o. ä.) zu halten, um die Möglichkeit eines Diebstahls oder unbeabsichtigter Freisetzung auszuschalten. Die Räumlichkeiten sind zusätzlich mit dem Warnzeichen "Biogefährdung" zu kennzeichnen.
2. Der Tierhaltungsraum muss ein gesondertes Gebäude oder ein eindeutig abgegrenzter und räumlich abgetrennter Bereich innerhalb eines Gebäudes sein.
3. Befinden sich infizierte Tiere im Tierhaltungsraum, muss die Tür geschlossen bleiben. Sie ist mit einem Hinweis zu versehen, der auf die Art der Arbeiten hinweist.
4. Im Tierhaltungsraum ist eine Händedesinfektionseinrichtung bereitzustellen. Nach Abschluss der Arbeit sind die Hände zu desinfizieren. Es ist für eine Handwaschgelegenheit, vorzugsweise im Tierhaltungsraum, zu sorgen. Ist dies nicht möglich, ist diese im angrenzenden Bereich zu installieren. Wasserarmaturen sollten handbedienungslos, z. B. mit Ellenbogen-, Fuß- oder Sensorbetätigung eingerichtet sein. Es sind Handtücher zum einmaligen Gebrauch und Hautpflegemittel zur Verfügung zu stellen.
5. Bei Arbeiten, bei denen Aerosole entstehen können, sind folgende Maßnahmen zu treffen:
 - a) Durchführung der Arbeiten in einer Sicherheitswerkbank oder unter einem Abzug, bei denen ein Luftstrom vom Experimentator zur Arbeitsöffnung hin gerichtet ist,
 - b) Benutzung von Geräten, bei denen keine Aerosole freigesetzt werden, oder
 - c) das Tragen geeigneter Schutzausrüstung, wenn technische und organisatorische Maßnahmen nicht ausreichen oder nicht anwendbar sind.Die Abluft aus den unter den Buchstaben a und b genannten Geräten muss durch einen Hochleistungsschwebstoff-Filter geführt oder durch ein anderes geprüftes Verfahren keimfrei gemacht werden.
6. Es sind Maßnahmen zum Schutz vor Arthropoden und Nagetieren zu ergreifen.
7. Gentechnisch veränderte Organismen dürfen nur in verschlossenen, gegen Bruch geschützten und bei Kontamination von außen desinfizierbaren, gekennzeichneten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.
8. Für das Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen ist ein Hygieneplan zu erstellen.
9. Der Tierhaltungsraum ist regelmäßig zu reinigen und zu desinfizieren. Sind Fußbodenabflüsse im Tierhaltungsraum vorhanden, muss in den Auffangbehältern immer Wasser stehen. Die Auffangbehälter sind regelmäßig zu desinfizieren und zu reinigen.
10. Arbeitsflächen sind nach Beendigung der Tätigkeit zu desinfizieren.
11. Arbeitsgeräte, die in unmittelbarem Kontakt mit gentechnisch veränderten Organismen waren, müssen vor einer Reinigung, Wartung oder Reparatur autoklaviert oder desinfiziert werden, wenn bei diesem Kontakt gentechnisch veränderte Organismen übertragen werden können.
12. Tierkäfige und andere Einrichtungen sind nach Gebrauch zu desinfizieren.
13. Abfälle, die gentechnisch veränderte Organismen enthalten, dürfen nur in geeigneten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.
14. Schutzkleidung ist vom Betreiber bereitzustellen und vom Beschäftigten zu tragen. Getrennte Aufbewahrungsmöglichkeiten für die Schutz- und Straßenkleidung sind vorzusehen. Die Reinigung der Schutzkleidung ist vom Betreiber durchzuführen. Die Schutzkleidung darf nicht außerhalb der Arbeitsräume getragen werden.
15. Sofern erforderlich, sollten Filter an Isolatoren oder isolierten Räumen vorgesehen werden.
16. Einrichtungen zur Immobilisierung zwecks gefahrloser Handhabung infizierter oder zu infizierender Tiere sind bereitzuhalten. Eine Sicherheitsbeleuchtung ist für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung für den Fall vorzusehen, dass die Allgemeinbeleuchtung ausfällt (Befriedung der Tiere).

III. Stufe 3

1. In den Tierhaltungsräumen müssen
 - a) n der Regel eine Schleuse vorhanden sein, über die der Tierhaltungsraum zu betreten und zu verlassen ist. Die Schleuse ist mit zwei selbstschließenden Türen auszustatten, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb gegeneinander verriegelt sind; sie muss eine Händedesinfektionsvorrichtung enthalten. In der Regel ist in der Schleuse ein Handwaschbecken mit Ellenbogen-, Fuß- oder Sensorbetätigung einzurichten. In begründeten Einzelfällen ist eine Dusche einzurichten.
 - b) nicht zu öffnende Fenster,
 - c) übergangslose Fußleisten,
 - d) Notstromversorgung für sicherheitsrelevante Einrichtungen (z.B. Lüftungsanlage, Isolator),
 - e) Gasnotschalter,
 - f) sofern mit pathogenen Organismen gearbeitet wird, für die eine Übertragung durch die Luft nicht ausgeschlossen werden kann, ständiger, durch Alarmgeber kontrollierbarer Unterdruck und Hochleistungsschwebstoff-Filter zur Filtration der Abluft,
 - g) aufgehoben
 - h) ein Autoklav oder eine gleichwertige Sterilisationseinheit,
 - i) geeignete Einrichtungen zur Verhinderung des Eindringens von Insekten, Nagern und Vögeln,
 - j) aufgehobenvorhanden sein.
2. Der Zutritt zum Tierhaltungsraum ist auf die Personen zu beschränken, deren Anwesenheit für die Durchführung der Versuche erforderlich ist und die zum Eintritt befugt sind. Der Projektleiter ist verantwortlich für die Bestimmung der zutrittsberechtigten Personen. Die Anwesenheit der Personen ist zu dokumentieren. Eine Person darf nur dann allein im Tierhaltungsraum arbeiten, wenn die Handhabung der Versuchstiere allein sicher beherrschbar ist und eine von innen zu betätigende Alarmanlage oder ein anderes geeignetes Überwachungssystem vorhanden ist.
3. In der Schleuse ist eine geeignete Schutzkleidung einschließlich Schuhwerk anzulegen. Beim Arbeiten sind Schutzhandschuhe zu tragen. Schutzkleidung und Handschuhe sind vorn Betreiber bereitzustellen. Die Schutzkleidung ist vor der Reinigung oder der Beseitigung zu sterilisieren. Die Schutzkleidung umfasst einen an den Rumpfvorderseiten geschlossenen Schutzkittel mit Kennzeichnung, geschlossene Schuhe, die entsprechend der Tätigkeit anzulegen sind, sowie in Abhängigkeit von der Tätigkeit Mundschutz (Berührungsschutz).
4. Gentechnisch veränderte Organismen dürfen nur in bruch sicheren, dicht verschlossenen, entsprechend gekennzeichneten und außen desinfizierten Behältern innerbetrieblich transportiert werden.
5. Die Arbeitsbereiche sind nach Verschütten von kontaminiertem Material sofort zu desinfizieren.
6. Bei der Entsorgung von Tierkadavern und Tiermaterial ist folgendes zu beachten:
 - a) Tierkadaver und Tiermaterial sind vor der Entsorgung zu sterilisieren.
 - b) Ist die Sterilisierung im Tierhaltungsraum nicht möglich, hat der Transport in dicht geschlossenen, bruch sicheren, lecksicheren und außen desinfizierten Behältern zu erfolgen.
 - c) Die Sterilisierung hat durch Verbrennen oder eine sonstige geeignete Weise zu erfolgen, wobei sichergestellt sein muss, dass auch die Kernschichten des Tierkadavers erfasst werden.
7. Beim Auswechseln von Filtern, z.B. der Lüftungstechnischen Anlage oder der Sicherheitswerkbank, müssen diese entweder am Einbauort sterilisiert oder zwecks späterer Sterilisierung durch ein geräte-seits vorgesehene Austauschsystem in einen luftdichten Behälter verpackt werden, so dass eine Infektion des Wartungspersonals und anderer Personen ausgeschlossen werden kann.
8. Im Arbeitsbereich anfallende 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.
Bei bestimmungsgemäßem Betrieb und unter Beachtung der organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen fallen aus der Schleuse keine kontaminierten Abwässer an. Eine Einrichtung zur Desinfektion der Hände muss vorhanden sein.
9. Filter an Isolatoren oder isolierten Räumen (durchsichtige Behälter, in denen kleine Tiere innerhalb oder außerhalb eines Käfigs gehalten werden; für große Tiere können isolierte Räume angebracht sein) sind vorzusehen.

IV. Stufe 4

1. Es muss entweder ein gesonderter Tierhaltungsraum oder ein eindeutig abgegrenzter und räumlich abgetrennter Bereich innerhalb eines Gebäudes zur Verfügung stehen. Die Zugangstüren zum Bereich sind selbstschließend und abschließbar auszuführen.
2. Der Tierhaltungsraum darf nur über eine dreikammerige Schleuse mit Dusche und Möglichkeiten zum getrennten Ablegen und Aufbewahren von Straßen- und Schutzkleidung betreten werden. Vor dem Betreten des Tierhaltungsraumes sind alle Kleidungsstücke, einschließlich Uhren und Schmuck, abzulegen und zu deponieren. Bei Verlassen des Raumes ist die Schutzkleidung abzulegen und zu dekontaminieren. Die Beschäftigten haben zu duschen.
3. Es muss ein gesondertes Belüftungssystem vorhanden sein. Durch Unterdruck im Raum ist sicherzustellen, dass die Luft von außerhalb nach innen strömt. Zu- und Abluft sind so zu koppeln, dass die Luft keinesfalls unkontrolliert aus dem Bereich austreten kann. Die Abluft ist über Hochleistungsschwebstoff-Filter so abzuleiten, dass sie nicht in andere Arbeitsbereiche oder Ansaugvorrichtungen von Lüftungsanlagen kommen kann.
4. Der Zutritt ist nur Personen erlaubt, deren Anwesenheit im Tierhaltungsraum zur Durchführung der Versuche erforderlich ist. Der Projektleiter ist verantwortlich für die Festlegung der näheren Umstände und die Bestimmung, wer berechtigt ist, während der Versuche den Tierhaltungsraum zu betreten oder dort zu arbeiten. Der Zugang ist vom Projektleiter zu regeln. Arbeiten mehrere Projektleiter in einem Bereich, hat der Betreiber den für die Regelung des Zugangs verantwortlichen Projektleiter zu bestimmen. Die Anwesenheit von Stammpersonal und Betriebsfremden ist zu dokumentieren.
5. Für die Desinfektion von Materialien, die aus dem Bereich ausgeschleust werden, muss eine desinfizierbare Schleuse zur Verfügung stehen. Die Desinfektion kann z.B. durch Dampf, chemische Mittel oder energiereiche Strahlung erfolgen.
6. Die im Tierhaltungsraum benötigten Materialien, Gegenstände und Tiere sind über Schleusen, Begasungskammern oder Durchreicheautoklaven mit Einrichtungen zur Desinfektion einzubringen. Vor und nach dem Einschleusen ist die Schleuse zu desinfizieren.
7. Gentechnisch veränderte Organismen oder damit kontaminiertes biologisches Material, das zu weiteren Untersuchungen im lebensfähigen oder intakten Zustand ausgeschleust werden soll, ist in einen unzerbrechlichen, dicht verschlossenen Behälter zu verpacken und entsprechend zu desinfizieren (z.B. Tauchbad mit Desinfektionsmittel, Begasung). Der Behälter ist in einen unzerbrechlichen zweiten Behälter zu stellen, der auch dicht verschlossen wird.
8. Alle übrigen Materialien müssen vor der Entfernung aus dem Tierhaltungsraum sterilisiert oder durch eine gleichwertige Behandlung desinfiziert werden. Ist dies nicht möglich, muss das Material in einem geschlossenen, bruchsicheren, lecksicheren Primärbehälter verpackt und in einem desinfizierten, versiegelten Transportbehälter zur Entsorgung verbracht werden.
9. Arbeiten mit humanpathogenen Organismen der Sicherheitsstufe 4 haben im Tierhaltungsraum, soweit dies möglich ist (z.B. bei kleinen Versuchstieren), in einer Sicherheitswerkbank der Klasse III oder in geschlossenen Apparaturen oder mit fremdbelüfteten Vollschutzanzügen zu erfolgen.
10. Bei einem Notfall sind alle angemessenen Maßnahmen zu treffen, um das Austreten vermehrungsfähigen biologischen Materials aus dem Tierhaltungsraum zu verhindern.
11. Im Übrigen müssen die Sicherheitsmaßnahmen denjenigen für ein Labor der Sicherheitsstufe 4 entsprechen.

H i n w e i s

Die bisher veröffentlichten Forschungsberichte können auf den Homepages der

**Forschungsstelle für Brandschutztechnik
am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

<http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/>

und des

Instituts der Feuerwehr Sachsen-Anhalt in Heyrothsberge

<http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/index.php?id=25361>

eingesehen werden.