

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Heyrothsberge

Förderkennzeichen 306 09 007

Substitution bestimmter umweltschädlicher Feuerlöschmittel in ausgewählten Anwendungsbereichen

Themenleiter: Dr. Georg Pleß

Bearbeiter: Dr. Georg Pleß
Dipl.-Chem. Ursula Seliger

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Juni 2003

BERICHTS-KENNBLETT

1. BERICHTSNUMMER

417

2. TITEL DES BERICHTES (KURZ)

Substitution umweltschädigender Feuerlöschmittel

3. AUTOR(EN)

Brandoberrat Dr. G. Pleß
Dipl.-Chem. U. Seliger

4. DURCHFÜHRENDE INSTITUTION (NAME/ANSCHRIFT)

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Biederitzer Straße 5
D-39175 Heyrothsberge
Direktor: Prof. Dr. rer. nat. habil. Grabski
Leitender Branddirektor

5. FÖRDERNDE INSTITUTION/AUFTRAGGEBER (NAME/ANSCHRIFT)

Umweltbundesamt
Bismarckplatz 1
14 193 Berlin

6. ABSCHLUßDATUM

30.04.2003

7. FÖRDER-/ AUFTRAGS-NR.

306 09 007

8. SEITENZAHL

67

Geschäftszeichen Z1.6-54352-1/30

9. ABBILDUNGEN/ ABBILDUNGEN ANLAGE

5/5

10. TABELLEN/TABELLEN ANLAGE

8/8

11. LITERATURANGABEN

66

12. KURZFASSUNG

Halone als Löschmittel sind, ausgenommen Anwendungen in der militärischen und zivilen Luftfahrt, in allen Anwendungsbereichen durch alternative Löschmittel ersetzbar. Die alternativen Löschmittel werden beschrieben und ihre Vor- und Nachteile abgewogen. Es wird festgestellt, dass für neue HFKW Löschmittel, aber auch für Wasserdampf und Gasgeneratoren keine ausreichenden Informationen zur Verfügung stehen. In der Studie wird vorgeschlagen, dass für toxische und chemische Löschmittel, die beim Löschen toxische Verbindungen bilden können, immer Sicherheitsdatenblätter zum Umfang des Angebots gehören sollten. Die Auswahl alternativer Löschmittel kann nicht nach allgemeinen Kriterien erfolgen sondern muss objektbezogen durchgeführt werden, wobei die Gesamtheit der Eigenschaften einschließlich Toxizität und Umweltschädigung berücksichtigt werden muss.

13. SCHLAGWÖRTER

alternative Löschmittel, Halonersatz, HFKW, Löschwirkung, Toxizität, Umweltverträglichkeit

14. VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

INHALTSVERZEICHNIS

1.	AUSGANGSSITUATION	4
2.	ENTWICKLUNGEN ZUR DURCHSETZUNG DES HALONVERBOTES	5
2.1.	BEKANNTE VOLUMENLÖSCHMITTEL	5
2.2.	ENTWICKLUNG NEUER CHEMISCHER LÖSCHMITTEL	7
3.	EIGENSCHAFTEN VON ALTERNATIVEN VOLUMENLÖSCHMITTELN	12
3.1.	GASFÖRMIGE VOLUMENLÖSCHMITTEL	12
3.1.1.	Gemeinsame Eigenschaften	12
3.1.2.	Stickstoff (IG-100)	16
3.1.3.	Argon (IG-01)	17
3.1.4.	Inergen (IG-541)	17
3.1.5.	Kohlendioxid	18
3.1.6.	Chemische Löschmittel	19
3.2.	FLÜSSIGE UND FESTE VOLUMENLÖSCHMITTEL	28
3.2.1.	Wasser	28
3.2.2.	Löschpulver	29
3.2.3.	Gasgeneratoren und pyrotechnische Aerosole	30
3.3.	AKTIVER BRANDSCHUTZ DURCH VERHINDERUNG DER ZÜNDUNG	31
3.3.1.	Ansätze für technische Maßnahmen	31
3.3.2.	Branderkennung in elektronischen Anlagen	31
3.3.3.	Brandunterdrückung durch Minderung der Sauerstoffkonzentration	32
3.4.	GESAMTBEWERTUNG ALTERNATIVER LÖSCHVERFAHREN	32
4.	TECHNISCHE LÖSUNGEN IN KRITISCHEN BEREICHEN	35
4.1.	FLUGHÄFEN	35
4.2.	TRIEBWERKSPRÜFSTAND ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND	36
4.3.	FAHRZEUGPRÜFSTAND	38
4.4.	BIBLIOTHEKEN	38
4.5.	MUSEEN	39
4.6.	IT – ANLAGEN , SCHALTSCHRÄNKE, ELEKTRISCHE BETRIEBS-RÄUME	40
5.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	41
6.	LITERATUR	43
	Anlage 1 Militärische Anwendungen von Halonen und alternative Löschmittel.....	48
	Anlage 2 Zersetzung von HFKW	50
	Anlage 3 GWP von HFKW und FKW.....	55
	Anlage 4 Emissionen von Treibhausgasen in Deutschland	58
	Anlage 5 Verringerung von Emissionen durch Treibhausgase.....	62
	Anlage 6 Verfügbare Sicherheitsdatenblätter und Stoffbewertungen der HFKW als pdf-Dateien.....	64
	Anlage 7 Verwendete Abkürzungen.....	66

1. Ausgangssituation

Das Montrealer Protokoll zum Schutz der Ozonschicht stellt für alle chlorierten und bromierten Halone, die für die verschiedensten Anwendungsgebiete in großen Mengen hergestellt wurden, den Beginn einer schrittweisen Substitution dar. Die für den Ausstieg aus der Produktion festgelegten internationalen und nationalen Grundlagen geben einen angemessenen Zeitraum für ein vollständiges Produktionsverbot der Halone vor. Dieser Zeitraum endet im Jahr 2040. In der Zwischenzeit wird die Produktion schrittweise verringert und alternative Stoffe für den Ersatz von Halonen in allen Anwendungsbereichen gesucht.

In der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung [FCKW-VerbV 1991] wird für den Bereich der Löschmittel ausgesagt, dass Halone für die Brandbekämpfung nur noch in Bereichen erlaubt werden, in denen sie zum Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen zwingend erforderlich sind. Die Zulassung erfolgt auf Antrag bei der zuständigen Behörde und in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt. Für kritische Verbindungen (Halon 1301 und Halon 1211) sollte die Ablösung bis zum 31.12.2003 erfolgen. Die Verordnung der EG [V 2037/2000 EG] legt einen Stufenplan fest, der sich an den internationalen Festlegungen orientiert und eine schrittweise Minderung der Mengen vorschreibt, welche jährlich in den Verkehr gebracht werden dürfen. Erst ab dem 31.12.2009 dürfen weder Hersteller noch Einführer teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe in den Verkehr bringen oder selbst verwenden. Der Einsatz von Brandschutzeinrichtungen und Feuerlöschern mit Halonen wird mit Ausnahme der nachfolgend aufgeführten Verwendungszwecke, bis zum 31. Dezember 2003 eingestellt. Eine Begrenzung in diesen Anwendungsbereichen wird in der Entscheidung der EU vom 07.03.2003 [EU 2003] zur Veränderung der Verordnung 2037/2000 nicht mehr vorgenommen.

Tabelle 1: Kritische Verwendungszwecke von Halonen (Anhang VII)

Verwendung von Halon 1301
<ul style="list-style-type: none">• in Flugzeugen für den Schutz von Mannschaftsräumen, Maschinenhäusern, Frachträumen und Trockenbuchten (dry bays) sowie zur Inertisierung von Treibstofftanks;• in militärischen Land- und Wasserfahrzeugen zum Schutz von Mannschafts- und Maschinenräumen;• zur Inertisierung von besetzten Räumen, in denen brennbare Flüssigkeiten und/oder entzündliche Gase freigesetzt werden können, im militärischen Bereich, im Erdöl- und Erdgassektor und in der Petrochemie sowie in bestehenden Frachtschiffen;• zur Inertisierung von bestehenden bemannten Kommunikations- und Befehlszentren, die zur Verteidigung gehören oder anderweitig für die nationale Sicherheit wesentlich sind;• zur Inertisierung von Räumen, in denen das Risiko einer Dispersion radioaktiver Stoffe bestehen könnte;• in Anlagen des Ärmelkanal –Tunnels und damit verbundenen Einrichtungen und rollendem Eisenbahnmateriale.
Verwendung von Halon 1211
<ul style="list-style-type: none">• in militärischen Land- und Wasserfahrzeugen zum Schutz von Mannschafts- und Maschinenräumen;• in an Bord von Flugzeugen verwendeten Handfeuerlöschern und fest installierten Löschvorrichtungen für Maschinen;• in Flugzeugen zum Schutz von Mannschaftsräumen, Maschinenhäusern, Frachträumen und Trockenbuchten (dry bays);• in Feuerlöschgeräten für Löschmannschaften, die für den Selbstschutz am Anfang der Brandbekämpfung wesentlich sind;• in Militär- und Polizeifeuerlöschern für Personen.

Die dargestellten Verwendungen beziehen sich auf den militärischen Bereich, der in dieser Untersuchung ausgeklammert wurde. Aber auch im militärischen Bereich sind alternative Löschmittel verfügbar. Für viele Anwendungen bestehen bereits alternative Lösungen, wie der UNEP Report 2002 zeigt [UNEP 2002]. Die Anwendungsgebiete im militärischen Bereich sind in der Anlage 1 – Anwendung von Halonen im militärischen Bereich und alternative Lösungen – aus dem Report des technischen Ausschusses zusammengestellt. Neben dem militärischen Bereich wurden aus dem Bereich der zivilen Luftfahrt die Ausrüstungen der Luftfahrzeuge und aus dem Bereich der Schifffahrt die Ausrüstungen der Schiffe in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die darüber hinausgehenden Anwendungen beziehen sich auf vorhandene Anlagen. In Deutschland sind aber bis auf wenige Ausnahmen auf Flughäfen aus dem Bereich der zivilen Luftfahrt keine weiteren Halonanwendungen bekannt.

2. Entwicklungen zur Durchsetzung des Halonverbotes

2.1. Bekannte Volumenlöschmittel

Als Volumenlöschmittel werden Löschmittel bezeichnet, die ihre Löschwirkung in den Flammen entfalten und die Verbrennungsreaktion durch Radikalbindung, Stoßreaktionen oder Energieaufnahme unterbrechen.

Betriebe, die Halonfeuerlöscher und –löschanlagen herstellen und handeln und spezielle Anwender begannen bereits im Vorfeld bzw. unmittelbar nach Inkrafttreten der Verbotsverordnungen mit einer gezielten Forschungstätigkeit, um alternative Stoffe zur Substitution der bisher eingesetzten Halone zu finden.

Für das Anwendungsgebiet der chemischen Löschmittel bedeutete dies eine weltweit einsetzende Forschungsarbeit zum Ersatz der als Löschmittel verwendeten Halone und HCFKW.

Die Erweiterung der Anwendungsgebiete einiger bekannter Löschmittel einschließlich der technischen Weiterentwicklung der Löschverfahren war ein wesentlicher Schwerpunkt. Insbesondere wurden folgende Löschmittel neu bewertet:

- Löschgase einschließlich Gasgeneratoren,
- Trockenlöschpulver einschließlich pyrogene Aerosole und
- Wasser in feinsten Verteilung als Wasserdampf (Water Mist).

Die Arbeiten zu diesen Themen wurden in den USA und in anderen Industriestaaten in Angriff genommen. Halone greifen als chemische Löschmittel direkt in die Verbrennungsreaktion ein. Sie reagieren mit den Radikalen, die während der Verbrennung entstehen und diese tragen. Die Radikale rekombinieren durch Vermittlung der Halone bzw. sie verlieren durch die zeitweilige Reaktion mit Bruchstücken der Halone ihre Energie, so dass die Kettenreaktion der Verbrennung unterbrochen werden kann. Halone besitzen negativ wirkende katalytische Eigenschaften, welche die unmittelbar an der Verbrennung beteiligten chemischen Zwischenprodukte beeinflussen. Sie stellen somit ein typisches Löschmittel dar, welches in der Flamme bzw. in dem von dieser eingenommenen Volumen wirkt. Der Ersatz der Halone kann deshalb auch nur durch Volumenlöschmittel erfolgen.

Die Löschwirkung eines Volumenlöschmittels kann nur dann eintreten, wenn im gesamten Flammenvolumen die Anzahl der Radikale nicht mehr ausreicht, die Verbrennungsreaktion zu unterhalten. Dieses Löschkriterium ist nicht durch eine Löschzeit zu charakterisieren, wie es bei Oberflächenlöschmitteln typisch ist. Bei Erreichen der löschwirksamen Konzentration des Löschmittels, bei der die Verbrennung in der Flamme schlagartig unterbrochen wird, tritt der Löscherfolg ein. Unter Berücksichtigung, dass die eigentlichen Verbrennungsvorgänge

an das Vorhandensein von Radikalen in der Flamme gebunden sind, kann man die Wirkung der Volumenlöschmittel auch in brennenden Flammen an Hand der jeweiligen Radikalkonzentrationen nachweisen. Als geeignete Radikale zur Bewertung einer wirksamen Flammenunterdrückung werden OH^* , H^* und O^* Radikale verwendet [Babushok et al. 1996]. Da die Löschkonzentration im Volumen das Kriterium für das Verlöschen der Flamme im Raumvolumen darstellt, wird diese als Maß für eine Bewertung alternativer Löschmittel herangezogen. Es sei dabei bemerkt, dass beim Erreichen der Löschkonzentration im Volumen bei jedem Volumenlöschmittel der Löscherfolg eintritt und dass sich die Geschwindigkeit des Löschens an diesem Punkt zwischen den Löschmitteln nicht unterscheidet. Damit werden bei der Anwendung alternativer Löschmittel die Zeiten bis zum Erreichen des Löscherfolges durch technische Bedingungen der Löschanlagen wie Flutungszeiten, Bevorratungsmengen, Druckausgleich im Raum und physikalische Eigenschaften der Löschmittel, insbesondere kritischer Druck, Volumen in der flüssigen Phase, Joule – Thomson – Effekt, spezifische Wärme und Verdampfungsenthalpie bestimmt.

Grundsätzlich sind folgende Löschmittel, die ihre Löschwirkung im Flammenvolumen entfalten, als alternative Löschmittel für den Ersatz von Halonen geeignet:

- Löschgase, insbesondere Edelgase (Helium, Argon); reaktionsträge Elemente (Stickstoff) und Nichtmetalloxide (Kohlendioxid, Wasserdampf), Verbrennungsgase aus Gasgeneratoren
- Löschpulver, insbesondere Natriumbicarbonat und Kaliumsulfat (B,C – Löschpulver); Ammoniumphosphate (A,B,C – Löschpulver) sowie pyrogene Aerosole
- Löschwasser in feinsten Verteilung

Die [OSHA 1996] gibt in ihren Unterlagen für die Ausbildung in der Brandbekämpfung einen kurzgefassten tabellarischen Überblick der Vor- und Nachteile verschiedener Löschmittel.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Löschmitteln

Wasser	
Vorteile : <ul style="list-style-type: none"> ▪ besitzt kühlende Wirkung ▪ wirksam bei Bränden der Brandklasse A ▪ preisgünstig ▪ reichlich vorhanden ▪ nicht toxisch 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ elektrische Leitfähigkeit ▪ nicht wirksam bei Bränden der Brandklasse B ▪ nicht frostbeständig ▪ Löslichkeit von Schadstoffen im Wasser
Kohlendioxid	
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ reduziert den Sauerstoff auf weniger als 15% ▪ löschwirksam bei Bränden der Brandklasse B und C ▪ kein Rückstand ▪ relativ unbeweglich 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ erst ab Konzentration >35 Vol.-% löschwirksam ▪ für Menschen bei Konzentrationen >4 Vol.-% giftig ▪ nicht das beste Löschmittel für schwelende tiefsitzende Feuer (Löschkonzentration für >20 Minuten beibehalten) ▪ verteilt sich schnell und erlaubt Rückzündungen ▪ keine Kühlwirkung bei elektronischen Bauteilen ▪ Dampfdichte 1,5 (sammelt sich in Gruben und Senken)
Löschpulver Natriumbicarbonat	
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ wirksam als Inhibitor ▪ effizient bei Bränden der Brandklassen B und C ▪ ungiftig 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ hinterlässt Rückstände ▪ Pulverwolke verdeckt die Sicht ▪ unwirksam bei Bränden der Brandklasse A ▪ nimmt Feuchtigkeit auf und verklumpt ▪ der Impuls der Pulverwolke kann Flüssigkeiten verspritzen
Löschpulver Ammoniumphosphat	
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ wirksam als Inhibitor ▪ effizient bei Bränden der Brandklassen A, B und C ▪ nicht leitfähig 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pulverwolke verdeckt die Sicht ▪ Reizwirkung durch das Löschpulver ▪ der Impuls der Pulverwolke kann Flüssigkeiten verspritzen

noch Tabelle 2

Halon 1301 Bromtrifluormethan	
Vorteile: <ul style="list-style-type: none">▪ wirksam als Inhibitor▪ effizient bei Bränden der Brandklassen A, B und C▪ nicht sehr giftig bei Konzentrationen <10 Vol.-%▪ löschwirksam bei generell <7 Vol.-%▪ Kein Rückstand	Nachteile: <ul style="list-style-type: none">▪ keine Kühlwirkung bei elektronischen Bauteilen▪ giftig bei Konzentrationen >10 Vol.-% (betäubend und Herzsensibilisierung)▪ Spätfolgen oder chronische Effekte sind nicht bekannt▪ giftige Zersetzungsprodukte werden beim Löschen gebildet▪ Dampfdichte 5 (sammelt sich in Gruben und Senken)▪ Produktion eingeschränkt (Montrealer Protokoll) wegen Ozonzerstörung▪ Zersetzungsprodukte: HF; HBr; Br₂; COF₂; COBr₂
Halon 1211 Bromchlordifluoromethan	
Vorteil: <ul style="list-style-type: none">▪ wirksam als Inhibitor▪ effizient bei Bränden der Brandklassen A, B und C▪ kein Rückstand▪ wird als Flüssigkeit versprüht (Siedepunkt = -3,9 °C)▪ wird in Handfeuerlöschern benutzt	Nachteile: <ul style="list-style-type: none">▪ giftig bei Konzentrationen >4 Vol.-% (Schwindel, beeinträchtigte Koordination und Herzsensibilisierung)▪ muss mit Konzentrationen >5 Vol.-% eingesetzt werden▪ giftige Zersetzungsprodukte werden beim Löschen gebildet▪ Dampfdichte 5,7 (sammelt sich in Gruben und Senken)▪ Produktion eingeschränkt (Montrealer Protokoll) wegen Ozonzerstörung▪ Zersetzung.: HBr; HCl; HF, Cl₂; Br₂; F₂; COF₂; COBr₂; COCl₂

Betrachtet man die Zusammenfassung wichtiger Eigenschaften, so wird deutlich, dass bei vielen bisherigen Anwendungsgebieten der Halone alternative Löschmittel zu finden und einzusetzen sind.

Dies gelingt aber nur dann ohne erheblichen Mehraufwand, wenn man die exakten Wirkungen der verschiedenen Löschmittel einschließlich der technischen und taktischen Möglichkeiten der mit diesem Löschmittel einsetzbaren Löschverfahren genau auf das Anwendungsgebiet abstimmen kann.

2.2. Entwicklung neuer chemischer Löschmittel

Im Rahmen der Entwicklung neuer inhibierender Löschmittel wurden alle bekannten nicht-brennbaren Gase und Flüssigkeiten auf ihre Löschwirkung untersucht. Die Palette der möglichen Alternativen für einen Einsatz als Löschmittel erfasste vor allem

- die per- und teilfluorierten Kohlenwasserstoffe, welche kein bzw. nur geringe Ozonzerstörungspotenziale (ODP) besitzen,
- jodierte Fluorkohlenwasserstoffe mit geringstem ODP,
- per- und teilfluorierte Ether und Ketone,
- organische Phosphor- und Stickstoffverbindungen,
- Schwefelhexafluorid,
- Eisenpentacarbonyl und Bleitetraethyl,
- Ferrocene,
- organische und anorganische Salze,
- Borverbindungen u.a.

Aus diesen Gruppen haben sich einige neue Verbindungen aus der Gruppe der teilfluorierten Kohlenwasserstoffe (HFKW) und der Perfluorether bzw. -ketone als mögliche Alternative empfohlen, weil sie neben einer guten Löschwirkung kein ODP besitzen und nur wenig toxisch sind. Die Mehrzahl der Untersuchungen wurde in den USA durchgeführt. Der Umfang der Forschungen beinhaltete neben der Löschwirkung und Löscheffizienz auch anwendungstechnische, arbeitsschutztechnische und toxikologische Untersuchungen. Die wichtigsten Ergebnisse finden sich in einer Zusammenfassung eines Forschungsprogramms der [EPA 2000] wieder. Hier werden auf der Grundlage ihres Forschungsprogramms über Halonerersatzstoffe (SNAP) Hinweise zu akzeptablen Löschmitteln als Alternative zusammengefasst, die in den nachfolgenden Tabellen wiedergegeben sind.

Tabelle 3: Akzeptable Ersatzstoffe für Halon 1211 als strömende (Volumen-) Löschmittel in Löschgeräten mit Einschränkungen

Ersatzstoffe	Handelsname	Einschränkungen	Kommentare
HFC-227ea	FM200	Nicht in Räumen mit Personen	Siehe Kommentar 1;2
HFC-236fa		Nicht in Räumen mit Personen, es ist sicherzustellen, dass kein PFIB ¹ entstehen kann.	Siehe Kommentar 1;2;3
CF ₃ I		Nicht in Räumen mit Personen	
C ₆ F ₁₄	PFC-614; CEA-614	Nicht in Räumen mit Personen, wenn andere Alternativen technisch oder aus Sicherheitsgründen verfügbar	Einschränkung durch folgende Maßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einschätzung der Gefährdung nach Applikation ▪ Bewertung der physikalischen und chemischen Verhältnisse und technischen Bedingungen bei anderen Löschmitteln ▪ Bewertung der Exposition für den Menschen bei diesem und alternativen Löschmitteln; eine Dokumentation dieser Maßnahmen ist notwendig

Zusätzliche Anmerkungen

1. Vergleichende Bewertung und Schulung sollten streng auf wesentliche Faktoren begrenzt werden (Sicherheit oder Leistungsbeschreibung).
2. Das Löschmittel sollte bei Prüfungen und im Anwendungsfall aufgefangen und einer weiteren Nutzung bzw. Entsorgung zugeführt werden.
3. Akzeptabel für eine örtliche Anwendung in Textilmaschinen.

¹ PFIB Perfluorisobutylene

Tabelle 4: Akzeptable Halonersatzstoffe für eine vollständige Raumflutung in Löschanlagen (Auszug)

Ersatzstoff	Handelsname	Einschränkungen	Kommentare
HFC-236fa		<p>Akzeptabel, wenn während des Löschprozesses kein PFIB entstehen kann.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwendbar für Explosionsunterdrückungen und Explosionsinertisierung ▪ Verwendbar zur Brandunterdrückung, wenn andere nicht halonhaltige Löschmittel aus technischen Gründen oder anderen Vorgaben nicht einsetzbar sind (a. aufgrund chemisch physikalischer Eigenschaften; b. Humanexposition der Löschmittel zu nicht anwendbaren Bedingungen) <p>Für eine Diskussion der anwendbaren Bedingungen sind die zusätzlichen Bemerkungen zur Tabelle zu berücksichtigen.</p>	<p>Die Löschkonzentration basiert auf Cup-Brenner Bedingungen und beträgt ca. 6,4 Vol.-%.</p> <p>Die Benutzer sollten die Einschränkungen beachten und folgende Bewertungen anstreben:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einschätzung der Gefährdung nach Applikation ▪ Bewertung der physikalischen und chemischen Verhältnisse und technischen Bedingungen bei anderen Löschmitteln ▪ Bewertung der Exposition für den Menschen bei diesem und alternativen Löschmitteln; eine Dokumentation dieser Maßnahmen ist notwendig
HFC-227ea	FM 200	<p>Wenn Personen die Räume innerhalb 1 min verlassen können, darf der Anwender das Löschmittel in Konzentrationen <NOAEL (9,0 Vol.-%) verwenden.</p> <p>Wenn Personen zum Verlassen Zeiten bis maximal 1 min benötigen, darf der Anwender das Löschmittel in einer Konzentration (LOAEL) >10,5 Vol.-% verwenden.</p> <p>Konzentrationen > 10,5 Vol.-% sind nur erlaubt, wenn normalerweise keine Person sich in dem Raum aufhält oder vorausgesetzt werden kann, dass eine zufällig im Raum befindliche Person innerhalb 30 s entkommen kann. Es ist zu sichern, dass keine ungeschützte Person während des Löschvorganges den Raum betreten kann.</p>	<p>Die Löschkonzentration, die auf Löscherproben mit dem Cup-Brenner beruht, liegt bei ca. 7,0 Vol.-%. Der cardiotoxische Grenzwert (LOAEL) beträgt >10,5 Vol.-%. Dieses Löschmittel wurde in die Produktliste für giftige Substanzen aufgenommen (PMN). Es unterliegt gegenwärtig den Anforderungen für giftige Substanzen (TSCA und SNUR).</p> <p>Beachte die zusätzlichen Anmerkungen 1, 2, 3, 4,</p>
C ₃ F ₈	PFC-218; CEA-308	<p>Nicht in Räumen mit Personen, wenn andere Alternativen technisch oder aus Sicherheitsgründen verfügbar</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ aufgrund ihrer chemischen oder physikalischen Verhältnisse ▪ wenn eine Humanexposition durch das Löschmittel unter Anwendungsbedingungen zu erwarten ist. <p>Für eine Diskussion der anwendbaren Bedingungen sind die zusätzlichen Bemerkungen zur Tabelle zu berücksichtigen.</p>	<p>Die Löschkonzentration basiert auf Cup-Brenner Bedingungen und beträgt ca. 8,8 Vol.-%.</p> <p>Unter Beachtung der Einschränkungen ergeben sich folgende Wertungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einschätzung der Gefährdung nach Applikation ▪ Bewertung der physikalischen und chemischen Verhältnisse und technischen Bedingungen bei anderen Löschmitteln <p>Bewertung der Exposition für den Menschen bei diesem und alternativen Löschmitteln; Eine Dokumentation dieser Maßnahmen ist notwendig</p> <p>Die wichtigste Umwelteigenschaften der FKW sind das hohe GWP und die lange atmosphärische Lebensdauer. Beiträge zu Treibhauseffekt entstehen nur durch Freisetzen von FKW. Bei Verwendung in geschlossenen Systemen sind sie geeignet. Benutzer sollten die Beschreibung potentieller Verwendungen berücksichtigen (1994 letzte Regel 59 FR 13044).</p>

noch Tabelle 4

Ersatzstoff	Handelsname	Einschränkungen	Kommentare
C ₄ F ₁₀	PFC-410; CEA-410	siehe C ₃ F ₈	Siehe C ₃ F ₈ ; Löschkonzentration 6,6 Vol.-%
SF ₆		Nur als Löschmittel anwendbar in militärischen Anwendungen und in der zivilen Luftfahrt	Die Benutzer sollten die Einschränkungen beachten, Anwendungen auf unbedingt zu schützende Bereiche beschränken und Sicherheitsvorkehrungen beachten. Diese Verbindung wird nur benutzt, um neue Halonsysteme zu prüfen.
CF ₃ I		Nur brauchbar in Räumen ohne Personen. Personen innerhalb des Raumes müssen diesen in 30 s verlassen. Der Arbeitgeber muss sicherstellen, dass keine ungeschützten Personen während der Applikation den Raum betreten.	Die Löschkonzentration entspricht der von Halon 1301. Die anzuwendende Massenkonzentration liegt um 1,36 Ma.-% höher. Die Herztoxizität liegt bei 0,4 Vol.-%. Der Hersteller der Verbindung gestattet keine Anwendung in Räumen mit Personen. Zusätzliche Anmerkungen 1;2;3;4

Zusätzliche Anmerkungen

1. Die Festlegungen OSHA 29 CFR 1910 Subpart L Teile 1910.160 sind zu berücksichtigen.
2. Entsprechend OSHA Anforderungen, muss Schutzausrüstung (SCBA) für das Personal verfügbar sein, um die Räume zu betreten.
3. Die Anwendungserprobung sollte streng begrenzt werden auf wesentliche Sicherheits- oder Anwendungsanforderungen.
4. Das Löschmittel sollte bei Prüfungen und im Anwendungsfall aufgefangen und einer weiteren Nutzung bzw. Entsorgung zugeführt werden.
5. EPA hat keine Absicht OSHA Berichterstattung zur Verwendung persönlicher schützender Ausrüstung (z.B., Atemschutz), Schutzkleidung, Gefahrenhinweise, Arbeitsschutzschulung oder irgendeine andere berufliche Sicherheit und eine Gesundheit üblich in Bezug auf EPA-Regulierungen von Halonersatzstoffen zu vervielfältigen oder zu ersetzen

Im letzten Jahr wurde dieser Gruppe auch das Keton Novec 1230² (Perfluoriertes Ethyl-Isopropylketon) hinzugefügt.

Eine internationale Normung für die folgenden HFKW bzw. FKW Löschmittel wird angestrebt. Die Normentwürfe sind jedoch seit 2002 ganz oder teilweise zurückgezogen:

- CF₃I (Trifluoriodmethan) E DIN EN ISO 14520-2 2000 08
- FC-218 (Heptafluorpropan) E DIN EN ISO 14520-3 2000 08
- FC-3110 (Dekafluorbutan) E DIN EN ISO 14520-4 2000 08
- FC-5114 (Tetradekafluorhexan) E DIN EN ISO 14520-5 1998
- HFC-125 (Pentafluorethan) E DIN EN ISO 14520-8 2000 08
- HFC-227ea (Heptafluorpropan) E DIN EN ISO 14520-9 2000 08
- HFC-23 (Trifluormethan) E DIN EN ISO 14520-10 1998
- HFC-236fa (Heptafluorpropan) E DIN EN ISO 14520-11 1998

Von diesen genormten Löschmitteln sind in Deutschland seit 1997 das HFC-227ea und seit 2002 auch Trigon-300 (FE-13 = Trifluormethan) zugelassen.

Die Zulassung des Löschmittels FM-200 erfolgte durch die Prüfstelle für Feuerlöschmittel beim MPA Sachsen unter der Zulassungs-Kenn-Nummer SP 28/97 für die Firma Kidde-

² Hersteller 3M Corporation

Deugra entsprechend Prüfbericht Nr. 97-23-426/Ki02 vom 27.08.1997 [MPA 1997] mit nachfolgenden Eingrenzungen der Anwendung:

- Der Einsatz des Löschmittels darf nur in geschlossenen Systemen und in Bereichen erfolgen, in denen
 - Brände nicht mit umweltfreundlicheren Löschmitteln bekämpft werden können und
 - gesundheitliche und anderweitige Beeinträchtigungen von Menschen durch ausströmende Löschmittel ausgeschlossen sind
- Das Feuerlöschmittel ist nach ISO – Drafts, ISO/CD 14520 Anhang C geprüft

In einem Schreiben von 19.10.1998 durch das sächsische Staatsministerium des Innern werden die Eingrenzungen der Anwendung aufgrund möglicher Irritationen geändert und neu gefasst. Die Neufassung hätte folgende Einschränkung beinhalten sollen:

- Das Löschmittel ist geeignet zur Verwendung in ortsfesten Feuerlöschanlagen zum Schutz von Räumen und umschlossenen Einrichtungen.

Der 1. Nachtrag vom 21.10.1998 zum Zulassungsschein enthält diese Bemerkung nicht. Dafür findet sich der Zusatz:

- Das Feuerlöschmittel FM-200 ist auch zum Löschen von Kunststoffbränden, insbesondere Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymerisat (ABS) Polypropylen (PP) und Polymethylmethacrylat (PMMA) geeignet.

Der angegebene Nachsatz ist normalerweise nicht erforderlich, da in der Brandklasse B schmelzende brennbare Feststoffe bereits integriert sind. Die im Anschreiben des Staatsministerium des Innern enthaltene Einschränkung, die im 1. Nachtrag vom 21.10.1998 nicht mehr enthalten ist, hätte hingegen die Einsatzbereiche für FM-200 eingeschränkt.

Durch die amtliche Prüfstelle des Instituts der Feuerwehr NRW wurde das Löschmittel FM-200 für die Firma Wagner Brandschutz- und Sicherheitssysteme zugelassen. Der Zulassungsschein enthält nach Information des VdS deutliche Einschränkungen für die Installation der Löschanlagen. Insbesondere wird gefordert, dass die für die Löschanlagen verwendeten Armaturen und Anlagenteile geprüft und durch den VdS zugelassen sein müssen.

Der Zulassungsschein für das Löschmittel Trigon 300 (FE-13) enthält Hinweise auf eine Reihe von Eigenschaften, die wichtig beim Umgang mit diesem Löschmittel sind, aber bei der Zulassung nicht bewertet wurden. Die Eigenschaften können einen umfassenden Einsatz des Löschmittels einschränken, oder zur Zurückziehung der Zulassung führen.

Die unterschiedlichen Zulassungen für das Löschmittel FM-200 (Firmen Kidde-Deugra und Wagner) durch die beiden vorhandenen Prüfstellen basieren auf rechtlichen Grundlagen der jeweiligen Bundesländer Sachsen und Nordrhein-Westfalen. Sie werden von den anderen Bundesländern im Rahmen einer bestehenden Verwaltungsvereinbarung zwischen den Innenministerien der Länder übernommen und sind damit gültig für Deutschland. Da beide Prüfstellen zwar unabhängig voneinander, in der Regel jedoch nach national abgestimmten Normen arbeiten, kann das Ergebnis sich praktisch kaum unterscheiden. Im Fall der Zulassung der HFKW bestehen die national abgestimmten Normen nicht und die herangezogenen internationalen Normen stellen Entwürfe dar, die in Deutschland zwischenzeitlich wieder zurückgezogen wurden. Durch diesen Sonderfall, der aber im Rahmen von Neuentwicklungen immer zu erwarten ist, sind natürlich die Spielräume für die Prüfstellen deutlich größer, so dass doch voneinander abweichende Zulassungen möglich sind. Um für diese Fälle ein ho-

hes Maß an fachlicher Sicherheit für den Anwender zu erreichen, wäre eine Entscheidung des Arbeitskreises Feuerwehr, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung der Innenminister der Länder (AFKZV) zu erwirken mit dem Ziel auf dieser Ebene einen grundsätzlichen Entscheidungsweg für befristete Zulassungen neuentwickelter Mittel und Technik zu schaffen, für die noch keine Normen in Deutschland zur Verfügung stehen.

3. Eigenschaften von alternativen Volumenlöschmitteln

3.1. Gasförmige Volumenlöschmittel

3.1.1. Gemeinsame Eigenschaften

3.1.1.1. Löschwirkung

Die Löschwirkung gasförmiger oder verdampfender Löschmittel beruht im direkten Eingriff in die Reaktion zwischen brennbarem Stoff und dem Sauerstoff der Luft. Es wird die Reaktionskette unterbrochen, welche die Energiefreisetzung hervorruft und damit für die Weiterführung der Reaktion sorgt. Die Art und Weise der Unterbrechung der Reaktionskette ist für die normalen inerten Löschgase darin zu sehen, dass die reaktionsfähigen Radikale ihre Energie an die gasförmigen und nicht reaktionsfähigen Verbindungen abgeben. Somit reicht im Teilvolumen die verfügbare Energie nicht mehr aus, das benachbarte Teilvolumen zur Reaktion zu bringen [Frank-Kamenetzky 1959]. Dieser Reaktionsverlauf ist auch bei heterogenen Reaktionen zwischen glühenden festen Stoffen, Luftsauerstoff und dem Löschmittel möglich. Allerdings ist hier aufgrund der geringeren Reaktionsgeschwindigkeiten in der Glut eine deutlich höhere Konzentration an Löschgas notwendig.

Neben der Deutung über die Energieverhältnisse der reaktiven Teilchen kann man die Unterbrechung der Kettenreaktion auch über die mittlere Stoßzahl der reaktiven Teilchen erklären, die bei mehr inerten Anteilen deutlich geringer wird. Dies ist auch für die Glutreaktion denkbar, weil durch die inerten Gase die mittlere Stoßzahl der Sauerstoffmoleküle an den glühenden Kohlenstoffoberflächen herabgesetzt wird.

Die chemischen Löschmittel der Halone und HFKW besitzen zusätzlich die Möglichkeit, die Radikale chemisch zu binden und somit ihre Energie zu übernehmen bzw. die Reaktion mit Sauerstoff- oder Brennstoffradikalen zu unterbinden. Dafür müssen diese Verbindungen aber selbst zersetzt werden und reaktionsfähige Gruppen bilden. Diese reaktionsfähigen Gruppen sind in der Regel Halogenradikale bzw. halogenhaltige organische Radikale. Im Verlauf der Reaktion innerhalb der heißen Zone können diese Halogenradikale bzw. halogenhaltigen organischen Verbindungen regeneriert werden, so dass sie erneut in die Reaktion eingreifen können. Man spricht von einer katalytischen Unterbrechung der Verbrennungsreaktion (negative Katalyse). Natürlich besitzen die nicht brennbaren, aber zersetzlichen halogenhaltigen Gase auch die Möglichkeit, Energie aufzunehmen und die Stoßzahlen innerhalb der Reaktionskette zu verändern.

Der reale Löschvorgang wird sowohl durch die energetische als auch die kinetische Seite der Reaktion und bei den Halonen und HFKW durch die heterogene Katalyse bestimmt. Die jeweiligen Anteile werden bei den verschiedenen Löschgasen variieren, woraus schließlich die unterschiedlichen Löschkonzentrationen resultieren. Trotzdem ist die Löschwirkung, im unmittelbaren Eingriff der Gase in die Verbrennungsreaktion zu sehen.

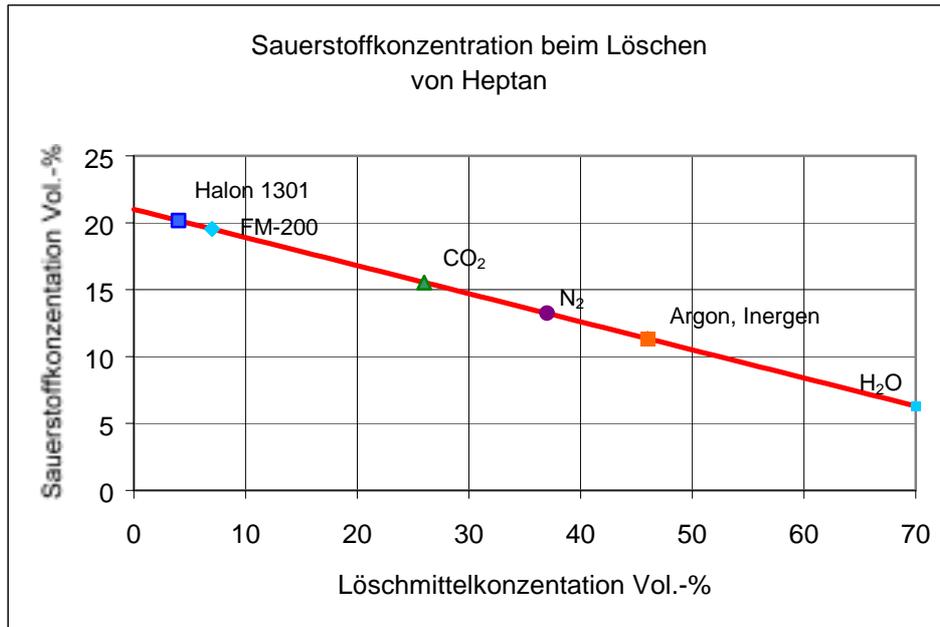


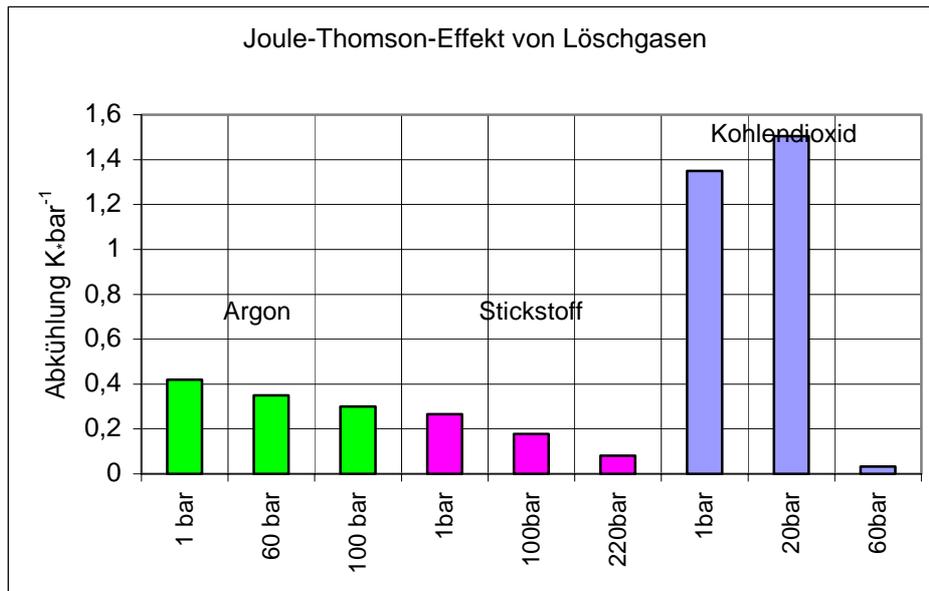
Abbildung 1: Sauerstoffkonzentration der verschiedenen Löschmittel beim Erreichen der Löschkonzentration (Brandstoff Heptan)

Die Löschkonzentration für das zu löschende Flammenvolumen sinkt bei den Halonen und auch den HFKW deutlich unter die Löschkonzentrationen, die für inerte, nicht an der Verbrennungsreaktion beteiligte Löschmittel erforderlich sind.

3.1.1.2. Gase als Löschmittel

Der Vorteil gasförmiger Löschmittel für die direkte Unterbrechung der Verbrennungsreaktion liegt vor allem in der Ausbreitung von Gasen in Räumen. Gase sind in der Lage sich innerhalb der Räume gleichmäßig zu verteilen und damit innerhalb des Raumes eine bestimmte Löschkonzentration zu erreichen. Natürlich beeinflussen die physikalischen Eigenschaften der Gase, insbesondere Dichte und Zähigkeit, die Geschwindigkeit der Ausbreitung im Raum. Einige Gase, die als Flüssigkeiten unter Druck gelagert werden, kühlen sich und die unmittelbare Umgebung an den Löschdüsen durch ihre Verdampfung erheblich ab, so dass sich im Raum zusätzlich Temperaturunterschiede ausbilden, die eine gleichmäßige Verteilung verzögern. Dies wird ausgeglichen durch die infolge des Ausströmens aus Löschdüsen induzierte Strömung im Raum. Diese Strömung sorgt für eine schnelle Vermischung von Löschgas und Raumluft und kann den Nachteil der Abkühlung für die Vermischung der Gase im Raum teilweise wieder aufheben.

Im Fall der Entspannung der unter Druck gelagerten Gase tritt eine Abkühlung auf (Joule-Thomson-Effekt). Die Werte der Abkühlung für einige Gase sind in der nachfolgenden Grafik zusammengefasst.



Abkühlung von Löschgasen bei verschiedenen Drücken und 0°C

Gase sind in der Lage in Hohlräume und dreidimensionale Gebilde innerhalb des Raumes einzudringen, so dass sie ihre Löschwirkung nach der Zeit, die für das Erreichen der löschwirksamen Konzentration benötigt wird, praktisch im gesamten Volumen entfalten können. Bei Erreichen der löschwirksamen Konzentration wird die Verbrennung im gesamten Volumen schlagartig unterbrochen. Die Löschwirkung ist allen Löschgasen gemeinsam, egal ob sie inerte Löschgase oder chemische Löschmittel sind. Die benötigte Zeit für das Erreichen des Löscherfolges hat somit keine Wirkung auf das Löschen, sondern bestimmt nur das Erreichen der löschfähigen Konzentration innerhalb des gesamten Volumens. Diese Zeit wird vorzugsweise durch technische Parameter der Auslegung der Löschanlage und durch physikalische Eigenschaften der Löschgase bestimmt. Das eigentliche Löschen, die Unterbrechung der Reaktion zwischen dem Brandstoff und dem Luftsauerstoff tritt erst ein, wenn die erforderliche Löschkonzentration an allen Stellen erreicht ist. Dieser Vorgang ist sehr schnell und praktisch nicht messbar. Deshalb sollte für Volumenlöschmittel an Stelle der Löschzeit die Flutungszeit als wichtiges Kriterium für das Löschen herangezogen werden.

Da nach dem Löschen sich weiterhin brennbare Gase entwickeln und die Möglichkeit der Zündung durch heiße Flächen oder Glut noch gegeben sein kann, muss die Löschkonzentration über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden. Innerhalb dieses Zeitraumes werden eventuell neu entstehende Radikale oder reaktive Teilchen soweit deaktiviert, dass es nicht zur erneuten Zündung kommen kann.

Bei glutbildenden Stoffen besteht über einen deutlich längeren Zeitraum und bei wesentlich verminderter Sauerstoffzuführung die Möglichkeit der Ausbildung heißer Zonen, die zur Rückzündung führen können. Deshalb sind höhere Konzentrationen an Löschmittel und verlängerte Haltezeiten für diese Konzentrationen gefordert. Es muss aber auch darauf verwiesen werden, dass die Glut von kompaktem Holz deutlich einfacher löscherbar ist, als Glut von lose gelagertem Material mit tiefsitzenden Glutherden, wie z.B. Papier.

3.1.1.3. Ausgleich der Volumenströme beim Löschen im Raum

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass durch die Flutung eines Raumes mit einem Löschgas oder einem flüssigen Volumenlöschmittel, welches im Raum verdampft, durch das zusätzliche Gas die Druckverhältnisse im Raum verändert werden. Der maximale Volumenstrom,

welcher aus einem Vorratsbehälter entnommen werden kann, hängt natürlich vom Ausgangsdruck ab, wird aber auch durch die Auslegung des Rohrleitungssystems und durch physikalische Parameter bestimmt. Bei einigen chemischen Löschmitteln, wie z.B. FM-200, wird der normale Gasdruck zusätzlich durch Stickstoff erhöht, so dass ein höherer Ausgangsdruck im Vorratsbehälter und damit höhere Strömungsgeschwindigkeiten des flüssigen Gases innerhalb der Rohrleitungssysteme möglich werden.

Bei Entlastung eines unter Druck stehenden Systems wird ein sich entspannendes Gas abgekühlt. Da aber der Joule – Thomson – Effekt nur geringe Abkühlungsraten hervorruft, ist die Entspannung der unter Druck stehenden, nicht verflüssigten Gase im wesentlichen vom Ausgangsdruck abhängig. Es wird zunächst ein hoher Volumenstrom abgegeben, der sich mit absinkendem Druck im Vorratsbehälter deutlich verringert.

Bei verflüssigten Gasen wird das flüssige Gas durch die Rohrleitungen bis zu den Löschdüsen transportiert und erst nach Verlassen der Löschdüsen erfolgt die Verdampfung des Gases. Bei Kohlendioxid ist dabei zusätzlich zu beachten, dass innerhalb der Rohrleitungen der Flüssigkeitsdruck nicht unter 5 bar sinken darf, sonst würde das Flüssiggas in den festen Aggregatzustand übergehen und die Leitungen zusetzen. Durch die Verdampfung im Raum erfolgt eine Abkühlung, die nicht nur das Gas selbst, sondern auch die umgebende Luft erfasst. Verantwortlich für die Abkühlung ist die für die Verdampfung des Gases notwendige Verdampfungsenthalpie, die für jedes Gas einen spezifischen Wert hat. Diese Energie wird wiederum spezifisch für jedes Gas und insbesondere abhängig von der erreichten Oberfläche der Flüssiggastropfen innerhalb eines definierten Zeitraumes benötigt. Damit kann infolge Abkühlung bei Flüssiggasen der maximale Volumenstrom deutlich später erreicht werden. Durch den VdS wurde ein Programm zur Berechnung des maximalen Volumenstromes in Räumen nach der Auslösung einer Löschanlage für unterschiedliche Löschgase entwickelt. Mit dem Programm kann die erforderliche Druckentlastungsfläche für den Raum bestimmt werden. Die Berechnungen führen sowohl für inerte Gase als auch für FM-200 zu entsprechenden Druckanstiegen im Raum [Schlosser 2002].

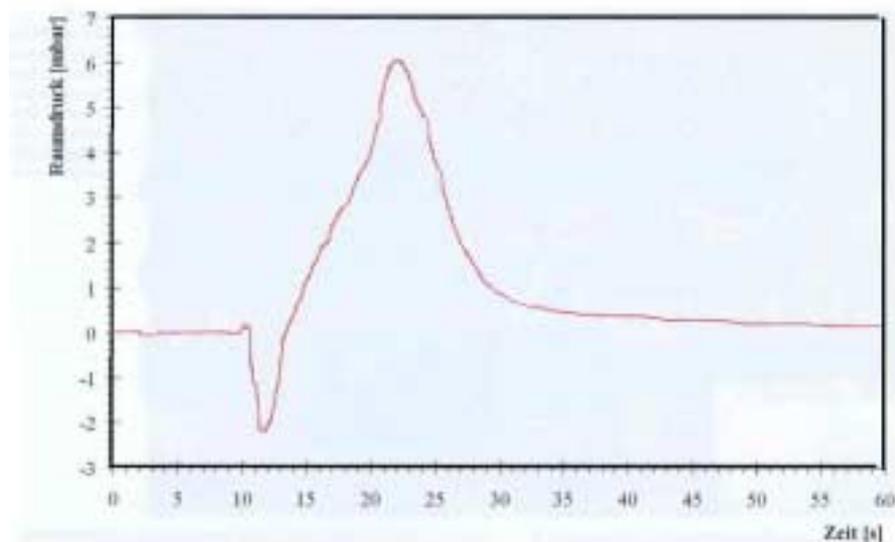


Abbildung 2: Druckverlauf bei Flutung mit FM-200

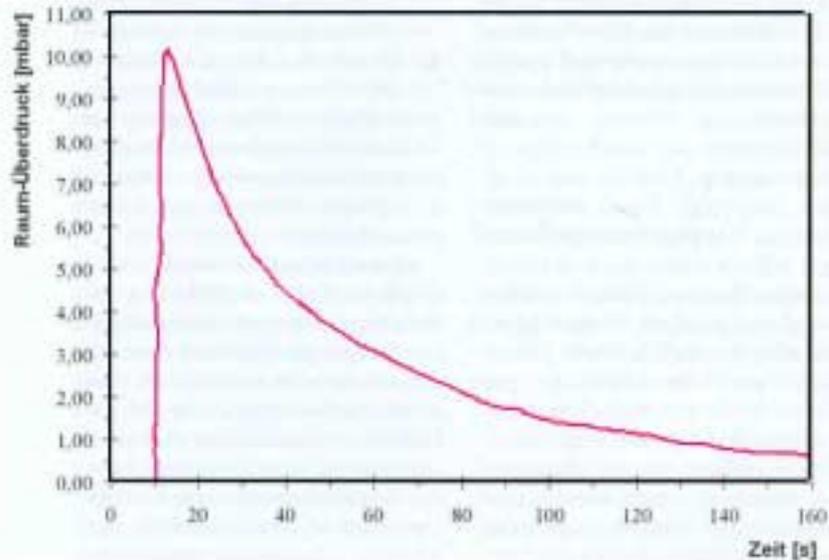


Abbildung 3: Druckverlauf bei Flutung mit Inertgas

Aus den Abbildungen von [Schlosser 2002] wird deutlich, dass bei Flutung ein unterschiedlicher Druckverlauf zu erwarten ist.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass alle Gaslöschanlagen entsprechende Druckentlastungsflächen benötigen. Diese Öffnungen sollten möglichst genau bestimmt werden, da bereits geringe Druckanstiege innerhalb der Räume zerstörende Wirkungen auf Wände besitzen können.

3.1.2. Stickstoff (IG-100)

Die Wirksamkeit des Stickstoffes beruht auf der Inertisierung des Raumvolumens durch die zusätzlich zugeführten Stickstoffatome. Die Energie der Radikale wird auf das inerte Löschgas übertragen und damit die Reaktionskette zwischen den Radikalen unterbunden. Die notwendigen Konzentrationen für die Unterbrechung der Verbrennung werden erst bei hohen Konzentrationen an Inertgas erreicht, wenn man berücksichtigt, dass die normale Verbrennung in Luft immer einen inerten Anteil von Stickstoffen enthält. Die erforderliche Konzentration für Stickstoff als Löschmittel erreicht bei Heptanflammen, die in Luft brennen ca. 33 Vol.-%. Die hohe Löschkonzentration hat direkten Einfluss auf den zum Löschen erforderlichen Volumenstrom, welcher selbst bei Flutungszeiten von 60 bis 120 s noch hohe Werte erreicht. Aufgrund der geringen Masse des Stickstoffmoleküls ist die massebezogene Löschkonzentration mit 412 g/m^3 und damit ist der erforderliche Massestrom gering. Dass Stickstoff bei Normaltemperatur nicht verflüssigt werden kann und deshalb nur als komprimiertes Gas in Stahlflaschen von 200 bis 300 bar lieferbar ist, wirkt sich technisch nachteilig aus. Je Kubikmeter Raumvolumen müssen deshalb für Stickstoff 1,1 bis 1,65 l Speichervolumen vorgesehen werden. Die Stahlflaschen erfordern einen entsprechenden Platzbedarf und unterliegen als Druckgeräte einer kontinuierlichen Revision. Im Einsatzfall kann das komprimierte Gas schnell freigesetzt werden und man benötigt keinen Aufwand für die Aufrechterhaltung des erforderlichen Massestromes, um die gewünschte Löschkonzentration im Raum zu erhalten. Der maximale Volumenstrom bei Beflutung wird sich in der Anfangsphase einstellen. Dementsprechend müssen auch die Druckentlastungsanlagen ausgelegt sein, die überschüssige Luft aus den Raum nach außen führen.

Die Wärmeaufnahme von Stickstoff erreicht, bedingt durch die zweiatomigen Stickstoffmoleküle, bei 20°C einen Wert von $c_p \approx 1,2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

Stickstoff reagiert erst bei hohen Temperaturen mit Sauerstoff und bildet dann Stickoxide, die toxisch sind und mit Wasser Säuren bilden. Diese Reaktion erreicht bei 2300 K einen Anteil an Stickoxid von etwa 1,2 Vol. - % und ist deshalb bei normalen Verbrennungsreaktionen bedeutungslos. Im Brandfall werden zusätzliche toxische und chemisch reagierende Verbindungen durch das Löschmittel Stickstoff in geringen Mengen gebildet, so dass man bei diesem Löschmittel und normalen Brandtemperaturen bis etwa 1 200 °C von einem sauberen Löschmittel (clean Agent) ausgehen kann. Nach dem Löschvorgang kann durch einfache Belüftung der gasförmige Anteil an Verbrennungsprodukten entfernt werden, sofern durch den Brandstoff nicht stark toxische oder reizende Verbindungen gebildet wurden bzw. aus dem Brandgut sich noch Pyrolysegase entwickeln.

3.1.3. Argon (IG-01)

Das Edelgas Argon erfordert eine hohe Konzentration des Löschgases von 42 Vol. - % für das Löschen einer Heptanflamme im Raumvolumen. Mit 750 g/m^3 ist auch die massebezogene Löschkonzentration sehr hoch. Argon ist wie jedes Edelgas einatomig und besitzt deshalb ein geringes Vermögen zur Wärmebindung ($c_p = 0,52 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$). Da die kritische Temperatur von Argon bei -120°C liegt, kann es bei Normaltemperatur nicht verflüssigt werden. Es kommt somit nur als Druckgas in Gasflaschen mit 200 bis 300 bar in den Handel. Die Druckentlastungen für die im Einsatzfall abzuführende Raumluft müssen auf eine hohe Abführungsrate ausgelegt sein.

Je Kubikmeter Raumvolumen müssen für Argon 1,1 bis 1,65 l Speichervolumen vorgesehen werden.

Argon kann als Edelgas nicht reagieren, so dass keine Reaktionen zwischen Brandstoff und Löschmittel erfolgen können. Argon ist das ideale „saubere Löschmittel“. Mit Argon können auch Brände von Metallen gelöscht werden.

Da Argon in der Luft vorkommt, fällt es bei der Luftverflüssigung als Nebenprodukt an. Aufgrund der heute in großen Mengen verarbeiteten Luft, ist auch Argon verfügbar. Für Löschzwecke ist keine besondere Reinheit des Gases erforderlich, so dass auch der Preis vertretbar ist.

3.1.4. Inergen (IG-541)

Inergen ist ein Gemisch der Löschgase Stickstoff, Argon und Kohlendioxid (52 % N_2 ; 40% Ar; 8% CO_2). Die Konzentrationsgrenzen, insbesondere für den Kohlendioxidanteil, müssen eingehalten werden, weil Kohlendioxid oberhalb 10 Vol. - % zu toxischen Reaktionen führt. Das Gasgemisch wird infolge der technischen Mischung der drei Gase und dem Nachweis der exakten Kohlendioxidkonzentration von 8 Vol. - % im Preis teuer. Inergen liegt mit einer Löschkonzentration für Heptan von 33 Vol.-% im vergleichbaren Konzentrationsbereich der inerten Gase. Dementsprechend müssen auch die Druckentlastungseinrichtungen ausgeführt sein. Die massebezogene Löschkonzentration beträgt 515 g/m^3 und liegt noch in einem mit Kohlendioxid vergleichbaren Konzentrationsbereich. Das Gasgemisch steht bei Normaltemperatur nur als verdichtetes Druckgas zur Verfügung. Der maximale Druck in den Gasflaschen wird mit 150 bis 200 bar angegeben (NFPA 2001). Je Kubikmeter Raumvolumen müssen für Inergen 1,65 bis 2,2 l Speichervolumen vorgesehen werden.

Durch den Anteil an Kohlendioxid soll im Fall der Inbetriebnahme der Anlage die Atmung bei Personen, die sich im Funktionsbereich der Anlage befinden, deutlich beschleunigt werden.

Damit wird die natürliche Wirkung des Kohlendioxides auf das Atemzentrum genutzt, um die Flucht aus dem Wirkungsbereich der Anlage zu ermöglichen.

Die Temperaturerniedrigung während der Entspannung des Löschgases ist gering. Kann die Löschkonzentration für eine definierte Zeit gehalten werden, dann sind alle Flammen im Raum mit Sicherheit gelöscht. Für glutbildende Stoffe muss die Löschkonzentration und auch die Haltezeit der Konzentration im Raum deutlich verlängert werden. Die exakten Konzentrationen und Haltezeiten sind in den Anwendungsrichtlinien des VdS und den Standards für stationäre Gaslöschanlagen festgelegt.

Bei Verwendung von Inergen sind Reaktionen des Löschmittels ebenfalls weitgehend ausgeschlossen. Im Löschmittelgemisch besitzt nur das Kohlendioxid toxische Eigenschaften. Da zusätzlich zum Rauchgas auch das Kohlendioxid des Löschmittels mit zu beachten ist, muss nach dem Löschen für eine ausreichende Belüftung gesorgt werden.

3.1.5. Kohlendioxid

Die Löschkonzentration für Kohlendioxid liegt bei 22 Vol. - % (432 g/m^3) für Heptan bzw. 33 Vol. - % oder 648 g/m^3 für brennbare Flüssigkeiten allgemein und bei 62 Vol. - % ($1,218 \text{ kg/m}^3$) für glutbildende Stoffe. Kohlendioxid ist bei Normaltemperatur als verflüssigtes Gas verfügbar. Die kritische Temperatur von Kohlendioxid liegt bei 31°C . Die Dichte des verflüssigten Gases liegt bei $\rho = 0,766 \text{ kg/l}$. Je Kubikmeter Raumvolumen müssen für Kohlendioxid $0,86 \text{ l}$ Speichervolumen vorgesehen werden (berechnet auf Heptan). Bei seiner Entspannung auf Normaltemperatur entsteht direkt festes Kohlendioxid, welches dann bei -78°C sublimiert. Durch die Isolation des verdampften gasförmigen Kohlendioxids ist die Sublimationsgeschwindigkeit gering. Es ist deshalb notwendig, entweder das Kohlendioxid bereits im Druckbereich zu verdampfen oder eine möglichst feine Verteilung des Kohlendioxides als Kohlendioxidschnee zu erreichen.

Die Ausbringung des Kohlendioxides aus Düsen als Flüssigkeit ist mit einer Temperaturabsenkung im Raum verbunden. Im Extremfall können örtlich Temperaturen von -78°C an Stellen mit abgelagertem Kohlendioxidschnee erreicht werden. Diese Abkühlung stellt insbesondere für empfindliche elektronische Anlagen und auch für bewegliche Teile an Präzisionsmaschinen ein Problem dar.

Die spezifische Wärme des Gases beträgt bei 0°C $c_p = 0,818 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Im Fall der Verdampfung unter Druck ist die Verdampfungswärme von 656 kJ/kg extern bereitzustellen. Diese Verdampferleistung liegt relativ hoch und muss abhängig vom einzusetzenden Massestrom an das Löschmittel übertragen werden. Technisch ist die Verdampfung des flüssigen Kohlendioxides auch für hohe Masseströme gelöst, jedoch mit erheblichem Kostenaufwand verbunden.

Es ist zu beachten, dass Kohlendioxid ein toxisches Gas ist, welches ab 10 Vol. - % zur Beeinträchtigung der Atmung und schließlich zum Atemstillstand führen kann. Bei Löschkonzentrationen um 33 Vol. - % ist ein Aufenthalt von Personen innerhalb des Brandraumes nicht möglich. Dies erfordert vor Inbetriebnahme einer CO_2 -Löschanlage die Evakuierung aller Personen aus dem Löschbereich.

Die Brandentwicklung in der Anfangsphase hat einen entscheidenden Einfluss auf den insgesamt entstehenden Brandschaden. Der Zeitverzug wirkt sich somit direkt auf die Schadenssumme aus, so dass insbesondere bei Anlagen mit hohen Personenströmen der Einsatz von Kohlendioxidlöschanlagen nicht die günstigste Lösung darstellt und damit vermieden wird.

Kohlendioxid kann bei höheren Temperaturen im Gleichgewicht mit Kohlenmonoxid stehen. Die reine Dissoziation des Kohlendioxides ergibt bei 1200°C aber erst etwa 0,03 Vol. - %

Kohlenmonoxid. Da aber in Verbindung mit Kohlenstoff (z.B. heißer Ruß) eine weitere Reaktionsmöglichkeit besteht, kann auch bei niedrigeren Temperaturen bereits Kohlenmonoxid entstehen. Kohlenmonoxid ist ein giftiges Gas, welches oberhalb 33 mg/m³ toxisch wirkt. Es ist deshalb erforderlich, in möglichst kurzer Zeit die nötige Löschkonzentration zu erreichen, um die Energiequellen für mögliche Umsetzungen auszuschalten.

Die hohe Verdampfungswärme des Kohlendioxides gestattet es, heiße Zonen abzukühlen und bei höheren Löschkonzentrationen und längeren Haltezeiten auch Brände der Brandklasse A mit Glutbildung sicher zu löschen.

Kohlendioxid ist eines der wesentlichen Treibhausgase. Es gehört aber im Unterschied zu anderen Treibhausgasen zu den wesentlichen Verbindungen, aus denen sich das Leben auf der Erde entwickelt hat und ist durch die Umsetzung mit Wasser die wesentliche Quelle für das Leben. Kohlendioxid entsteht bei vielen natürlichen Prozessen, so bei der Atmung, der Gärung und der Zersetzung von Stoffen. Auch die Verbrennung von organischen Verbindungen zum Zweck der Energiegewinnung liefert Kohlendioxid. Kohlendioxid für Löschzwecke ist eine Anwendung, bei der anfallendes Kohlendioxid aus der Luftzerlegung, Gärungs- oder Röstprozessen zeitweilig gelagert wird, um im Brandfall freigesetzt zu werden. Das Nebenprodukt Kohlendioxid wird damit einer Verwertung zugeführt. Es wird nicht wie chemische Löschmittel für die Nutzung als Löschmittel produziert.

3.1.6. Chemische Löschmittel

Zu den chemischen Löschmitteln, die Halone ersetzen sollen, jedoch kein oder nur ein geringes Potenzial zur Zerstörung der Ozonschicht erreichen, kann vor allem die Gruppe der HFKW gezählt werden. Im Wesentlichen handelt es sich um die Verbindungen:

- Trifluormethan (HFC-23, FE-13, Trigon-300),
- Heptafluorpropan (HFC-227ea, FM-200),
- Hexafluorpropan (HFC-236fa) und
- Pentafluorethan (HFC-125).

Zusätzlich wird auch ein perfluoriertes Keton, das Pentafluorethylhexafluorisopropylketon (Novec 1230³), als chemisches Löschmittel angeboten. Es ist denkbar, dass noch weitere Verbindungen mit günstigen Löscheigenschaften und geringeren Nebenwirkungen bezüglich Toxizität, Zersetzungsprodukten und Umweltschädigung gefunden werden.

Die für das Löschen verschiedener brennbarer Flüssigkeiten erforderlichen Löschkonzentrationen werden experimentell bestimmt. Eine wesentliche Labormethode zur Bestimmung der Löschkonzentration ist der Cup-Burner nach dem NFPA Standard Nr. 2001, Anhang A. Die experimentell ermittelte Löschkonzentration besitzt für die jeweiligen Brandstoffe unterschiedliche Werte. Der VdS legt in seiner Richtlinie VdS 2381:2002-06 (02) [VdS 2002] für das Löschmittel FM-200 die in der nachfolgenden Tabelle zusammengefassten Auslegungskonzentrationen für spezifische Brandstoffe bzw. Einrichtungen aufgrund der ermittelten Löschkonzentrationen fest.

³ Hersteller 3M-Specialty Materials, St. Paul, USA

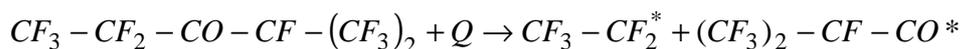
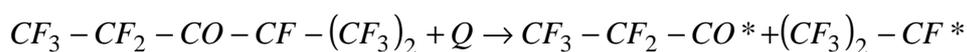
Tabelle 5: Auslegungskonzentrationen der Löschanlagen mit FM-200 bei verschiedenen Brandstoffen bzw. Einrichtungen

Brandstoff / Einrichtung	Löschkonzentration Cup-Burner Vol. - %	Auslegungskonzentration Vol.-%
Aceton	6,5	10,1
Ethanol	7,6	11,9
Methanol	9,9	15,4
n-Heptan	6,6 (6,8 Raumbrand)	8,8
Toluol	5,1	8,0
EDV-Räume		8,4
Schalt- und Verteilerräume		8,4
Kabelböden		8,4
Holz	5,9	bisher keine Anwendung

Die Auslegungskonzentrationen sind Grundlage zur Festlegung der entsprechenden Löschmittelmenge für die jeweilige Löschanlage. Sie enthalten einen Sicherheitsfaktor.

Beim Löschvorgang müssen die HFKW sich zersetzen und reaktive Bruchstücke bilden, die eine negative Katalyse der Verbrennungsreaktion gestattet. Bei der Zersetzung entstehen auch Verbindungen, die ätzend und toxisch sind. Für die Halone waren diese Verbindungen [HBr(Cl;F), COBr(Cl;F)₂ – Halogenwasserstoffe, Phosgen (Carbonylchlorid) bzw. die analog substituierten Carbonylverbindungen] bekannt. Die gegenwärtig zugelassenen chemischen Löschmittel enthalten zwar kein Brom- oder Chloratom mehr in ihrem Molekül, sie zersetzen sich jedoch in gleicher Weise. Bei den Löschmitteln FM-200 und Trigon-300 entstehen die Verbindungen HF und COF₂ – Fluorwasserstoff und Fluorphosgen, als wesentliche ätzende und toxische Zersetzungsprodukte.

Das Produkt Novec 1230 wird in der Flamme an der mittelständigen Ketogruppe zerstört. Es bilden sich perfluorierte Radikale, die in die Verbrennungsreaktion eingreifen und ihrerseits weiter zersetzt werden. Es entstehen die bei den HFKW bereits genannten reaktiven Verbindungen. Die Aufspaltung an der Ketogruppe verläuft nach folgendem Schema:



Auf das Problem der Zersetzung von halogenierten Verbindungen wird nochmals in der Anlage 2 – Abbau von Halonverbindungen – im Detail eingegangen.

Die gewünschte teilweise Zersetzung der organischen Löschemikalien wirkt sich negativ mit hoher Konzentration an toxischen Zersetzungsprodukten aus, wenn die Temperaturen des Brandes bereits in der Anfangsphase eines Brandes steil ansteigen und ausreichend Energie zur Zersetzung des Löschmittels zur Verfügung steht. Dies ist bei Bränden brennbarer Flüssigkeiten der Fall, bei denen infolge des Überschreitens des Brennpunktes der Flüssigkeit praktisch schlagartig die vorhandene Oberfläche der Flüssigkeit gezündet wird und bereits im Anfangsstadium sehr hohe Flammentemperaturen bzw. Wärmestromdichten erreicht werden. Ähnliche Situationen können auch durch bereits ausgebildete Glutherde hervorgerufen werden, an denen die Zersetzung der HFKW stattfindet. Und schließlich ist zu erwarten, dass heiße Flächen mit hoher Temperatur auch nach dem Löschen des Brandes zur Zersetzung des Löschmittels führen können.

Der Anwendung der chemischen Löschmittel werden aus diesen Gründen Grenzen gesetzt. Die Löschanlagen sind effizient und ohne wesentliche Nebenwirkungen nur dann einsetzbar, wenn

- die Auslösung der Anlage mit einer Brandmeldung gekoppelt ist, die möglichst im Stadium der Brandentstehung bzw. der intensiven Rauchentwicklung ohne Flammen die Auslösung ermöglicht,
- der Brandstoff eine langsame Brandentwicklung gewährleistet und sich keine tiefsitzenden Glutnester ausbilden können (wie z.B. bei Papier, Pappe),
- die Beflutungszeit eine intensive Brandentwicklung im Raum nicht ermöglicht.

Im Gegensatz dazu kann bei

- leicht entflammaren brennbaren Flüssigkeiten,
- leicht zu erhitzenden Körpern oder Flächen im Raum, an denen die Zersetzung der HFKW nach dem Löschvorgang weitergehen kann,
- langen Beflutungszeiten und
- bereits ausgebildeten Glutherden mit hoher Energie

der Einsatz der HFKW zu erheblichen Mengen an zersetzten Produkten führen. Nach [Müller 2001] kann die Zersetzung eines Mols FM-200 zu 10 Mol Zersetzungsprodukte führen, deren wichtigste Verbindungen HF und COF_2 sind.

Betrachtet man die Möglichkeit eines ausbleibenden Löscherfolges in Brandräumen, wird der Einsatz chemischer Löschmittel immer dazu führen, dass sich im entwickelnden Brand ein hoher Anteil der insgesamt eingesetzten Masse der HFKW zu Fluorwasserstoff und Carbonylfluorid zersetzen wird. Insbesondere dieses Szenario zeigt, dass die Anlagen mit chemischen Löschmitteln mit besonderer Sorgfalt und entsprechend dem Stand der Technik geplant werden müssen. Der Löscherfolg muss mit höchster Sicherheit durch die nur einmal mögliche Flutung des Raumes erzielt werden. Es sollten ausschließlich geprüfte und zugelassene Anlagenkomponenten installiert und die Sicherheitsfaktoren berücksichtigt werden. Wird bei der Neuerrichtung einer Löschanlage die Löschkonzentration optimiert, also versucht geringere Löschkonzentrationen zu verwenden muss das Erreichen der optimierten Werte durch eine Probeflutung sichergestellt sein. Auch dann, wenn durch die Probeflutung eine Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre erfolgt.

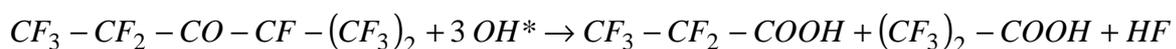
Für den Fall des ausbleibenden Löscherfolgs einer HFKW – Löschanlage würde ein Löschen mit mobilen Kräften der Feuerwehr im Innenangriff aufgrund der hohen Konzentration an Zersetzungsprodukten aus dem Löschmittel deutlich erschwert oder sogar nicht möglich sein. Kleine Räume wären auch bei fortgeschrittener Zersetzung der HFKW durch mobile Kräfte von außen beherrschbar, wobei bereits Räume über 500 m^3 umbauter Raum mobil nicht mehr beherrschbar wären und kontrolliert abbrennen müssten. Für große Brandräume oberhalb 1000 m^3 umbauter Raum wäre ein Innenangriff nicht zu verantworten und der Angriff von außen würde nicht zum Erfolg führen. In beiden Fällen würde die Belastung durch gebildete Zersetzungsprodukte erheblich sein.

Alle chemischen Löschmittel müssen während des Löschvorganges zersetzt werden, um reaktive Verbindungen für die negative Katalyse der Verbrennungsreaktion zu bilden. Bei diesen Zersetzungsprozessen während ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung können eine Reihe akut toxischer Verbindungen entstehen, die als gefährlich nach TRGS 220 Abs.1 (2) einzustufen sind. Es ist bei Projektierung und Errichtung von Löschanlagen mit chemischen Löschmitteln zwingend notwendig, das Sicherheitsdatenblatt für das chemische Löschmittel als Bestandteil der Unterlagen zur Verfügung zu stellen.

Die chemischen Löschmittel tragen beim Eintritt in die Atmosphäre zur globalen Erwärmung der Erdatmosphäre bei. Durch Absorption von Wärmestrahlung im Bereich der Wellenlängen, durch die eine Rückstrahlung der Wärme von der Erde in den Weltraum möglich ist, stellen HFKW eine Gruppe der sieben wichtigsten Treibhausgase dar. Absorptionsvermögen und die Lebensdauer der Verbindungen in der Atmosphäre bilden die Grundlage für die Berechnung des Treibhauspotenzials der Verbindungen. Zum Vergleich werden alle berechneten Treibhauspotenziale auf das Treibhauspotenzial von Kohlendioxid (GWP = 1) normiert. Die wichtigsten Treibhauspotenziale sind in Anlage 3 zusammengefasst.

Für Treibhausgase gilt kein generelles Verbot der Produktion und des Vertriebes von Verbindungen, wie dies bei ozonzerstörenden Stoffen zeitlich gestaffelt festgelegt wurde. Für Teilbereiche sind aber sowohl auf europäischer Ebene als auch in einzelnen Mitgliedstaaten der EU Verbote bereits implementiert oder werden diskutiert. Der gegenwärtige Stand der Emission von Treibhausgasen wird in Anlage 4 – Emissionen in Deutschland – dargestellt. Daraus geht hervor, dass HFKW heute nur knapp 1 % der Gesamtemission an Treibhausgasen ausmachen. Sucht man schließlich die von chemischen Löschmitteln verursachte Emission, dann stellt man fest, dass diese in einen Emissionsanteil für technische Aerosole eingeht. Dieser Anteil macht heute knapp 3 % der HFKW – Emission aus, also etwa 0,03 % der Gesamtemission. Würde man aus diesem Anteil schließlich die HFKW – Emissionen der Löschmittel ermitteln, dann wäre dies sicher gleichfalls nur ein Bruchteil von 0,03 %. Von allen als Löschmittel einsetzbaren Treibhausgasen (HFKW) war im Jahr 2001 (Datenbasis) in Deutschland erst ein Stoff, HFKW-227 (FM 200), zugelassen.

Im EU – Bereich ist die Verringerung der Emissionen von Treibhausgasen beschlossenes politisches Ziel. Ein einheitliches System der Erfassung und Berichterstattung zu Treibhausgasen wurde erstellt. Die Entscheidung [1999/296/EG] legt grundsätzliche Pflichten zur Berichterstattung der Staaten, dem Aufbau eines einheitlichen Beobachtungssystems und Strategien für die nachhaltige Entwicklung der Treibhausgasemissionen fest. Gegenwärtig wird das politische Ziel, die Senkung von Emissionen auch eingehalten, wobei das Ziel vor allem durch die Anstrengungen im Vereinigten Königreich und Deutschland erreicht wurde. In allen übrigen Ländern ist ein Anstieg der Emissionen zu verzeichnen. Mit Hilfe besonderer Regulatorien, wie dem „Emission –Trading“, dem Handel von Emissionsrechten, hat man die Absicht an den Stellen, an denen Einsparungen technisch und ohne hohen materiellen Aufwand möglich sind, diese Einsparungen auch zu unterstützen. An anderen Stellen, an denen der Einsatz oder die Produktion von Treibhausgasen unerlässlich ist, soll dagegen der Entwicklungsstand gehalten werden. Trotz des geringen Anteils der HFKW – Löschmittel an der Gesamtemission sollte das Treibhauspotenzial dieser Löschmittel ernst genommen werden und seinen Niederschlag in Maßnahmen finden, die eine Emission der HFKW – Löschmittel praktisch nur im Brandfall gestatten. Die möglichen Maßnahmen zur Verhinderung der Emission des Löschmittels als Treibhausgas, außer im Brandfall, sind in Anlage 5 – Verringerung der Emission von Treibhausgasen – zusammengefasst. Ansätze zur Verringerung der Emission chemischer Löschmittel sind vor allem im Bereich der Wartung und Pflege der Anlagen, der Minderung von Fehlauflösungen aber auch durch die Planung neuer Anlagen mit zugelassenen Auslegungsparametern möglich. Für das Löschmittel FM-200 wird ein Treibhauspotenzial von 2900 und für das bisher in Deutschland noch nicht eingesetzte Löschmittel Trigon–300 ein Potenzial von 11700 bezogen auf Kohlendioxid (GWP =1) angegeben. Novec 1230 erreicht nach Angabe des Herstellers ein Treibhauspotenzial von 1. Die Verbindung Novec 1230 ist als perfluoriertes Keton direkt an der Ketogruppe leicht spaltbar. Die atmosphärische Lebensdauer des Produktes wird mit 0,014 Jahren angegeben. Damit ist die Verbindung in der Atmosphäre nicht mehr verfügbar und es kann ein GWP von 1 errechnet werden. Tatsächlich werden Ketone aber an der Ketogruppe oxidiert und es entstehen Verbindungen, die jeweils Fluoratome enthalten. Mit OH-Radikalen würde man beispielsweise aus dem Novec 1230 folgende Oxidationsprodukte erhalten:



Die entstehenden perfluorierten Säuren sind ihrerseits wieder schädigende Gase bzw. Dämpfe, die aber nicht mehr in die Betrachtung einbezogen werden. Es ist auch zu erwarten, dass hier sehr schnell als relativ langlebiges Produkt die Perfluoressigsäure gebildet werden kann, die eine wesentliche Ursache des sauren Regens durch organische Verbindungen darstellt [Protonique Limited 2000].

Die Einschränkungen hinsichtlich des Treibhauspotenzials und der Zersetzung in der Flamme sind kein ausreichender Grund, generell auf chemische Löschmittel zu verzichten. Dies erscheint insbesondere wegen der Löschwirkung und dem geringen Raumbedarf für die Lagerung des Löschmittelvorrates angeraten. Der Raumbedarf für die Lagerung des Löschmittels FM-200 beträgt bezogen auf Heptan ca. 0,35 l Speichervolumen je Kubikmeter Raumvolumen. Der erforderliche Raumbedarf ist somit für chemische Löschmittel der geringste aller zu lagernden Volumenlöschmittel und wird nur durch Anlagen mit Wasserdampf als Löschmittel übertroffen, bei dem keine gesonderte Lagerung des Löschmittels erforderlich wird.

Die Druckentlastung ist bei FM-200 und Trigon-300 nicht nur von der Löschkonzentration, sondern auch von der Beflutungszeit abhängig. Der Druckaufbau wird durch den Volumenstrom während der Beflutung bestimmt. Für HFKW – Löschanlagen wurden als Beflutungszeiten meist 10 s und darunter angegeben. Der maximale Volumenstrom während der Beflutungszeit kann durch das VdS – Programm berechnet werden. Die Berechnung zeigt, dass die geringe Löschkonzentration und die Abkühlung infolge Verdampfung im Raum den zeitlichen Verlauf verändern, jedoch die optimale Verdüsung und die zusätzliche Verteilung durch den gelösten Stickstoff und die geringe Beflutungszeit trotzdem zu einem Druckanstieg führen (Abbildung 2). Es wird deutlich, dass durch die kurzen Beflutungszeiten der HFKW ähnliche Volumenströme im Maximum entstehen, wie sie bei inerten Löschgasen infolge längerer Beflutungszeiten und höherer Löschkonzentrationen üblich sind. Für chemische Löschmittel sind Druckentlastungen erforderlich und in vergleichbarer Größenordnung wie für Löschgase mit höheren Beflutungszeiten anzusetzen.

Eine Verlängerung der Beflutungszeiten kommt für chemische Löschmittel weniger in Betracht, weil durch längere Zeiten die Konzentration möglicher Zersetzungsprodukte ansteigen kann. Aus diesem Grund ist das Fenster, innerhalb dessen die Beflutungszeit variiert werden kann, sehr schmal und liegt im Entwicklungszeitraum eines Brandes im Zeitbereich des Entstehens einer offenen Flamme.

Zusätzlich zur geringen Löschkonzentration sind die HFKW innerhalb eines relativ großen Konzentrationsbereiches akut nur wenig toxisch. Somit ist es möglich, dass Personen auch nach Auslösung der Löschanlage noch Zeit haben, den Raum zu verlassen. Für HFKW werden die Humanexpositionszeiten durch den NFPA Standard 2001 [NFPA 2000] konzentrationsabhängig festgelegt.

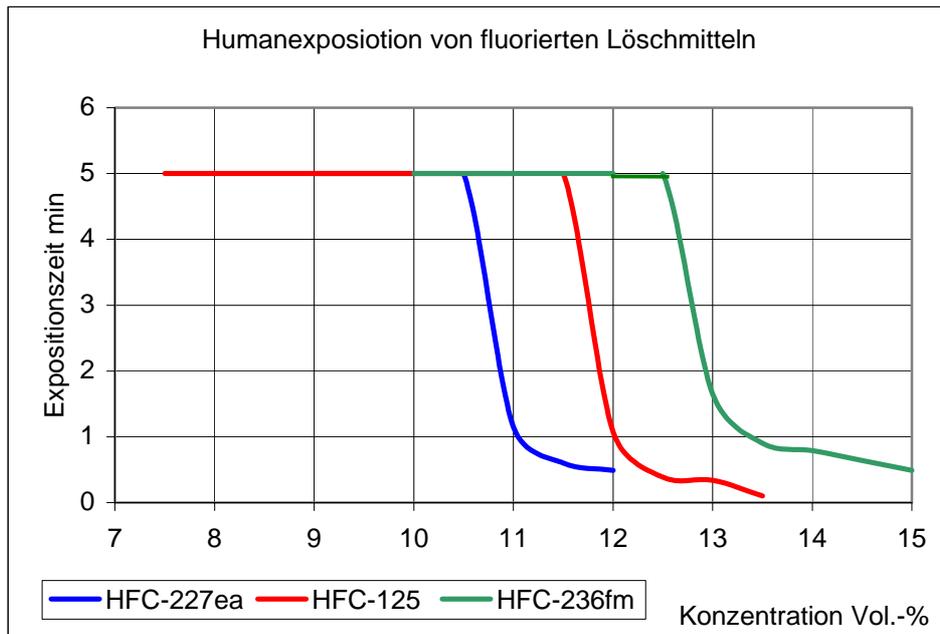


Abbildung 4: Humanexposition für HFKW (HFCs)

Unter Berücksichtigung der Auslegungskonzentrationen des VdS können dann aber nur noch in EDV-, Schalt- und Verteilerräumen ausreichend geringe Konzentrationen der Kohlenwasserstoffe zugrundegelegt werden, so dass der sichere Evakuierungsbereich auf wenige Löschanlagen mit FM-200 beschränkt ist. Für Trigon-300 wäre aufgrund der hohen Grenzen der akuten Toxizität (NOEL 50%; LOEL >50%) deutlich weniger Einschränkung zu erwarten.

Da aber eine Aufnahme der Verbindungen in das Blut möglich sein kann und zur Langzeittoxikologie nur wenig Informationen vorliegen, sollte diese geringe zeitliche Spanne nur in Ausnahmefällen wirklich in Anspruch genommen werden.

Zur Toxizität der in Deutschland zugelassenen HFKW FM-200 und Trigon-300 sowie dem neuentwickelten Produkt Novec 1230 werden in den nachfolgenden Tabellen die wesentlichen toxischen Eigenschaften zusammengefasst. Die Werte zeigen, dass die Verbindungen gering toxisch wirken. In Räumen arbeitende Personen, die durch eine Löschanlage geschützt wird, kommen ohnehin nur im Fall einer Auslösung mit dem Löschmittel in näheren Kontakt. Der Kontakt ist dann meist kurzzeitig und im Brandfall durch Rauchgase und unterschiedliche Zersetzungsprodukte überlagert, so dass die toxischen Eigenschaften dieser Löschmittel durchaus als akzeptabel angesehen werden können. Die als pdf-Dateien verfügbaren Datenblätter und Wertezusammenstellungen sind in Anlage 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Übersicht Toxikologie FM-200

Untersuchung	Ergebnis	Bewertung	Quelle
	Flüssigkeit / kaltes Gas	Erfrierungen	[Great Lakes 1998]
Haut (Reizung, Sensibilisierung, Toxizität)	Nicht getestet		[NICNAS 1999]
Augenreizung	Flüssigkeit / kaltes Gas	Erfrierungen	[Great Lakes 1998]
Augenreizung	Nicht getestet		[NICNAS 1999]
Akute Toxizität		gering	[Emmen et al. 1999] Skaggs et al. 1995 [INEOS 2002]
Akute Toxizität Inhalation 4h 788.696 ppm Ratte	Anästhesie, vermind. Atmung, vermind. Aktivität, Ataxie, Erschöpfung	LC50 > 788.696 ppm, geringe Toxizität bei Inhalation	[Great Lakes 1998] [NICNAS 1999]
Akute Toxizität Inhalation 1/4h Ratte	LC50 > 7200 ppm		[Great Lakes UK 2001]
Akute Toxizität Ganzkörperexposition 4 h mit 121.267 ppm 4,5 h mit 241.188 ppm Ratte	Anästhesie, verminderte Atemfrequenz, vermind. Aktivität u/o Ataxie keine signifikanten Organbefunde	LC50 > 241.188 ppm	[NICNAS 1999]
akute Toxizität Ganzkörperexposition 8 x 1h (je 7 Tage Pause) 8 Menschen 4/sex	max. Exposition mit 8000 ppm ergab max. Blutkonzentration von 1,4 (w) u. 1,9 (m) µg/ml keine negativen Effekte	Blutkonzentration bei gleicher Exposition bei Männern höhere als bei Frauen	[Emmen et al. 1999]
Subakute Toxizität Inhalation 90 Tage 6 h/Tag Mit max. 10,5 vol% Ratte	Effekte nicht behandlungsabhängig	NOAEL 105.000 ppm, keine systemische Toxizität	[NICNAS 1999] [Great Lakes 1998]
Herzsensibilisierung Hunde		LOAEL 100.000 ppm	[Emmen et al. 1999]
Herzsensibilisierung Inhalation bis 14 % Hund (Beagle)	Dosisabhängige Herzsensibilisierung ab 9 %	NOAEL 9 % LOAEL 10,5 %	[Great Lakes 1998] [NICNAS 1999]
Subchronische Toxizität		gering	[Emmen et al. 1999] [Skaggs et al. 1995]
Chronische Toxizität Exposition 2 Jahre 1h/tägl. mit bis zu 240.000 ppm Ratte	Keine signifikanten Anzeichen toxischer Wirkung	NOAEL 240.000 ppm minimale Toxizität	[Emmen et al. 1999]
Chronische Toxizität		gering	[Emmen et al. 1999] [Skaggs et al. 1995]
Entwicklungs-und Reproduktionstoxizität Ganzkörperexposition bis max. 105.000 ppm 6 h/Tag Ratte, Kaninchen	Keine signifikanter Effekt war behandlungs-abhängig	Keine Entwicklungs- und Reproduktionstoxizität	[Great Lakes 1998] [NICNAS 1999]
Genotoxizität Ames-Test Exposition 43,9 –93,5 %	Rasterschubmutation und Basenpaarmutation negativ, zelltoxisch bei 93,5 % über 48 h	Nicht mutagen	[Dodd et al. 1997] [Mitchell 1995]

noch Tabelle 6

Untersuchung	Ergebnis	Bewertung	Quelle
Genotoxizität Ames-Test Exposition bis 80 / 88 %		Nicht mutagen gegen Salmonella thyphim. u. Escherichia coli	[NICNAS 1999]
Genotoxizität Mikrokern-Test Knochenmarkzellen Maus Exposition Inhalation max. 10,5 % 3 Tage je 6 h	Keine toxischen Anzeichen, keine Veränderung Anteil PCE, keine signifikante Än- derung der Zahl der Mikro- kerne	Nicht klastogen	[Dodd et al. 1997]
Genotoxizität Thymidinkinase-Test Mäuselymphomzellen Exposition 8,5 – 56,8 %	Keine Veränderung bei Wachstum, Klonungseffi- zienz und Mutantmenge	Nicht mutagen	[Dodd et al. 1997]
Biotransformation Ratten Lebermicrosomen von Ratten u. Menschen Exposition 5000 ppm 6 h	Geringe Mengen an Hexaflu- oraceton-trihydrat im Urin als Metabolit, keine weiteren fluorierten Metaboliten oder anorganisches Fluor	Biotransformation in sehr geringer Rate zu Hexa- fluoraceton-trihydrat oh- ne irreversible Bindung	[Köster et al. 1996]

Tabelle 7: Übersicht Toxikologie Trigon 300

Untersuchung	Ergebnis	Bewertung	Quelle
Hautkontakt	Nicht getestet Flüssigkeit	Erfrierungen möglich	[DuPont 2002]
Hautkontakt	Flüssigkeit	Erfrierungen möglich	[HIL UK 2000]
Hautkontakt Langzeitexposition	Dermatitis		[NJ Dep. Health 1996]
Augenkontakt	Nicht getestet Flüssigkeit	Erfrierungen möglich	[DuPont 2002]
Augenkontakt	Flüssigkeit	Erfrierungen möglich	[HIL UK 2000]
Akute Toxizität Inhalation hoher Konzent- rationen	Dampf	Kopfschmerzen, Schläfrigkeit, Schwindel, Bewusstlosigkeit, Herzsensibilisierung	[HIL UK 2000]
Akute Toxizität Inhalation hoher Konzent- rationen	Dampf	Herzarrhythmien, Bewusstlo- sigkeit, Tod, Überdosis: Übelkeit, Kopf- schmerzen, Schwäche, Ver- wirrtheit, Koordinationsstö- rungen, Bewusstlosigkeit, Überdosis > 20 %: Störungen der Herzrätigkeit mit unregel- mäßigem Puls, Herzklopfen, Kreislaufstörungen	[DuPont 2002]
Akute Toxizität Inhalation 2 h Ratte		Nicht schädlich bei Inhalation LC50 > 5,7 g/l	[HIL UK 2000]
Akute Toxizität, Inhalation 4 h, Ratte		LC50 > 663.000 ppm	[DuPont 2002]
Akute Toxizität Inhalation 1 x > 22 %	Narkotische Effekte, Körpergewichtsverlust		[DuPont 2002]

noch Tabelle 7

Untersuchung	Ergebnis	Bewertung	Quelle
Akute Toxizität Inhalation bis 60 % Mensch	bei 40 u. 60 % nicht vertretbare Effekte wie Gedächtnisschwäche, Übelkeit	Bis 30 % vertretbar, für Messung des CBF mittels MRT nicht geeignet	[Rahill et al. 1998]
Akute Toxizität Inhalation	Lungenreizung mit Husten		[NJ Dep. Health 1996]
Herzsensibilisierung Inhalation 800.000 ppm für 5 – 10 min, Hund	Keine Störung der Herzfähigkeit	Risiko der Herzsensibilisierung konnte nicht bewertet werden	[DuPont 2002]
Herzsensibilisierung, Inhalation 30 %, 50 %, Hund	Keine Störung der Herzfähigkeit	Risiko der Herzsensibilisierung konnte nicht bewertet werden	[DuPont 2002]
Herzsensibilisierung, Inhalation bis 70 % Pavian	Dosisabhängige Minderung der Herzleistung und Änderung der Atemfrequenz	Risiko der Herzsensibilisierung konnte nicht bewertet werden	[DuPont 2002]
Subchronische Toxizität Inhalation 3 Monate Ratte, Hund	Keine Effekte		[HIL UK 2000]
Entwicklungs- u. Reproduktionstoxizität	Keine Effekte	NOAEL 50.000 ppm	[DuPont 2002]
Genotoxizität, Bakterientest	negativ	nicht mutagen	[DuPont 2002]
Genotoxizität, Zelltest	negativ	Nicht mutagen	[DuPont 2002]
Genotoxizität, Tier	negativ	Nicht mutagen	[DuPont 2002]
Genotoxizität Drosophila Melanogaster	98 pph / 10M	mutagen	[Great Lakes 2001/1]
Genotoxizität		mutagen	[NJ Dep. Health 1996]
Karzinogenität	Keine Ergebnisse aus Tierversuchen verfügbar		[DuPont 2002]

Tabelle 8: Übersicht Toxikologie Novec 1230 (Nonfluor-4-(trifluormethyl)-3-pentanon)
[NICNAS 2002]

Untersuchung	Ergebnis	Bewertung	Labor
akute orale Toxizität, Ratte	LD50 > 2000 mg/kg KG	wenig toxisch	Notox 2001
akute dermale Toxizität, Ratte	LD50 > 2000 mg/kg KG	wenig toxisch	Notox 2001
akute Inhalationstoxizität Ratte	LC50 > 98658 ppm/4h	wenig toxisch	Notox 2001
Hautreizung, Kaninchen		nicht hautreizend	Notox 2001
Augenreizung, Kaninchen		leicht augenreizend	Notox 2001
Hautsensibilisierung Meerschweinchen		keine Anzeichen der Hautsensibilisierung	Notox 2001
subakute Toxizität (wiederholte Inhalation) Ratte	LOAEL 997 ppm		TNO 2001
Genotoxizität, Bakterientest		nicht mutagen	Notox 2001
Genotoxizität, Zelltest		nicht genotoxisch	Covance 2001
Herzsensibilisierung Beagle	NOAEL 9,97 %		Huntingdon 2001

3.2. Flüssige und feste Volumenlöschmittel

3.2.1. Wasser

Die Löschwirkung von Wasserdampf ist seit langem bekannt und erfordert ebenfalls Löschkonzentrationen, die im Bereich der übrigen inerten Gase liegen. Da Wasserdampf jedoch sehr schwer einzusetzen ist und einen hohen Energiegehalt besitzt, erfolgte der Einsatz nur an Stellen an denen Wasserdampf billig ist und in großen Mengen zur Verfügung stand.

Wasser als Flüssigkeit steht überall zur Verfügung und es bestehen große Erfahrungen beim Einsatz als Löschmittel sowie bei der technischen Ausführung von Löschanlagen für feste Stoffe, bei denen das Löschwasser vorzugsweise als Oberflächenlöschmittel wirksam wird.

Als Volumenlöschmittel wurde Wasser erst interessant, als es möglich wurde, durch hohen Druck oder spezielle Düsen eine sehr feine Verteilung von Wassertropfen herzustellen, die bei einer ausreichenden Konzentration an feinverteiltem Wasser in Luft Gasflammen und sich ausbreitende Flammenfronten in explosiblen Gemischen löschen konnten. Wasserdampf mit mittleren Tropfengrößen bis zu etwa 100 µm erreicht bei Beladungen zwischen 350 und 500 g je m³ eine gute Löschwirkung im Gasvolumen einer sich ausbreitenden Explosionsfront [Michelis und Fromme 1985] bzw. in Freistrahlen von Diffusionsflammen [Pleß und Kohl 1985]. Da die Wassertropfen sich mit einer entsprechenden Anfangsgeschwindigkeit nach dem Verlassen der Düse in der Luft gerichtet bewegen und als strömende Masseteilchen der Schwerkraft unterliegen, ergibt sich für jedes Tröpfchen eine bestimmte Flugbahn im Raum. Innerhalb des Strahls bei mittleren Konzentrationen um 500 g/m³ befindet sich ein löschtüchtiges Volumen. Um im Raum an allen Stellen löschtüchtige Konzentrationen zu erzeugen, muss besonderes Gewicht auf die räumliche Verteilung der Löschdüsen gelegt werden und die Strömung im Raumvolumen während des Löschvorganges berücksichtigt werden.

Im Gegensatz zu gasförmigen Löschmitteln, die infolge Eigenbewegung sich im Raum verteilen, kann beim Wasserdampf diese Konzentration nur innerhalb der Flugbahnen der Tropfen erreicht werden. Hindernisse zerteilen den Löschmittelstrahl und bilden im Volumen Bereiche aus, in denen die Löschkonzentration nicht mehr ausreicht. Es müssen alle Bereiche des Verbrennungsvolumens durch die sich ausbreitenden Wassertropfen mit der erforderlichen Tropfendichte beaufschlagt werden, um löschtüchtig zu werden.

Der Schwarm von Wassertropfen wird nur in der Zeit seiner Ausbreitung im Raum als Volumenlöschmittel wirksam. Setzt sich der Tropfen als Flüssigkeit ab, kann er nur mit der Oberfläche des Stoffes in Wechselwirkung treten. Aus diesem Grund müssen die Wasserdampfnebel in einem Raum ständig erneuert und so der geforderte Zeitraum für die Unterbrechung möglicher Rückzündungen im Raum eingehalten werden.

Der Einsatz von Wasserdampfnebel als Volumenlöschmittel hängt damit im Wesentlichen von der Anordnung der Löschdüsen im Raum und der Anordnung der Einbauten ab. Die Wassertropfen müssen nahezu vollständig alle Zwischen- und Hohlräume erfassen. Wenn Hindernisse ausreichend große Räume mit geringerem Löschmittelgehalt im strömenden Medium schaffen, vermindert sich sofort die Löschwirkung. Wasserdampfnebel ist also vorzugsweise auf das Löschen möglichst unveränderlicher Räume und Anlagen ausgerichtet. Hier muss eine ingenieurtechnische Lösung zur optimalen Verteilung der Tropfen geschaffen werden.

Bestehen diese Randbedingungen nicht, wird der Wasserdampfnebel nur in den Teilvolumina löschtüchtig, in denen die löschtüchtige Konzentration erreicht wird. Die Löschanlage wird dann die Brandintensität verringern (Brandunterdrückung) und für eine Verhinderung der Brandausbreitung sorgen. Die Ausbildung von Glut und verdeckten Bränden kann in diesem Fall nicht verhindert werden.

Diese durch die vorgegebene Strömungsrichtung der Wassertropfen bedingte Einschränkung in der Löschwirkung als Volumenlöschmittel kann durch eine exakte Auswahl der Randbedingungen für die Auslösung einer Wassernebellöschanlage teilweise behoben werden. Eine genaue Temperatursteuerung der Auslösung erst bei etwa 80 bis 90 °C Raumtemperatur kann einen Teil der fein zerstäubten Wassertropfen verdampfen und als Wasserdampf wirksam werden lassen. In diesem Fall ist der Wasserdampf als Löschgas zu betrachten. Er erreicht das gesamte Raumvolumen wie alle anderen Löschgase. Zu beachten ist, dass im Zeitraum der Brandentwicklung nur ein eng begrenztes Zeitfenster zur Verfügung steht und die verdampfende Masse an Löschwasser ausreichend sein muss, um den entstandenen Flammenbrand in den Bereichen zu löschen, die durch die Wassertropfen nicht erreicht werden können. Bei weiterer Brandentwicklung und damit Glutbildung ist die Wirkung des Wasserdampfes nur noch gering, weil die erforderlichen Konzentrationen an Wasserdampf für das Ablöschen von Glut deutlich höher liegen (60 bis 65 Vol. - %).

Nachteilig ist bei Anwendung wässriger Löschmittel, dass mit dem Löschwasser gelöste Salze eingebracht werden, welche die Leitfähigkeit der Wasserfilme hervorrufen und vor allem bei elektrischen Anlagen und in Kabelschächten Probleme bereiten können.

Es ist auch zu beachten, dass Wasser ein sehr effizientes Lösungsmittel darstellt und insbesondere Lösungen von Pyrolyse- bzw. Zersetzungsprodukten aus Bränden mit dem Wasser in alle Bereiche gelangen, was zu Korrosion und Zersetzungsreaktionen führen kann.

Trotzdem ist Wassernebel als Volumenlöschmittel in vielen Bereichen eine sehr effiziente und kostengünstige Alternative zu Halonlöschmitteln.

Gegenwärtig fehlen jedoch noch definierte und standardisierte Prüfmethode zur exakten Bewertung der Löschwirkung von Wassernebel im Vergleich zu anderen Volumenlöschmitteln, wie dies im NFPA-Standard 750 und in einigen IMO-Vorschriften getan wird. In der Regel wird gegenwärtig von Brandtests in Originalgröße ausgegangen.

3.2.2. Löschpulver

Löschpulver ist das einzige feste Volumenlöschmittel. Es muss ebenso wie Wassernebel als feinverteilte Teilchenwolke im Volumen ausgebracht werden. Die Löschpulverteilchen treten mit den Radikalen direkt in Wechselwirkung und führen zu ihrer Rekombination bzw. es erfolgt die Aufnahme der Energie der Radikale. Es kommt schließlich durch diese Stoßreaktionen direkt zum Abbruch der Reaktionsketten in der Flamme. Die heterogene Reaktion zwischen den festen Pulverteilchen und den Radikalen der Flamme wird als negative heterogene Katalyse bezeichnet. Sie ermöglicht eine minimale Löschkonzentration für das Löschpulver im Volumen, die je nach Korngröße und Pulverzusammensetzung zwischen 130 und 300 g/m³ liegen kann. Die Schüttdichten von Löschpulvern erreichen 0,8 .. 0,95 kg/l. Je Kubikmeter Raumvolumen müssen für Löschpulver maximal 0,38 l Speichervolumen vorgesehen werden.

Löschpulver ist neben den chemischen Löschmitteln (Halonen und HFKW) das einzige wirklich katalytisch wirksame Löschmittel für das Löschen von Flammen (Volumenlöschmittel). Da Löschpulver als anorganisches Salz nur eine geringe elektrische Leitfähigkeit besitzt, kann es auch bei elektrischen Anlagen gefahrlos eingesetzt werden.

Löschpulverteilchen besitzen als schwebende Masseteilchen eine begrenzte Verweildauer im Luftvolumen und setzen sich nach endlicher Zeit ab. Die Löschwirkung kann innerhalb der löscherfähigen Konzentration eines Pulverstrahls nur solange aufrechterhalten werden, wie ausreichend Löschpulver nachgeführt wird. Die löscherfähige Konzentration wird nur innerhalb eines definierten Abschnittes des Pulverstrahls erreicht, in dessen Volumen die Teilchenkonzentration für die Unterbrechung der Reaktionsketten zwischen Brandstoff und Luftsauerstoff

ausreicht. Bei Hindernissen oder an 3D-Objekten bilden sich Leeseiten aus, in denen keine Löschwirkung infolge geringerer Löschkonzentration der Pulverteilchen erreicht werden kann.

Heiße Löschpulverteilchen können direkt mit Metallen in Wechselwirkung treten und bereits während der Löschphase zu Korrosionsschäden an Metallen führen. Hierbei entstehen Verzunderungen an Metallen, Deckschichten werden aufgeschmolzen und es sind innere Korrosionsvorgänge möglich. Diese Art der Korrosion wird auch als Hochtemperaturkorrosion bezeichnet. Das feste Löschpulver besitzt Korngrößen von etwa 20 bis 200 µm und setzt sich auf Flächen im Raum als feinste, meist gut haftende Schicht ab. Die Haftfähigkeit der Pulver wird durch Rußpartikel und anhaftende organische Pyrolyseprodukte meist noch verstärkt. Es ist schwierig, das anhaftende Salz zu entfernen. Meist muss mit einer aufwendigen Feuchtreinigung das Löschpulver entfernt werden. Der Hauptbestandteil von Löschpulver ist immer ein relativ gut wasserlösliches anorganisches Salz, welches meist durch Silikonisierung hydrophobiert wurde. Die Hydrophobierung wird in der Regel beim Flammenkontakt ganz oder teilweise aufgehoben, so dass in Verbindung mit Feuchtigkeit sich konzentrierte Salzlösungen bilden können, die meist sauer reagieren und damit direkt korrosiv wirken.

Anorganische Salze besitzen infolge ihrer Kristallstruktur eine bestimmte Härte, die insbesondere bei bewegten Teilen an Maschinen durch oberflächliche Wirkungen Metallabtrag und Zerstörungen hervorrufen können.

Damit eignet sich Löschpulver nur in Räumen ohne freiliegende bewegliche Maschinenteile und ohne empfindliche Anlagen zum effektiven Löschen. Löschpulver ist aus diesen Gründen als stationäres Löschmittel in ortsfesten Löschanlagen praktisch nicht zum Einsatz gekommen.

Löschpulver stellt heute ein wichtiges Löschmittel für Handfeuerlöscher in Kraftfahrzeugen, im Wohnbereich und in Betrieben dar. Hier kann es die bisher für diese Bereiche verwendeten Halon – Handfeuerlöscher zum größten Teil ersetzen.

3.2.3. Gasgeneratoren und pyrotechnische Aerosole

Gasgeneratoren können Gemische inerter Gase auf pyrotechnischem Weg erzeugen, in denen nach der Verbrennung praktisch kein Sauerstoff mehr enthalten ist. Die Gasgemische werden wie die bekannten Löschgase Stickstoff und Kohlendioxid als Volumenlöschmittel eingesetzt. Pyrotechnische Reaktionen zur Erzeugung der Gasgemische verlaufen exotherm. Somit ist örtlich mit erhöhten Temperaturen zu rechnen und für die begrenzten Reaktionsbereiche muss ausgeschlossen werden, dass sie als Zündquelle in Erscheinung treten können. Die pyrotechnische Reaktion ist durch Abbrennen fester Produkte auf einem sehr kleinen Raum konzentriert. Hohe Reaktionstemperaturen können eine Reihe von Nebenprodukten liefern, vor allem Stickoxide. Diese Produkte bringen eine zusätzliche toxische Wirkung. Schädigende Nebenprodukte aus den pyrotechnischen Komponenten sind bei sorgfältiger Auswahl der Komponenten des pyrotechnischen Satzes auf ein Minimum beschränkt.

Eine zweite Gruppe pyrotechnischer Erzeugnisse produziert als Löschmittel anorganische Salze in feinsten Verteilung (1 bis 20 µm), die im Raumvolumen ein Aerosol bilden, welches sich wie ein gasförmiges Löschmittel verhält. Als Salze kommen vor allem Kaliumcarbonat, Kaliumsulfat und Kaliumchlorid in Betracht. Die festen Aerosole aus Salzen kombinieren die inhibierende Wirkung der Löschpulver mit der spontanen Ausbreitung gasförmiger Verbindungen im Raumvolumen infolge der Eigenbewegungen der Moleküle [Pyrogen Limited 2002]. Pyrotechnische Salzaerosole erreichen infolge ihrer hohen Stabilität durch die Bewegungen in der Luft alle Teile des Raumes.

Die hohen Reaktionstemperaturen und Verunreinigungen in den pyrotechnischen Komponenten können bei der pyrotechnischen Erzeugung von Salzen zu toxischen Verbindungen führen. Die gebildeten Salzaerosole können abgesetzt eine Schmirgelwirkung hervorrufen, bzw. in Verbindung mit Luftfeuchtigkeit korrosive Eigenschaften besitzen. Die Untersuchungen der US-Air-Force [Bennett et al. 1994] haben gezeigt, dass für die Gaserzeugungssysteme eine starke Wärmeisolation erforderlich ist. Die Gasgeneratoren sind noch nicht soweit ausgereift, dass sie erfolgreich eingesetzt werden könnten. Es wurde aber darüber berichtet, dass bereits Löscherfolge bei realen Bränden an einem Marineflugzeug des Typs V-22 und bei Triebwerken des Flugzeugtyps F 18 EF erzielt werden konnten.

Weitere Entwicklungen erscheinen Erfolg versprechend und könnten insbesondere im Luftfahrtbereich zukünftig die Halone ersetzen.

3.3. Aktiver Brandschutz durch Verhinderung der Zündung

3.3.1. Ansätze für technische Maßnahmen

Die Zündung brennbarer Materialien generell zu verhindern, kann durch

- eine direkte Einflussnahme auf die zur Verfügung stehende Energie für eine Zündung oder
- die Veränderung der Grenzen der Brennbarkeit des Systems selbst realisiert werden.

Da Zündvorgänge ihren Anfang in sehr kleinen Volumina haben können, muss die Einflussnahme auf die Zündenergie im gesamten Volumen erfolgen, das es zu überwachen gilt. Praktisch realisierbar wird dieses Vorgehen vor allem in Rechneranlagen, bei denen durch Eigenüberwachung oder Überwachung mit Sensoren eine direkte Abschaltung der Systeme möglich wird. Diese Schaltungen können selektiv genau die Systeme betreffen, bei denen Übertemperaturen, andere Signale bzw. eine Kombination mehrerer Signale eine Zündung erwarten lassen.

Die Veränderung der Brennbarkeitsgrenzen von Systemen beruht darauf, dass die meisten Flüssigkeitsdämpfe oder brennbaren Gase mit Luft nur in einem definierten Konzentrationsbereich mit Luft selbständig weiter brennen. Für die meisten organischen Gase und Dämpfe und auch für die Pyrolysegase fester Stoffe liegt dieser Konzentrationsbereich zwischen 21 und 17 Vol. - % Sauerstoff im Gas/Luft Gemisch. Als Maß für die notwendige Sauerstoffkonzentration kann der Sauerstoffindex verwendet werden. Für nicht schmelzende feste Stoffe besteht die Möglichkeit, dass mit ausreichender Energie der Zündquelle Glut gebildet wird. Die heterogene Reaktion an der Phasengrenzfläche zwischen glühendem Brandstoff, der vorzugsweise aus Kohlenstoff besteht, und dem Sauerstoff der Luft wird erst bei Sauerstoffkonzentrationen um 12 Vol. - % unterbrochen. Aus dem glühenden Kohlenstoff wird bei Sauerstoffkonzentrationen unterhalb der Flammenverbrennung Kohlenmonoxid gebildet.

3.3.2. Branderkennung in elektronischen Anlagen

Elektronische Anlagen bieten aufgrund der Leistungsfähigkeit der verwendeten Speicherchips durchaus die Möglichkeit der Eigenüberwachung. Bei Erreichen festgelegter Grenzwerte (z.B. des elektrischen Widerstandes oder der Materialtemperatur von Bauteilen) können einzelne Anlagenteile einfach vom Netz getrennt und abgeschaltet werden. Da eine mögliche Zündung nicht explosionsartig abläuft, können bei den erreichten Rechengeschwindigkeiten die Daten dieses Systems noch gesichert werden. Neben der eigenen Temperaturüberwachung lassen sich an die Einzelsysteme auch entsprechende Sensoren zur Brandfrüherkennung anschließen, die zur Abschaltung führen.

3.3.3. Brandunterdrückung durch Minderung der Sauerstoffkonzentration

Eine Minderung der Sauerstoffkonzentration kann nur in geschlossenen Räumen mit geringer Frequentierung durch Personen realisiert werden. Diese Anforderungen erfüllen insbesondere Lager und Magazine für spezielle Dokumente, Kulturgüter und Kunstwerke. Es bestehen aber auch für Lager mit automatischen Beschickungen und dementsprechend eingerichteten Schleusen, insbesondere für die Lagerung gefährlicher und toxischer Materialien, derartige Einsatzmöglichkeiten. Des Weiteren ist auch für kleine Räume mit wichtigen Daten und Geräteeinheiten (Server, Softwaredepots u.ä.) relativ leicht eine ständige Brandunterdrückung einzurichten.

Die einfachste Möglichkeit zum Erreichen verringerter Sauerstoffkonzentration im Raum ist das Zuführen eines Löschgases mit der erforderlichen Löschkonzentration (Inertisierung). Prinzipiell eignen sich alle Löschgase für diesen Einsatzzweck. Es bieten sich aber vor allem Kohlendioxid und Stickstoff an. Der Einsatz wird insbesondere in Bereichen der chemischen Industrie realisiert, weil hier die Gase ständig verfügbar sind und oftmals als billiges Nebenprodukt anfallen. Inertisiert werden vor allem pyrophore Stoffe und Zwischenprodukte, Lagertanks mit leichtentzündlichen oder zersetzlichen Flüssigkeiten aber auch Lager mit gefährlichen festen Stoffen.

Durch die Entwicklung der Molekularsiebtechnik zur Trennung von Gasen wurde es in den letzten Jahren möglich und kostengünstig realisierbar, dass aus der Luft der Stickstoff ohne den Umweg einer Verflüssigung und nachfolgende Destillation gewonnen werden kann. Die Geräte sind soweit entwickelt, dass die erforderliche Stickstoffmenge zur Minderung der Sauerstoffkonzentration im zu schützenden Raum vor Ort hergestellt werden kann. Der kontinuierliche Betrieb einer derartigen Lufttrennanlage erzeugt ausreichend Stickstoff, welcher mittels Kompressor verdichtet und als Puffer in Druckgasflaschen abgefüllt wird. Erreicht die Sauerstoffkonzentration im Raum einen Grenzwert, kann schlagartig Stickstoff aus dem Puffersystem zugeführt werden. Das trifft auch zu, wenn das Lager über Schleusen betreten werden muss [Wagner 1999]. Inertisierungssysteme werden heute von mehreren Anbietern vertrieben.

Eine verringerte Sauerstoffkonzentration auf 15 bis 16 Vol. - % ist für den Menschen ohne Probleme erträglich. Es erfolgt keine schädigende Wirkung. In Sonderfällen bei 12 Vol. - % Sauerstoffkonzentration muss die Aufenthaltszeit der Menschen im Raum begrenzt werden bzw. kurzzeitig die Sauerstoffkonzentration erhöht werden.

Nachteilig sind die hohen Kosten für diese Systeme, da sie im Gegensatz zu den Löschanlagen immer wirksam sein müssen. Die Kosten sind vor allem für Kompressor und die Druckgasflaschen, die einer technischen Revision unterliegen, zu sehen.

3.4. Gesamtbewertung alternativer Löschverfahren

Die Gesamtbewertung der alternativen Löschmittel und technischen Verfahren zur Verhinderung der Brände zeigt, dass Halonlöschmittel in nahezu allen Anwendungsbereichen durch alternative Löschmittel ersetzt werden können. Die Löschwirkung aller verfügbaren Volumenslöschmittel beruht auf der Unterbrechung der Reaktionsketten zwischen brennbarem Stoff und dem Sauerstoff der Luft. Unterschiedlich ist die zur Unterbrechung der Reaktionsketten notwendige Löschkonzentration, die bei den Halonen sehr niedrig war und für die chemischen Löschmittel aus der HFKW-Reihe immer noch deutlich unterhalb der Löschkonzentration für inerte Gase liegt. Da aber immer mehr auch die Nebenwirkungen der chemischen Löschmittel, die auch bei den Halonen vorhanden und bekannt waren, berücksichtigt werden, heben sich die Vorteile der chemischen Löschmittel teilweise wieder auf.

Kein alternatives Löschmittel wird die optimalen Eigenschaften für den Schutz eines speziellen Objektes allein auf sich vereinigen. Diese Eigenschaften resultieren aus folgenden Zielstellungen:

- Wirkung als echtes Volumenlöschmittel in allen Bereichen des umbauten Raumes,
- minimale Löschkonzentration im umbauten Volumen,
- minimaler Platzbedarf für die Lagerung des Löschmittels,
- geringer Druckausgleich während der Flutung des Raumes mit Löschmittel,
- Zuleitung des Löschmittels auch über längere Entfernungen,
- keine chemischen Nebenwirkungen durch reizende oder ätzende bzw. als Lösungsmittel wirkende Gase oder Dämpfe,
- keine Korrosionswirkungen während des Brandfalles und im Nachhinein,
- keine akut toxischen Wirkungen,
- keine langzeittoxischen Wirkungen,
- keine Wirkungen auf die Umwelt, sowohl durch die Verbindung selbst, als auch durch ihre Zersetzungsprodukte im Brandfall bzw. im Rahmen der natürlichen Zersetzung,
- geringe Arbeitsdrücke für die Lagerung des Löschmittelvorrates und der Gesamtanlage,
- Dichtheit der verwendeten Dichtungsmaterialien und Materialverbindungen,
- geringe Löschmittelkosten.

Eine Bewertung dieser Einzelkriterien kann nur dann weitgehend real sein, wenn ein konkret zu schützendes Objekt zugrunde liegt. Aber selbst dann wird es subjektiv Unterschiede geben. Grundsätzlich sollte eine Gesamteinschätzung aller Eigenschaften der Löschmittel nicht über eine allgemeine Wichtung der Einzelkriterien vorgenommen werden. Somit wird man auch nicht zu einer allgemeinen Reihenfolge der Effizienz der Löschmittel gelangen können. Das verbietet sich deshalb von selbst, weil die sehr verschiedenen zu schützenden Räumlichkeiten deutlich unterschiedliche Anforderungen an die Löschmittel und die Realisierung der Löschanlagen stellen.

Grundsatz sollte aber sein, dass das ausgewählte Volumenlöschmittel

- die erforderliche Löschkonzentration im Raum ausreichend schnell aufbaut,
- die Löschwirkung an allen Stellen des Raumes erreichen kann,
- für die Personen innerhalb des Raumes keine akute Gefahr darstellt und die Personen die Gefahrenzone sicher verlassen können. In einigen Fällen, können aber auch geringe akute Wirkungen in Kauf genommen werden, wenn damit das Leben anderer Personen gesichert werden kann,
- möglichst umweltfreundlich ist und damit kein ozonzerstörendes Potenzial, kein Treibhauspotenzial hat und nicht in anderer Form auf die Umwelt wirkt,

- nicht andere toxische, umweltgefährdende oder anderweitig wirkende Verbindungen aus dem zu schützenden Raum in die Atmosphäre geführt werden (z.B. radioaktive Stoffe, Bakterien, Pilze, Sporen, Gifte, ätzende Stoffe). Hier muss zwischen den Wirkungen gewichtet werden und die Druckentlastungen auf die Kapazität der Filter- bzw. Notsysteme abgestimmt werden.
- keine zusätzlichen chemischen Verbindungen mit ätzenden oder toxischen Eigenschaften während des Löschvorganges oder auch danach erzeugen kann,
- selbst oder seine Zersetzungsprodukte nicht korrosiv gegenüber Metallen oder quellend gegenüber organischen Materialien bzw. zerstörend auf Anstriche und Schutzschichten wirken (z.B. Löschpulver als korrosive Salze gegenüber Metallen, Wasser als effektives Lösemittel, Säuren als ätzende und korrosive Verbindungen, organische Verbindungen als Quellmittel)
- ausschließlich im Brandfall und nur in begründeten Ausnahmefällen bei der Abnahmeprüfung freigesetzt wird, der Zeitraum für die optimale Entfaltung seiner Löschwirkung exakt bestimmt ist und in der Anlage während ihrer gesamten Lebensdauer die Leckageverluste an Löschmittel überwacht werden können. Dieser Punkt gilt ausschließlich für Löschmittel, die Treibhausgase sind.

Bei Veränderungen der Funktion des Raumes muss die Wirksamkeit der Löschanlage überprüft und wenn notwendig Anpassungen durch die Herstellerfirma vorgenommen werden.

Es wird deshalb je nach Anwendungsfall eine unterschiedliche Reihenfolge für die Effizienz der verschiedenen Volumenlöschmittel geben. Die sichere Bewertung dieser Reihenfolge durch die entsprechenden Ingenieur- und Planungsbüros erfordert aber, dass diese durch die verschiedenen Anbieter der Löschmittel und Löschanlagen auch alle erforderlichen Parameter zur Verfügung gestellt bekommen.

Für die chemischen und toxischen Löschmittel gehören die Sicherheitsdatenblätter nach Gefahrstoffverordnung grundsätzlich zum Bestandteil der technischen Unterlagen für die Löschanlagen. In den Datenblättern sind kritische Daten zur

- akuten Toxizität der Löschmittel bzw. ihrer Zersetzungsprodukte beim Löschen,
- Wirkung auf die Umwelt, insbesondere Ozonzerstörungspotenzial (ODP) und globales Erwärmungspotenzial (GWP), aber auch Bildung von langlebigen Säuren oder giftigen Metaboliten generell zu fordern.

Das ist gegenwärtig nach TRGS 220 bereits für die HFKW und Kohlendioxid erforderlich [TRGS 220], weil nach § 16 Abs. 3 der GefStoffV Sicherheitsdatenblätter für gefährliche Stoffe und auch für Stoffe vorhanden sein müssen, die nicht als gefährlich einzustufen sind, aus denen aber bei Verwendung gefährliche Stoffe entstehen oder freigesetzt werden. Weitere Ansätze liefert die TRGS 555. Damit könnten gegenwärtig vorhandene Unsicherheiten in der Bewertung der eingesetzten Löschmittel durch die Anwender beseitigt werden. Werbemaßnahmen unter Umgehen kritischer Bereiche für das Löschmittel wären nicht mehr möglich. Der Umfang bereits verfügbarer Datenblätter stellt die Vertreiber der Löschanlagen nicht vor unüberwindliche Hindernisse bei der Erstellung der Sicherheitsdatenblätter.

Die Neugestaltung der vorhandenen Löschmittelstandards, sowohl der EN – als auch ISO – Normen, um neben der Löschmittelprüfung nach Löscheffizienz und Qualitätsparametern auch alle anwendungstechnischen sowie sonstigen Eigenschaften zu berücksichtigen, scheint praktisch nicht realisierbar. Die Normen müssten dann vergleichbare Inhalte erreichen, wie die NFPA – Normen in den USA . In diesen Normen sind neben den anwendungs-

technischen Parametern auch Arbeitssicherheits-, Umweltschutz- und Toxizitätsparameter berücksichtigt und es werden Vorgaben für die Anwendung fixiert. Insbesondere die führenden Länder in der Entwicklung der Löschmittel sehen die EN - und insbesondere die ISO – Normen als Strategie für die Erschließung von Märkten an und sind nicht interessiert an Festlegungen, wie sie teilweise im eigenen Territorium üblich sind.

4. Technische Lösungen in kritischen Bereichen

4.1. Flughäfen

Die Berliner Flughäfen [Walter 2002] setzen in ihrem Brandschutzkonzept grundsätzlich auf die schnelle Verfügbarkeit mobiler Löschtechnik mit ausreichender Auswahl an Löschmitteln und Löschverfahren. Im Flughafenbereich sind Halonlöschmittel sowohl als Handfeuerlöscher als auch in kritischen Bereichen ausgesondert und entsorgt worden. Davon ausgenommen sind natürlich die Bordlöschmittel der Flugzeuge.

Die grundsätzliche Gestaltung der Gebäude und Anlagen wurde so konzipiert, dass Zwischenböden, verdeckte Räume oder andere technische Abschlüsse die Zuführung von Löschmittel nicht behindern. Die Abschlüsse und Zwischenböden müssen dabei ihre Funktion behalten, ansonsten stellen sie optische Sichtblenden dar, die im Brandfall auch in den abgegrenzten Bereichen eine sichere Brandbekämpfung ermöglicht.

Auf großflächige stationäre Löschanlagen wird verzichtet und vielmehr die Branderkennung bzw. in sensiblen Bereichen die Brandfrüherkennung bevorzugt. Alle Branderkennungssysteme sind direkt zur Feuerwehr geschaltet, die innerhalb von 60 Sekunden alle Bereiche des Flughafens erreichen kann und bei Ankunft aufgrund der Schnellangriffseinrichtungen ihrer Tanklöschfahrzeuge sofort einsatzbereit ist.

Die Elektronik im Bereich der Flugleitung ist redundant ausgelegt, so dass bei Brandalarm eines Systems Tower und andere Einrichtungen funktionsfähig bleiben. In den sensiblen Bereichen sind aktive Brandfrüherkennungsanlagen installiert. Vor Ort stehen Kohlendioxid – Handfeuerlöscher für eine Brandbekämpfung durch das Personal bereit. Die übrigen Arbeiten werden durch die Feuerwehr erledigt.

In den Hangars der Flughäfen stehen ebenfalls Handfeuerlöscher zu Verfügung. Bei größeren Bränden mit auslaufenden Flüssigkeiten werden durch die Feuerwehr neben der eigenen Angriffstechnik stationäre Schaumrohre mit Trockenleitungen angeschlossen.

Bei Arbeiten an den Triebwerken außerhalb des Hangars stehen die bordeigene Löschanlage und Kohlendioxid – Handfeuerlöscher bis 30 kg für die Entstehungsbrandbekämpfung zur Verfügung. Die Tanklöschfahrzeuge verfügen über ein Reservoir an Kohlendioxid, welches über Schnellangriffseinrichtungen mit Durchsätzen von 2 X 5 kg/s abgegeben werden kann. Zusätzlich stehen zur Sicherung ausgelaufener Flüssigkeiten sofort Schaumlöschmittel zur Verfügung.

Die Kombination von redundant verfügbaren Anlagen, der baulichen Gestaltung ohne absolut verschlossene Hohlräume und Zwischendecken, der Entstehungsbrandbekämpfung durch das Personal, einer Brandfrüherkennung mit sofortiger Alarmierung der Feuerwehr und die schnelle Verfügbarkeit von Wasser-, Schaum- und Kohlendioxidlöschverfahren kann alle möglichen Brände im Flughafenbereich sicher beherrschen und macht gleichzeitig die Installation großer stationärer Löschanlagen überflüssig.

Die Ausrüstung der Feuerwehr mit beschleunigungsstarken Großtanklöschfahrzeugen (Simba und Büffel), die ausreichend Löschwasser (12,5 m³) und Schaummittel (1000 kg) mitfüh-

ren, wobei ein Fahrzeug zusätzlich über einen Tank mit Kohlendioxid (400 kg) verfügt, bildet die Voraussetzung für das verwirklichte Konzept.

Am Flughafen München [Vierheilig 2003] wurde bisher Halon in Handfeuerlöschern zur mobilen Brandbekämpfung innerhalb brennender Flugzeuge durch die Einsatzkräfte genutzt. Da aufgrund der geringeren Löschkonzentration des Halons innerhalb der Flugzeuge örtlich eine derartige Konzentration schnell erreicht werden kann und die durch die Einsatzkraft mitzuführende Masse relativ gering ist, wurde der Standpunkt vertreten, dass für diesen Sonderfall die wenigen verfügbaren Handfeuerlöscher noch aufgebraucht werden sollten. Aus diesem Grund wurde eine Verlängerung der Nutzungsdauer für ausschließlich diesen Anwendungsfall beantragt. Zukünftig wird auch hier das Halon alternativ durch Kohlendioxid ersetzt .

Am Flughafen Frankfurt/Main [Hahn 2003] werden alle Halone mit Ablauf des Jahres 2003 durch alternative Löschmittel ersetzt. Ebenso wie auf den Berliner Flughäfen wird Kohlendioxid alternativ für die bisherigen Anwendungsbereiche von Halon eingesetzt werden. Das einzuschlagende Konzept für den Einsatz von Volumenlöschmittel innerhalb geschlossener Räume, insbesondere der mobilen Brandbekämpfung im Passagierbereich von Flugzeugen sieht entsprechende Schnellangriffseinrichtungen für Kohlendioxid vor, die durch einen ausreichenden Vorrat an mitgeführtem Löschgas auf den Löschfahrzeugen gespeist werden. Schwerpunkt für den Wechsel zum alternativen Löschmittel ist der praktische Umgang mit Kohlendioxid als Löschmittel für begrenzte Objekte innerhalb eines geschlossenen Raumes.

Für den Flughafen Paderborn – Lippstadt [Carl 2003] besteht keine Notwendigkeit mehr Halone zu verwenden. Ein Antrag auf Verlängerung der Verwendungsgenehmigung für Halon wird nicht gestellt. Auch hier wird als alternatives Löschmittel Kohlendioxid verwendet.

4.2. Triebwerksprüfstand Rolls-Royce Deutschland

Für die Triebwerkprüfstände der Rolls-Royce Deutschland am neu erbauten Standort Dahlewitz bei Berlin wurde ein dreifaches Löschkonzept mit alternativen Löschverfahren ohne den Einsatz von Halonen bzw. HFKW realisiert [Hanf 2003].

Grundsätzlich ist der Prüfstand mit einer Sprinkleranlage versehen, die als Nasssprinkler bei normalen Brandentwicklungen im Prüfstand ansprechen würde.

Im Bodenbereich befindet sich ein abgedecktes Becken als Sumpf für eventuell austretende Treibstoffe. Dieser Bereich wird durch eine stationäre Schaumlöschanlage gesichert. Bei der Konzipierung dieser Anlage wurde auch berücksichtigt, dass die stationären Schaumrohre keine Rauchgase aus dem Brandbereich ansaugen, weil damit die Schaumqualität vermindert wird.

Die stationäre Objektlöschanlage für die Turbine verwendet Kohlendioxid als Löschmittel. Das nachfolgende Bild zeigt die Löschanlage des Prüfstands.



Abbildung 5: Kohlendioxid – Löschanlage eines Triebwerkprüfstands ⁴

Die Löschanlage ist mit einem akustischen Alarmsystem gekoppelt, so dass im Prüfraum befindliche Personen diesen verlassen müssen. Die zeitliche Verzögerung ist auf die maximalen Fluchtwege abgestimmt. Die Löschdüsen, aus denen ein Gemisch aus gasförmigem Kohlendioxid und Kohlsäureschnee austritt, sind so angeordnet, dass um das gesamte Triebwerk eine CO₂ Wolke entsteht. Das Kohlendioxid wird über den Verdichter auch in den Brennraum gefördert. Da im Brennraum höhere Drücke herrschen, verschieben sich die Brennbarkeitsgrenzen. Dies wurde bei der Projektierung der Anlage berücksichtigt. Der Löschmittelvorrat reicht für drei aufeinanderfolgende Löschungen, so dass auch bei einer möglichen Rückzündung durch heiße Teile ein Nachlöschen möglich ist.

Die Brandschutzkonzeption für den Triebwerkprüfstand stellt ein Musterbeispiel für die Verwendung alternativer Löschmittel dar. Es wird gezeigt, dass auch in sensiblen Bereichen die

⁴ Copyright by Rolls-Royce Deutschland

Verwendung alternativer Löschmittel möglich ist. Durch konstruktive Lösungen wird die erforderliche Löschkonzentration am Triebwerk erreicht und unter Berücksichtigung der Zeitverzögerung für die Evakuierung der Löscherfolg sichergestellt.

4.3. Fahrzeugprüfstand

Die Siemens VDO Automotive AG in Schwalbach besitzt einen Prüfstand für Automobiltechnik auf welchem auch unterschiedliche klimatische Bedingungen simuliert werden können. Die Simulation unterschiedlicher Meereshöhen erfordert bei Unterdruck zu arbeiten. Dabei kann es notwendig sein, dass sich am Prüfstand ein oder mehrere Techniker aufhalten müssen. Da die Löschkonzentration von Halonen relativ niedrig war, wurde im Hinblick auf die Belastungen eventuell vor Ort befindlicher Personen eine Halonlöschanlage installiert, um eine möglichst geringe Druckbelastung auszuüben. Die Anlage hat bisher nicht ausgelöst und es bestehen keine Erfahrungen hinsichtlich der Druckwirkung während der Beflutung des Raumes. Gegenwärtig ist sicher, dass die Anlage fristgerecht außer Betrieb gesetzt wird und damit keine Verlängerung der Ausnahmegenehmigung beantragt wird. Welches Löschmittel in der Anlage alternativ eingesetzt wird, ist aber bisher nicht entschieden.

4.4. Bibliotheken

Für den Brandschutz in Bibliotheken gibt es eine große Anzahl von Literatur. Das Deutsche Bibliotheksinstitut veröffentlicht in seinem Kompendium zum Planungs- und Bauprozess von Bibliotheksneubauten [Dannenbauer und Kissling 1994] grundsätzliche Aussagen zu Löschanlagen und Brandmeldetechnik. Darin wird von der Vorgabe ausgegangen, dass ein zuverlässiger Schutz von Bibliotheksbeständen nur durch schnelle Brandbekämpfung erreicht werden kann. Dementsprechend werden in allen Neubauten Brandmelder gefordert, die bereits bei Beginn eines Brandes eine Alarmierung der Feuerwehr gestatten. Bei den gegenwärtigen technischen Möglichkeiten kann eine Fehlalarmierung weitgehend ausgeschlossen werden, wenn der Alarm erst bei Erfassen des Rauchs durch zwei benachbarte Melder ausgelöst wird. Dieser Alarm kann direkt auf die Einsatzzentrale der Feuerwehr geschaltet werden.

Grundsätzlich stehen für die Bekämpfung von Entstehungsbränden Handfeuerlöcher zur Verfügung, die durch Nutzer oder Mitarbeiter der Bibliothek eingesetzt werden.

Als stationäre Löschanlagen werden für Bibliotheksräume entsprechend Bauordnung grundsätzlich Sprinkleranlagen gefordert. Es wird in diesem Zusammenhang der Angst der Bibliothekare vor Wasser in der Bibliothek mit Nachdruck entgegengetreten, weil einerseits Fehlalarmierungen in den letzten Jahren nicht auftraten und andererseits die Wasserabgabe der geöffneten Sprinkler eng begrenzt auf eine Flächen zwischen 9 und 21 m² eingestellt werden kann.

Für Bereiche mit besonders wertvollem Bestand, insbesondere Altbestände wurden bisher Halonlöschanlagen eingesetzt. Für diese Bereiche sollen künftig Kohlendioxid oder Stickstoff in den stationären Löschanlagen Verwendung finden. An anderer Stelle verweisen [Jopp und Kissling 1992] darauf, dass Halonlöschanlagen zwar den Aufenthalt von Personen innerhalb der Räume gestatten, jedoch unklar ist welche und wie viel toxische Produkte beim Löschen aus den Halonen entstehen. Der wichtigste Grund für eine Favorisierung von Kohlendioxid-Löschanlagen ist aber darin zu sehen, dass mit Kohlendioxid bei ausreichender Löschkonzentration auch Glutbrände sicher gelöscht werden können. Diese Löschwirkung von Kohlendioxid auch bei voll entwickelten großen Bränden mit ausgedehnter Glutbildung wird durch [Pleiß und Seliger 2000] experimentell unterstützt.

Das Brandschutzkonzept für den Neubau der Universitätsbibliothek Magdeburg als Auswahlbeispiel entspricht exakt den Empfehlungen des DBI bzw. seit 2002 EDBI⁵. Durch einen Brandschutzgutachter wurde ein Gutachten für den Neubau erstellt [Fa. Hosser 2000]. Die Bibliothek verfügt flächendeckend über eine trockene Sprinkleranlage in Kombination mit einer Brandmelde- sowie einer Rauch- und Wärmeabzugsanlage mit mechanischer Entlüftung. Die Brandmeldung erfolgt erst nachdem zwei benachbarte Brandmelder Alarm gegeben haben. Zu diesem Zeitpunkt löst der Alarm die Flutung der Trockenleitungen der Sprinkleranlage aus, öffnet die normalen Rauchabzugklappen im Dachbereich und löst die mechanische Entlüftung im Obergeschoss aus. Gleichzeitig läuft der Alarm bei der Einsatzzeitstelle der Feuerwehr auf.

Mit dem Konzept können im normalen Betriebsablauf Wasserschäden durch Undichtigkeiten oder direkte Zerstörung der Löschdüsen ausgeschlossen werden.

Die Löschanlage wird die Brandentwicklung auf einen kleinen Brandbereich einschränken und der schnelle Einsatz der Feuerwehr, infolge der direkten Alarmierung, kann den Brand sicher und optimal ohne größere Wasserschäden beherrschen.

Für die Bekämpfung von Entstehungsbränden stehen Handfeuerlöscher und stationäre Schlauchanschlusseinrichtungen vor Ort zur Verfügung.

4.5. Museen

Der Brandschutz in Museen erfordert in mehrfacher Hinsicht die Berücksichtigung der Gegebenheiten am Ort und darf bei optimaler Wirkung möglichst das historische Gesamtbild nicht stören. Es wird verlangt, dass auch im Einsatz der Schaden durch die Wirkungen der Löschmittel an den Kulturgütern und an Gebäuden, die meist unter Denkmalschutz stehen, möglichst gering sind. Die Mehrzahl von Bränden in Museen und denkmalgeschützten Gebäuden resultieren aus technischen Ursachen von elektrischen Anlagen. Es entstehen vorzugsweise Glimmbrände mit starker Rauchgasbildung. Für diese Brände waren Gaslöschanlagen und auch Halonlöschanlagen nur bedingt geeignet, so dass insbesondere Halonlöschanlagen nur in Bereichen elektrischer Schaltschränke und Sicherheitsanlagen oder Spezialgeräten der Museumstechnik (Klimaanlagen und Befeuchtungsanlagen) zum Einsatz kamen [Hilbert 1997].

Für diese speziellen Kleinlöschanlagen konnten leicht alternative Möglichkeiten gefunden werden, die vorzugsweise in den Bereich der Gaslöschanlagen (Kohlendioxid, Inergen und Argon) einzuordnen sind. Zum Teil werden für diesen Anwendungsbereich auch alternative HFKW-Anlagen eingesetzt.

Da die generelle Ausrüstung von Museen und denkmalgeschützten Gebäuden auch früher nicht durch Halonlöschanlagen realisiert wurde, hatte das Halonverbot für diesen Bereich nur mittelbare Bedeutung. Insbesondere durch die weitere Entwicklung der Branderkennung und -meldung sowie durch die Weiterentwicklung von Sprinkler- und Wassersprühanlagen konnten in diesen Bereichen neue Konzepte entwickelt werden. Effiziente Wasserlöschanlagen wie z.B. Hochdrucknebelanlagen können aufgrund geringer Leitungsquerschnitte und kleiner Löschdüsen auch bei geschützten Bauten nachgerüstet werden. Sie können bei frühzeitiger Auslösung auch Glimmbrände beherrschen und verringern die Sekundärschäden erheblich. Geringe Wasserschäden und eng begrenzte Wirkungsbereiche ermöglichen es auch Kulturgüter und unter Denkmalschutz stehende Gebäude mit Sprinklertechnik zu schützen.

Nach [Fischer 2002] werden die möglichen Löschverfahren für den Schutz von Kulturgütern in Museen, Archiven und Magazinen bewertet. Zwar wird davon ausgegangen, dass nahezu alle Löschmittel sich in irgendeiner Weise nachteilig auf die Erhaltung der Kulturgüter aus-

⁵ EDBI Ehemaliges Deutsches Bibliotheksinstitut

wirken, es wird aber auch eingeräumt, dass Löschmittel notwendig sind und diese helfen Kulturgüter zu erhalten. Der Vorzug wird dem Wasser als Löschmittel gegeben, weil dieses Löschmittel auch bei glutbildenden Stoffen eine nachgewiesene hohe Löschwirkung besitzt. Glutbrände sind in diesen Einrichtungen in der Anfangsphase von Bränden mit technischen Brandentstehungsursachen am wahrscheinlichsten. Schwerpunkt für den Einsatz von Wasser in stationären Löschanlagen bilden die Sprinkleranlagen, die einerseits durch die Bauordnungen gefordert werden und andererseits als einziges effizientes Verfahren zum Schutz der Einrichtungen gesehen werden. Als besonders schonend werden Sprinkleranlagen mit trockenem Leitungssystem angesehen, die erst nach Auslösen von Brandmeldern geflutet werden. Damit ist auch hier der Schwerpunkt in der Branderkennung, möglichst zu einem sehr frühen Zeitpunkt gelegt.

Als weitere Möglichkeit wird der Einsatz von Wassernebellöschanlagen gesehen, die durch ihr Minimum an Löschwasser den Schutz von Kulturgütern noch verbessern können. Bei Kohlendioxid besteht das technische Problem der geschlossenen Räume, die in bestehenden Bauwerken nicht realisiert werden können. Gleichzeitig wird auf den hohen Personenstrom verwiesen, wobei die Toxizität des Kohlendioxides bei Konzentrationen > 8 Vol.-% als problematisch betrachtet wird.

Andere Volumenlöschmittel, wie Stickstoff, Argon und chemische Löschmittel (FM – 200) werden aufgrund der geringen Wirkung bei tiefsitzenden Glutbränden nicht empfohlen.

4.6. IT – Anlagen , Schaltschränke, elektrische Betriebsräume

Der Bereich kleiner, aber mit modernster Hardware ausgestatteter Räume, wie Serverräume, elektrische Schalträume, Kommunikationsknoten, automatische Steuerungssysteme, Datensicherungssysteme u.a. sind die eigentliche Domäne für den Einsatz der Löschgase Stickstoff und Argon, sowie für die chemischen Löschmittel aus der Gruppe der HFKW. Aufgrund der komplexen Gestaltung der Räume und ihrer notwendigen Abschottung von den übrigen Arbeitsräumen bieten sich diese regelrecht an, mit kompakten automatischen Löschanlagen ausgerüstet zu werden, deren Löschmittel nach dem Einsatz möglichst vollständig entfernt werden kann und praktisch keine sekundären Schäden zu erwarten sind. Zentraler Punkt dieser Anlagen ist grundsätzlich die Branderkennung zu einem möglichst frühen Zeitpunkt, an dem sich noch keine offene Flamme ausgebildet hat. Zu diesem Zeitpunkt werden auch die chemischen Löschmittel nur örtlich zersetzt und es entstehen Zersetzungsprodukte in solch geringer Konzentration, dass diese keinen Einfluss auf die zu schützende Technik hat.

Die Kombination von Brandfrüherkennung und stationäre Löschanlage mit chemischen Löschmitteln erfüllt somit aufgrund der Bekämpfung des Brandes in der Entstehungsphase die Bedingungen für ein sauberes Lösungsverfahren. Da in der Mehrzahl aller Anwendungen die Anzahl an Personen, die im Raum während der Flutung beschäftigt sein müssen, gering ist, dürften auch die akut toxischen Wirkungen keine Rolle spielen. Die Mehrzahl der Vertreiber von chemischen Löschanlagen für diesen Bereich sieht bei Auslösen der Anlage sowohl optische als auch akustische Signale vor, die das gefahrlose Verlassen der Räume gestattet.

Praktisch werden die Löschanlagen mit chemischen Löschmitteln nach den gleichen Sicherungsvorgaben installiert, wie für vergleichbare Löschanlagen mit inerten Löschgasen.

Es soll aber an dieser Stelle darauf hingewiesen sein, dass ausschließlich die Kombination von Branderkennung, der typischen Brandentwicklung in diesen Räumen über örtliche Erwärmungen mit Pyrolysegasen, der frühzeitigen Auslösung der Löschanlage mit chemischen Löschmitteln und der schnellen Beflutung der Räume zu Löschergebnissen führt, bei denen die Zersetzungsprodukte der chemischen Löschmittel keine Rolle spielen. Dies würde sich sofort ändern, wenn zum Zeitpunkt der Auslösung der Anlage bereits ausgedehnte Flam-

menbrände (z.B. einer brennbaren leichtsiedenden Flüssigkeit) oder ausgedehnte heiße Flächen mit Zersetzungspotenzial für die chemischen Löschmittel vorhanden wären.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass sowohl inerte Löschgase als auch die chemischen Löschmittel für diesen Anwendungsbereich aufgrund der komplex abgestimmten Lösungsverfahren als sogenannte saubere Löschmittel (clean Agent) wirken. Unterschiede in der Löschwirkung bestehen nicht. Lediglich der Platzbedarf für das gelagerte Löschmittel ist für die chemischen Löschmittel geringer.

Die Löschanlage im Bereich des Technischen Polizeiamtes Magdeburg wurde mit einer FM-200 Löschanlage ausgerüstet. Infolge der geringen Beflutungszeit von <10 s erfolgt eine großflächige Druckentlastung ins Freie. Da es sich hier um eine Anlage handelt, die den Schutz von etwa 1000 m³ umbautem Raum mit Serverschränken und gestelztem Fußboden gewährleisten muss, wurde auf die Branderkennung besonderer Wert gelegt und im Bereich des doppelten Fußbodens entsprechende Melder eingebracht. Aufgrund der Größe des Raumes ist in diesem Fall bereits ein Beispiel geschaffen, das deutlich über die bisher üblichen Anlagen hinausgeht. Die Empfehlungen des zuständigen Ingenieurbüros stellen bei der Bewertung der Löschmittel nur eine rückstandsfreie Löschung, geringen Platzbedarf für die Flaschenbatterie, die schnelle Löschmittelfreisetzung und die unmittelbar in der Nähe des Flutungsbereiches mögliche Löschmittelbevorratung in den Mittelpunkt. Hinweise zum verwendeten Löschmittel oder Sicherheitsdatenblätter waren zunächst nicht Bestandteil der Entscheidungsunterlagen. Sie werden aber vom Errichter der Anlage nachträglich nach Erstellung der Anlage geliefert.

Für die FM-200 Löschanlage der Salutas GmbH Barleben wurden auch die Sicherheitsdatenblätter für das Löschmittel bereits in der Planungsphase bewertet und schließlich aufgrund räumlicher Verhältnisse die Entscheidung für diese Anlage getroffen.

5. Schlussfolgerungen

Die Ablösung der umweltschädigenden Halonlöschmittel kann in Deutschland im Wesentlichen als abgeschlossen angesehen werden. Auch in den Bereichen, die eine Verlängerung der Nutzungsgenehmigung beantragt haben, wird die Verwendung alternativer Löschmittel vorbereitet.

Neue Löschmittel bzw. Löschmittel mit neuen oder weiter entwickelten Löscheigenschaften sowie auch Löschtechnik werden zu Zeitpunkten auf dem Markt angeboten, zu denen weder ein nationaler Standard verfügbar ist noch internationale Abstimmungen erfolgt sind. Diese Produkte bedürfen der Prüfung ihrer Effizienz bereits zum Zeitpunkt ihrer Markteinführung. Es ist deshalb notwendig, dass für neu entwickelte Löschmittel und Technik kurzfristig vorläufige Prüfmethode geschaffen werden, die den Prüfstellen die Möglichkeiten geben nach objektiven Verfahren zu prüfen und die garantieren, dass unterschiedliche Auflagen und Festlegungen zum gleichen Produkt auszuschließen sind.

Der Kampf um erreichbare Marktanteile beeinflusst die optimale Anwendung alternativer Löschmittel gegenwärtig in hohem Maß. Bei diesen Auseinandersetzungen werden häufig Vorteile hervorgehoben und Nachteile bleiben unbenannt. Insbesondere wird um Marktanteile für das Löschmittel gerungen und dabei tritt die Gesamtheit des Lösungsverfahrens in seiner technischen Ausführung in den Hintergrund. Für den Anwender ist es kaum möglich, aus den vorhandenen Informationen objektive Entscheidungen zu treffen. Um dies zu ändern, sollte für die chemischen Löschmittel, die im Löschprozess schädigende oder toxische Verbindungen bilden können, sowie für Löschmittel mit toxischen Eigenschaften das Sicherheitsdatenblatt des Löschmittelherstellers nach TRGS 220 Bestandteil der Angebotsunterlagen sein.

Die übrigen alternativen Löschmittel sollten durch entsprechende standardisierte Prüfmetho- den bewertet werden, deren grundsätzliche Aussagen sich dann auf den Schutz des konkre- ten Objektes mit entsprechenden Anpassungen übertragen lässt. Anlagenteile und Teilsys- teme sollten grundsätzlich geprüft und zugelassen sein.

Die gegenwärtig verfügbaren Löschmittel gestatten es, alle Anwendungen, die bisher dem Halonlöschmittel vorzugsweise zugeordnet wurden, alternativ zu ersetzen. Ausnahmen bil- den die Bereiche Schifffahrt und die zivile sowie militärische Luftfahrt, obwohl aus den Veröf- fentlichungen hervorgeht, dass Alternativen verfügbar sind, diese jedoch aus Kostengründen nicht realisiert werden.

Da jedes Schutzziel durch unterschiedliche Parameter des Objektes, der Brandstoffe, An- ordnung, Lüftungsbedingungen usw. gekennzeichnet sind, kann ein Ranking der verfügbaren alternativen Löschmittel nicht vorgenommen werden. Die Effizienz eines bestimmten Lösch- mittels erweist sich erst bei optimaler Gestaltung des jeweiligen Löschverfahrens und der auf die örtlichen Verhältnisse abgestimmten Löschtechnik, die nicht mehr ohne die entsprechend zugehörige Branderkennungstechnik zu sehen ist.

Die Auswahl der alternativen Löschmittel sollte auf das jeweilige Schutzziel abgestimmt für ein Objekt erfolgen. Neben den löschtechnischen Parametern sollten auch Umweltschutz, Toxizität, Wirkungen auf die Anlagen, die Ausführung der Anlagen selbst, Nachsorgemaß- nahmen, Wartung und Pflege usw. berücksichtigt werden.

6. Literatur

[1999/296/EG] BERICHT DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DEN RAT gemäß der Entscheidung Nr. 93/389/EWG des Rates über ein System zur Beobachtung der Emissionen von CO₂ und anderen Treibhausgasen in der Gemeinschaft, geändert durch die Entscheidung Nr. 1999/296/EG

[AFEAS 2000] Anonym: AFEAS Contribution of Greenhouse gases to climate Forcing, Relative to CO₂, AFEAS, all rights reserved. Available in alternative media upon request. AFEAS Program Office / RAND ES&PC / 1200 South Hayes Street / Arlington, VA 22202-5050 USA, 2000, http://www.afeas.org/greenhouse_gases.html

[Babushok et al. 1996] Babushok, V.; Noto, T.; Burgess, D.; Tsang, W.: Influence of CF₃I, CF₃Br, CF₃H on High-Temperature Combustion of Methan, NIST Gaithersburg, ML 1996

[Bennett et al. 1994] Bennett, J. M.; Caggianelli, G. M.; Kolleck, M. L.; Wheeler, J. A.: Halon Replacement Program for Aviation Dry Bay Application. Phase 2. Operational Comparison of Selected Extinguishants. Final Report. October 1993 – September 1994. Air Force Research Laboratory, Wright Patterson AFB, OH Booz, Allen and Hamilton, Inc., Dayton, OH Air Force Material Command, Wright Patterson AFB, OH Federal Aviation Administration Technical Center, Atlantic City, NJ

[BMFU 2002] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Fazit zum Eckpunktepapier Umsetzung des nationalen Klimaschutzprogramms im Bereich der fluorierten Treibhausgase http://www.bmu.de/download/dateien/eckpunktepapier_f_gase.pdf

[Conrads 1998] Conrads, R.: Falschalarme- Lösungsansätze für ein drängendes Problem, S+S-report (1998)5 S. 38-41, VdS Köln

[Dannenbauer und Kissling 1994] Dannenbauer, I.; Kissling, U.: Bibliotheksneubau: Kompendium zum Planungs- und Bauprozess, Abschnitt VII 2.2 Jopp, K.: Technische Gebäudeausrüstung, S. 187 – 220, dbi-materialien; 131, Dt. Bibliotheksinstitut, Berlin 1994

[Dodd et al. 1997] Dodd, D. E.; Ledbetter, A. D.; Mitchell, A. D.; Genotoxicity testing of the Halon replacement candidates Trifluoriodomethane (CF₃I) and 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane (HFC-227ea) using the Salmonella Typhimurium and L5178Y Mouse Lymphoma Mutation Assays and the Mouse Micronucleus Test, Inhalation Toxicology, 9, 111-131, 1997

[Dodd et al. 1997] Dodd, D. E.; Ledbetter, A. D.; Mitchell, A. D.; Genotoxicity testing of the Halon replacement candidates Trifluoriodomethane (CF₃I) and 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane (HFC-227ea) using the Salmonella Typhimurium and L5178Y Mouse Lymphoma Mutation Assays and the Mouse Micronucleus Test, Inhalation Toxicology, 9, 111-131, 1997

[DuPont 2002] Du Pont Material Safety Data Sheet "FREON" 23 2025FR Revised 4-NOV-2002, Du Pont Fluoroproducts 1007 Market Street Wilmington, DE 19898, USA, [PEN_09004a2f8000630b.pdf](http://www.dupont.com/PEN_09004a2f8000630b.pdf)

[DuPont 2001] DuPont FE-227, Fire extinguishing agent, Properties, Uses, Storage, and Handling, DuPont Fluoroproducts, Chestnut Run Plaza 702-1274E, www.dupont.com/fire, (7/01) RWJ84 Printed in U.S.A. [fe_227.pdf](http://www.dupont.com/fe_227.pdf)

[Emmen et al. 2000] Emmen, H. H.; Hoogendijk, E. M.; Klopping-Ketelaars, W. A.; Muijser, H.; Duistermaat, E.; Ravensberg, J. C.; Alexander, D. J.; Borkhataria, D.; Rusch, G. M.; Schmit B.: Human Safety and Pharmacokinetics of the CFC Alternative Propellants HFC

134a (1,1,1,2-Tetrafluoroethane) and HFC 227 (1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane) Following Whole-Body Exposure, Regulatory Toxicology and Pharmacology 32, 22–35 (2000)

[EU Bericht 2001] BERICHT DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DEN RAT gemäß der Entscheidung Nr. 93/389/EWG des Rates über ein System zur Beobachtung der Emissionen von CO₂ und anderen Treibhausgasen in der Gemeinschaft, geändert durch die Entscheidung Nr. 1999/296/EG, Brüssel, den 30.11.2001

[EU 2003] Entscheidung der Kommission vom 07.03.2003 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr.2037/2000 des europäischen Parlaments und des Rates im Zusammenhang mit Halon 1301 und Halon 1211, K (2003) 691)

[EPA 2000] EPA: United States Environmental Protection Agency, Air and Radiation, Stratospheric Protection Division 6205J Halon Substitutes Under SNAP as of April 26, 2000

[Fa. Hosser 2000] Firma Hosser, Haß und Partner: Brandschutzgutachten und Konzept zum Bibliotheksneubau Universität Magdeburg, Braunschweig, 2000

[FCKW-VerbVo 1991] Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung) Vom 6. Mai 1991, BGBl. I S. 1090, zuletzt geändert am 29. Oktober 2001, BGBl. I S. 2785

[Fischer 2002] Fischer, B.:in Hilbert: Sammlungsgut in Sicherheit; Band 1 Mann-Verlag Berlin, 2002

[Frank-Kamenetzky 1959] Frank-Kamenetzky, D.A.: Stoff- und Wärmeübertragung in der chemischen Kinetik, Springer Verlag 1959

[Great Lakes 2001] Anonym: FM-200 Der Umweltfreundliche Brandschutz dem die ganze Welt vertraut, Great Lakes Fluorine Chemicals, On Great Lakes Blvd., West Lafayette, IN 47906, USA 2001

[Great Lakes2001/1] Material Safety Data Sheet (MSDS) Refrigerant GLC-23;Trifluoromethane R23 Great Lakes Chemical Corporation, P.O.Box 2200, West Lafayette, Indiana, Telephone (317)497-6100, Information:1-765-497-6100 [refGL23.pdf](#)

[Great Lakes 1998] Material Safety Data Sheet (MSDS) Number: 00057 Product Name: FM-200 Effective Date: 4/7/98 Great Lakes Chemical Corporation [174.pdf](#)

[Great Lakes UK 2001] Fiche de Donnees de Securite, Nom du Produit: FM-200*, Great Lakes (UK) Limited, 14/09/01, [ec_sds_fm200_fre.pdf](#)

[Heymann 2002] Heymann, G.: Reduktion von Alkylhalogeniden, <http://chemie.aboutblank.net/wissen/reduktion.php>

[HIL UK 2000] Safety Data Sheet, HARP 23, Harp International Limited, Gellihirion Industrial Estate Pontypridd Rhondda Cynon Taff CF37 5SX, United Kingdom, 31/08/00, [908023_1.pdf](#)

[Hilbert 1997] Hilbert, S.: ICMS - Museum Security , <http://www.icom-deutschland.de/mitteilungen/icomd962.htm#4> ICOM-Deutschland Mitteilungen 1996 / 2

[INEOS 2002] Safety Data Sheet, 'ZEPHEX' 227ea, INEOS Fluor Limited, PO Box 13, The Heath Runcorn Cheshire, (Date: 07/2002), [zeph227eauk.pdf](#)

[Jopp und Kissling 1992] Jopp, K.; Kissling, U.: Sicherheit in Bibliotheken, Raumsicherung, Buchsicherung, Arbeitsplatz, Brandschutz, dbi-materialien; 63,

Dt. Bibliotheksinstitut, Berlin 1991

[Klimabericht 2002] Dritter Nationaler Klimabericht der Bundesrepublik Deutschland, BMU Berlin 2002

[Köster et al. 1996] Köster, U.; Mayer, D.; Deger, H. M.; DeKant, W.: Biotransformation of the aerosol propellant 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane (HFC-227): lack of protein binding of the metabolite hexafluoroacetone, Drug Metabolism and Disposition: the Biological Fate of Chemicals, Vol. 24, Issue 8, August 1996, Pages 906-910

[Kohlmann 1993] Kohlmann J. P.: Untersuchungen zum Abbau von FCKW-Ersatzstoffen mittels FTIR- Spektroskopie, Dissertation Universität Göttingen 1993

[Linteris und Gmurczyk 1995] Linteris, G. T.: Prediction of HF Formation during Suppression, in Gann, R.G., Fire Suppression System Performance of Alternative Agents in Aircraft Engine and Dry Bay Laboratory Simulations, Vol. 2, Section 10, NIST SP 890 201-318 pp, 1995

[McCulloch 1999] Mc Culloch, A.: CFC and Halon replacements in the Environment, Journal of Fluorine Chemistry 100 (1999) 163-173

[Michelis und Fromme 1985] Michelis, J.; Fromme, K.: Explosions- und löschtechnische Untersuchungen an Wassertrögen und Wassersperren in verschiedenen Streckenquerschnitten über und unter Tage zur Verbesserung der Bauartbeschreibung von Wassertrogsperrern, Versuchsgrubengesellschaft mbH (VG), Dortmund Sept. 1985

[Mitchell 1995] Mitchell, A. D.: Genetic Toxicity Evaluation of 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane. Volume 1. Results of Salmonella Typhimurium Histidine Reversion Assay (Ames assay); Toxic Haz. Res. Unit, Mantech Environ. Technol., Inc. Report, 1995

[MPA 1998] Sächsisches Staatsministerium des Innern: Zulassung Feuerlöschmittel FM-200, Schreiben vom 19.10.1998, Dresden 1998

[Modiano et al. 1996] Modiano, S.H.; McNesby, K. L.; Marsh; P. E.; Bolt, W.: Quantitative measurements by Fourier- transform infrared spectroscopy of toxic gas production of JP-8 fires by CF₃Br and C₃F₇H, Applied Optics, 35(21)1996

[Müller 2001] Müller M.: Modern extinguishing techniques with FM200, Published in VdS S+S Report No. 1, Feb. 2001 VdS Schadenverhütung, 50735 Köln

Cerberus® FM200, Dry extinguishing system, Product description, Siemens Building Technologies, Cerberus Division, 2001

[NFPA 2000] NFPA 2001: Standard on clean agent fire extinguishing systems Edition, 2000

[NICNAS 1999] National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, Full Public Report, Heptafluoropropane (HFC-227ea), (NICNAS), Sydney 2001, AUSTRALIA, File No: EX/5, (NA/164), July 1999, [EX5FR.pdf](#)

[NICNAS 2002] National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, Full Public Report, 3M™ Novec™ 1230 Fire Protection Fluid, File No: STD/1019, Chemicals Notification and Assessment, GPO Box 58, Sydney 2001, Australia August 2002

[NJ Dep. Health 1996] New Jersey Department of Health and Senior Services, HAZARDOUS Substance Fact Sheet Trifluoromethane, August 1988, [TFMSheetDepNJ.pdf](#)

[OSHA 1996] Anonym: Construction Safety and Health Outreach Program U.S. Department of Labor OSHA Office of Training and Education May 1996

[Owens 1999] Owens, J. G.: Low GWP Alternatives to HFCs and PFCs, 3M Speciality Materials, St. Paul, MN USA

[Pleiß und Kohl 1985] Pleiß, G.; Kohl, K. J.: Löschen mit Wasser, IdF-Bericht Nr. 139, Institut der Feuerwehr, Heyrothsberge 1985

[Pleiß und Seliger 2000] Pleiß, G.; Seliger, U.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Optimierung von Nachweismethoden und Schutzkonzepte für Störfälle in Chemikalienlagern (IV), 01 RG 9510 / 4, Institut der Feuerwehr, Bericht Nr. 386, Heyrothsberge, 2000

[Protonique Limited 2000] Protonique SA PO Box 78 CH-1032 Romanel-sur-Lausanne, Switzerland Voice +41 21-648 23 34 Fax +41 21-648 2411

[Pyrogen Ltd 2002] A Revolution in Fire Suppression Technology, Pyrogen Ltd, Bolton UK, 2002

[Rahill et al. 1998] Rahill, A. A.; Brown, G. G.; Fagan, S. C.; Ewing, J. R.; Branch, C. A.; Balakrishnan, G.: Neuropsychological Dose Effects of a Freon, Trifluoromethane (FC-23), Compared to N₂O, Neurotoxicology and Teratology, Vol. 20, No. 6, pp. 617-626, 1998

[Ravishankara et al 1994/2] Ravishankara, A. R.; Turnipseed, A. A.; Jensen, N. R.; Howard, J.; Barone, S.; Mills, M.; Solomon, S.: Do Hydrofluorocarbons Destroy Stratospheric Ozone?, National Oceanic and Atmospheric Administration, Aeronomy Laboratory, 325 Broadway, Boulder, CO 80303.

[Schlosser 2002] Schlosser, I.: Anforderungen an die Raumumfassungen bei Gaslöschanlagen S+S-Report (2002)4, S.20-23, VdS Köln

[Skaggs et al. 1995] Skaggs, S. R.; Morre, T. A.; Tapscott, R. E.: Toxicological Properties of Halon Substitutes, in: Mizioloek, A. W.; Tsang, W.: Halon Replacements – Technology and Science, ACS Symposium Series 611, American Chemical Society, Washington, DC 1995

[TRGS 220] TRGS 220 : Technische Regeln für Gefahrstoffe, Sicherheitsdatenblatt, Ausgabe April 2002, trgs220.pdf

[TRGS 555] Technische Regeln für Gefahrstoffe Nr. 555, Ausgabe 12/1997, trgs555.pdf

[UNEP 1998] United Nations Environment Programme, Environmental effects of ozone depletion 1998 Assessment November 1998 <http://www.gcric.org/UNEP1998/UNEP98.html>

[UNEP 2002] UNEP 2002 Report of the Halons Technical Options Committee, 2002 Assessment, UNEP Nairobi, Ozone Secretariat, March 2003, ISBN 92-807-2286-7

[VdS 2002] VdS-Richtlinien für Feuerlöschanlagen, Feuerlöschanlagen mit halogenierten Kohlenwasserstoffen, Planung und Einbau, VdS 2381:2000-06(02), Köln 2002

[Vereinbarung 2000] Selbstverpflichtungserklärung der Deutschen Wirtschaft <http://www.bmu.de/fset800.php> Stand 10. November 2000

[Wagner 1999] Wagner Alarm- und Sicherungssysteme GmbH: Oxyreduct – Brandvermeidung durch Reduzierung der Sauerstoffkonzentration, Techn. Infoblatt, 07/99, Hannover

[Walter 2002] Walter, K.: Gespräch zu den auf den Flughäfen Berlins verfolgten Brandschutz- und Löschkonzepten, Berlin, Dezember 2002

Verzeichnis der Gespräche:

[Carl 2003] Carl: Gespräch zu den auf dem Flughafen Paderborn – Lippstadt verfolgten Löschkonzepten, Paderborn, März 2003

[Hahn 2003] Hahn, K.C.: Gespräch zu den auf den Flughafen Frankfurt/Main verfolgten Brandschutz- und Löschkonzepten, Frankfurt/Main, März 2003

[Hanf 2003] Hanf, T.: Gespräch zu dem bei BRR Deutschland, Standort Dahlewitz verfolgten Brandschutz- und Löschkonzepten, Dahlewitz, Februar 2003

[Quella et al. 2003] Quella, F.; Müller, M.; Ebeling, G.: Fachgespräche zum Einsatz von alternativen Löschmitteln als Halonersatz, Siemens AG München 2003

[Remy 2003] Remy: Fachgespräch zu Gaslöschanlagen, Einsatzhäufigkeit in unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen, Fehlauflösungen und Entwicklung der Branderkennung, Colonia Versicherung Köln, März 2003

[Motz 2002] Motz, R.: Fachgespräche zum Einsatz von alternativen Löschmitteln als Halonersatz, Allianz Versicherung, AG, Büro Hermsdorf, 2002

[Walter 2002] Walter, K.: Gespräch zu den auf den Flughäfen Berlins verfolgten Brandschutz- und Löschkonzepten, Berlin, Dezember 2002

[Vierheilig 2003] Vierheilig: Gespräch zu dem auf dem Franz Josef Strauß Flughafen München verfolgten Löschkonzepten, München, Februar 2003

Anlage 1 Militrische Anwendungen von Halonen und alternative Löschmittel

Tabelle 1: Militrische Anwendung von Halon

Current Status of Selected Uses of Halons		Halon Type	Alternative Availability for Existing Use	Impediments to Retrofit of Existing	Alternatives Available for Next Generation	Impediments to Next Generation
Military Uses						
Facilities	Command Centre	1301	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None
	Research Facility	1301	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None
	Computer Centre	1301	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None
	Electrical Compartment	1301	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
Airfield	Crash Rescue Vehicle	1211	Potential Alternatives	Technical	Potential Alternatives	Technical
	Flight Line Portables	1211	Potential Alternatives	Technical	Potential Alternatives	Technical
Aircraft	Engine Nacelle	1301, 1211 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Auxiliary Power Unit	1301, 1211 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Dry Bay	1301, 1211 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Cargo Bay	1301	Potential alternatives	Technical	Potential alternatives	Technical
	Fuel Tank Inerting	1301	Potential alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Lavatory Waste Receptacle	1301	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
	Portable Extinguisher	1301 or 1211	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
Combat Vehicle	Engine Compartment	1301, 1211 or 2402	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None
	Crew Compartment	1301 or 2402	Potential alternatives	Technical	Potential Alternatives Available	Technical
	Portable Extinguisher	1211 or 1301	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
Surface Vessel	Machinery Space	1301, 1211 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Flammable Storage	1301 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Electrical Compartment	1301 or 2402	Alternatives Available	Cost \$\$\$	Alternatives Available	None
	Command Centre	1301 or 2402	Alternatives Available	Cost \$\$\$	Alternatives Available	None
	Flight Line/Hangar Portable	1211	Potential alternatives	Technical	Potential Alternative	Technical
Submarine	Machinery Space	1301 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives available	None
	Diesel Generator Space	1301 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives available	None
	Electrical Compartment	1301 or 2402	Potential alternatives	Technical	Alternatives available	None
Merchant Shipping						
Vessels	Machinery Space	1301, 1211 or 2402	Alternatives Available	Cost \$\$\$	Alternatives available	None
Ground Transportation						
Railway	Locomotive Engine Compartment	1301	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None
	Wagons with Occupied Vehicles	1301	Potential alternatives	Technical	Potential Alternatives	Technical
Commercial Aviation						
Aircraft	Engine Nacelle	1301 or 2402	Potential Alternatives	Technical	Alternatives Available	Regulatory Barrier
	Auxiliary Power Unit	1301 or 2402	Potential Alternatives	Technical	Alternatives Available	Regulatory Barrier
	Cargo Bay	1301 or 2402	Potential Alternatives	Technical	Potential alternatives	Technical
	Lavatory Waste Receptacle	1301	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
	Portable Extinguisher	1211	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
Airfield	Crash Rescue Vehicles	1211 or 2402	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None
	Flightline portable	1211	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
Industrial Uses						
Explosion Prevention	Oil and Gas Pipeline Pumping Stations	1301 or 2402	Potential Alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Enclosed Oil and Gas Production Modules	1301 or 2402	Potential Alternatives	Technical	Alternatives Available	None
	Aerial Fill Rooms	1301	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None
	General Explosion Suppression	1011 or 2402	Alternatives Available	Cost \$	Alternatives Available	None
General Fire Protection	Computer Room	1301	Alternatives Available	Cost \$\$	Alternatives Available	None

Tabelle 2: Alternative Löschmittel bei spezifischen Anwendungen

Application	Protected Space	Protected Risk	Halon	Implemented Alternatives	
				Existing Equipment	New Designs of Equipment
Military (Armoured Fighting) Vehicle	Engine Compartment	Class B	1301 1211 2402	HFC-227ea Dry Powder Inert gas	HFC-227ea Dry Powder
	Crew Compartment	Class B Explosion	1301 2402	None	Water mist, HFC-236fa HFC-227ea/dry powder (hybrid system)
	Portable Extinguisher	Class A, B, Electrical	1211	CO2 Dry powder (external)	CO2 Dry powder (external)
Military Aircraft	Engine nacelle	Class B	1301 1211 2402	None	HFC 125 IGG
	APU	Class B	1301 1211 2402	None	HFC 125 IGG
	Dry Bay	Class B (Explosion)	1301 2402	None	IGG
	Cargo Bay	Class A (Deep seated)	1301	None	None
	Fuel Tank Inerting	Class B (Explosion)	1301	None	OBIGGS
	Portable Extinguisher	Class A, B Electrical	1211 1301	None	CO2 HFC
	Lavatory	Class A	1301	None	None
Naval vessel (Surface Ship)	Main Machinery Space (normally occupied)	Class B	1301 2402	HFC227ea CO2	HFC-227ea CO2 Water mist
	Engine Space/Module (normally unoccupied)	Class B	1301 1211	HFC-227ea Dry Powder, CO2 HFC-227ea/water spray (hybrid system)	HFC-227ea Dry Powder CO2
	Flammable Liquid Storeroom	Class B	1301 2402	None	HFC-227ea/water spray (hybrid system)
	Electrical Compartment	Class A Electrical	1301 2402	None	HFC-227ea
	Fuel Pump Room	Class B	1301	None	HFC-227ea Foam
	Command Centre	Class A Electrical	1301 2402	None	None
	Flight Line/Hangar	Class B	1211 2402	Foam Dry Powder	None
Naval vessel (Submarine)	Machinery Space	Class B	1301 2402	None	None
	Diesel Generator Space	Class B	1301 2402	None	None
	Electrical Compartment	Class A Electrical	1301 2402	None	None
Military Facilities (Buildings)	Command Centre	Class A	1301	CO2, HFC-227ea Inert gas	Sprinkler CO2, Inert gas
	Research Facility	Class A, B	1301	CO2, HFC-227ea Inert gas	Sprinkler CO2, Inert gas
	Computer Centres Electrical Compartments	Class A Electrical	1301	CO2, HFC-227ea Inert gas	Sprinkler CO2, Inert gas
Military Airfield	Hardened Aircraft Shelter	Class B	1301 1211	Foam	Foam
	Crash Rescue Vehicles	Class B	1211	Dry Powder Foam	Dry Powder Foam
	Flight Line Portables	Class B	1211	Dry Powder, Foam CO2	Dry Powder, Foam CO2

Anlage 2 Zersetzung von HFKW

1. Reaktionen in der Atmosphäre (Photolyse, Hydrolyse)

Fluorierte Kohlenwasserstoffe sind äußerst stabile Verbindungen. Die nachfolgende Tabelle gibt die gemessenen Dissoziationsenergien der einfachsten Methylhalogenverbindungen wieder.

Tabelle 1: Dissoziationsenergien von Halogenbindungen [Heymann 2002]

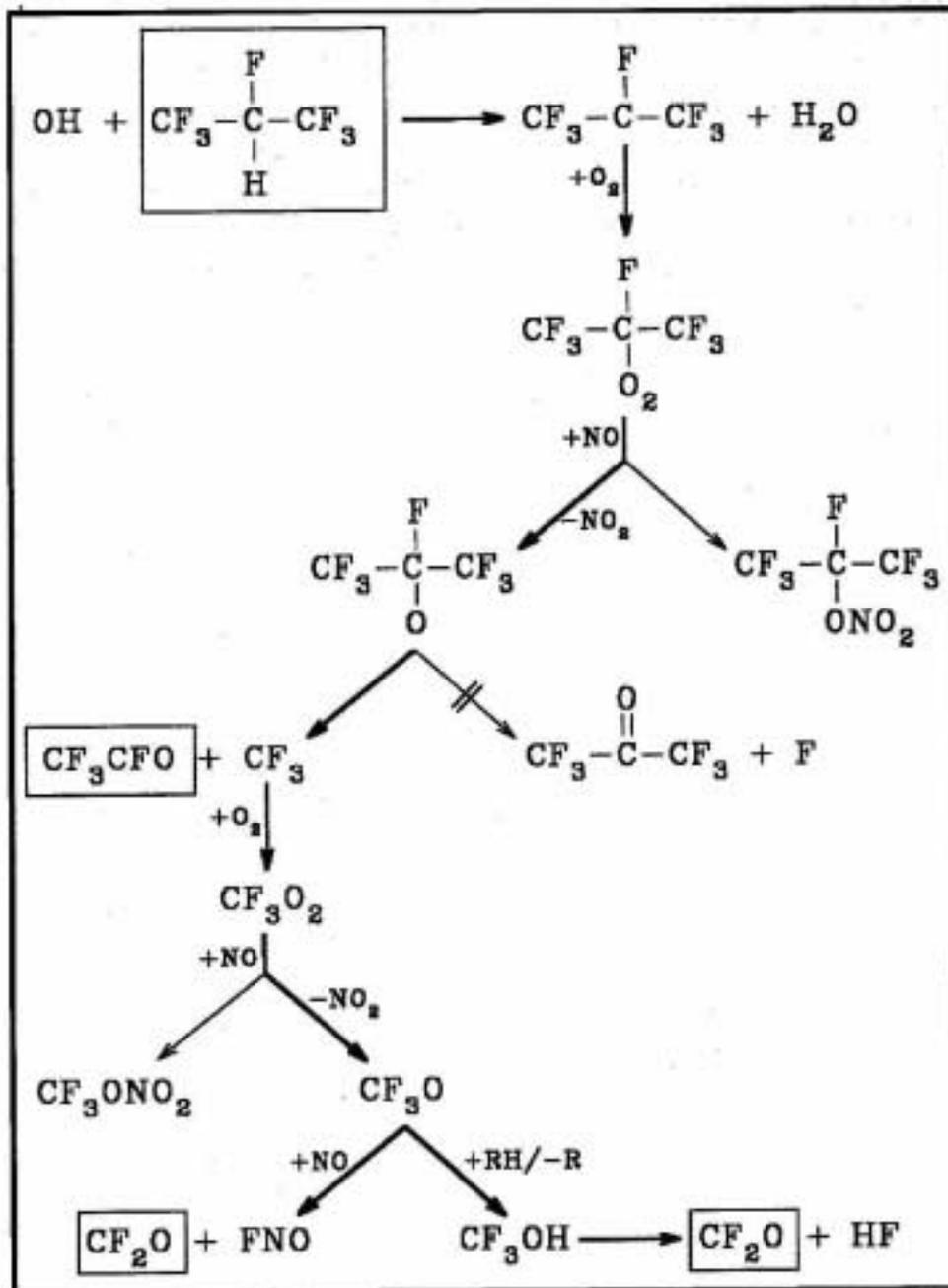
Verbindung	Dissoziationsenergie (kJ/mol)
CH ₃ – I	234
CH ₃ – Br	293
CH ₃ – Cl	351
CH ₃ – F	452

Die hohen Dissoziationsenergien erklären das geringe Reaktionsvermögen fluorierter Alkane und die hohe Beständigkeit dieser Verbindungen. Daraus resultieren auch die hohen atmosphärischen Lebensdauern der Verbindungen (Anlage 1).

Die Lebensdauern der Verbindungen in der Atmosphäre führen zu einer Akkumulation und damit dem Ansteigen von organischen Fluorverbindungen in der Atmosphäre. Da die Verbindungen sehr stark hydrophob sind, werden sie in Wasser kaum gelöst und damit durch den Regen kaum ausgewaschen. Organische Fluorverbindungen sind aber außerordentlich leicht fettlöslich, was wiederum innerhalb der Fauna und Flora zu Akkumulationen führen kann. Da aber der Dampfdruck der als Löschmittel gebrauchten HFKW sehr hoch ist, kann eine Akkumulation dieser Verbindungen in lebenden Organismen nahezu ausgeschlossen werden.

Die Zersetzung der Fluorverbindungen erfolgt durch die photolytische Reaktion mit OH – Radikalen in der Atmosphäre. Sie ist aber mit der Zersetzung nicht abgeschlossen, obwohl die untersuchte Verbindung verschwindet. Nach der Primärzersetzung führen eine Reihe von Abbaureaktionen zu neuen Verbindungen mit ähnlichen Eigenschaften. Innerhalb der Abbaukette treten relativ stabile Zwischenprodukte auf, die zu Akkumulationen und anderen Wirkungen führen können.

Für das Beispiel des in Deutschland zugelassenen HFKW Heptafluorpropan (HFC – 227ea) konnte die photolytische Zersetzungskette aufgrund von Untersuchungen durch [Kohlmann 1993] aufgeklärt werden. Es wurden die nachfolgende Reaktion der photolytischen Zersetzung zusammengestellt:



Schematische Darstellung des Abbaus von 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluorpropan ($\text{CF}_3\text{CFHCF}_3$, H-FKW 227) in der Atmosphäre

Abbildung 1: Abbau von Heptafluorpropan

Als relativ stabile Verbindungen der Photolyse traten Hexafluoraceton, Carbonylfluorid, Trifluoracetylfluorid und Fluorwasserstoff auf. Alle diese Verbindungen sind in hohem Maße toxisch und können z. B. durch Hydrolyse weiter reagieren. Das wesentliche Reaktionsprodukt der Hydrolyse von Trifluoracetylfluorid stellt die Trifluoressigsäure (TFA) dar, während aus Carbonylfluorid vorzugsweise Fluorwasserstoff entsteht. Nach Aussagen der [Protonique Limited 2000] besitzen Fluorcarbone eine sehr lange atmosphärische Lebensdauer. Ihr Zersetzungsmechanismus in der Atmosphäre ist nicht vollständig aufgeklärt. Es wird angenommen, dass eines der

Somit kann erwartet werden, dass alle Halogene enthaltenden Verbindungen während ihrer atmosphärischen Zersetzung ähnliche Zwischenprodukte bilden, deren Eigenschaften untereinander vergleichbar sind.

2. Reaktion beim Löschvorgang

Im Falle der Anwendung der HFKW als Löschmittel soll ein wesentlicher Teil der Löschwirkung durch die hohe Wärmekapazität der HFKW realisiert werden. Es wird angenommen, dass etwa 30 % bis 60 % der Löschwirkung durch die Energieaufnahme in der Flamme realisiert wird und damit ebenso wie beim Löschmittel Wasser die Wärmeübertragung als rein physikalische Reaktion überwiegt. Dies führte letztendlich zur Bezeichnung „clean agents“ für diese Stoffgruppe.

Bald wurden jedoch bei Löschvorgängen mit HFKW, ebenso wie bei Halonen, eine Reihe von Zersetzungsprodukten identifiziert. Durch [Modiano et al. 1996] wurde schließlich quantitativ nachgewiesen, dass bei dem HFC-227ea Fluorwasserstoff und Carbonylfluorid als toxische Verbindungen entstehen.

Tabelle 2: Konzentrationen von Gasen bei JP-8 Poolfeuer, gelöscht mit FM-200

Beobachtete Verbindung	Konzentration in ppm (Inhibition mit C ₃ F ₇ H)
HF	12
HCl	<1
C ₂ H ₂	38
CH ₄	23
CO	40
CF ₂ O	6

Es wurde auch Hexafluorpropylen identifiziert. [Modiano et al. 1996] verwiesen darauf, dass die Verbindungen ein Gesundheitsrisiko für Personen darstellen, die den Verbrennungsgasen ausgesetzt sind.

[Linteris und Gmurczyk 1995] versuchten die Bildung von HF für verschiedene HFC theoretisch vorauszusagen und unterlegten die Ergebnisse mit experimentellen Untersuchungen. Das nachfolgende Diagramm zeigt die Ergebnisse für die HFC Perfluorpropan, HFC-227ea und HFC-125. Es zeigte sich, dass mit zunehmender Inhibitorkonzentration die pro Mol Brennstoff gebildeten Mole an HF linear zunehmen.

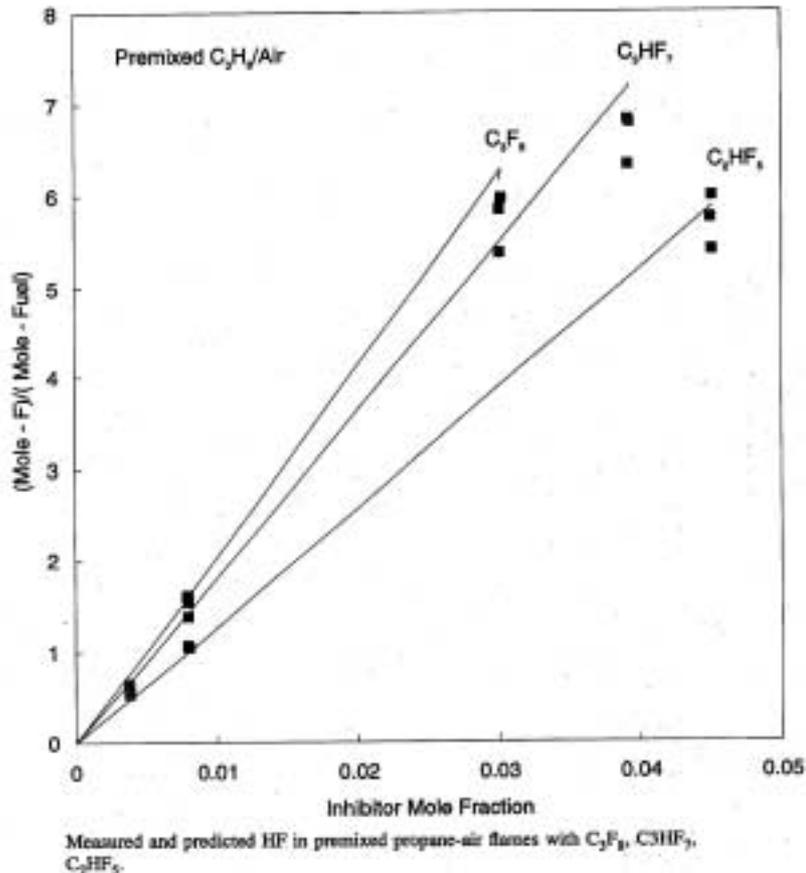


Abbildung 4: Bildung von HF in vorgemischten Propanflammen

Weitere Quellen bestätigen diese Ergebnisse, so dass heute die Entstehung von Zersetzungsprodukten, insbesondere HF und COF_2 und auch weiteren ungesättigten Fluorverbindungen, beim Löschen mit HFKW als gesichert angenommen werden kann. Damit kann die Hypothese eines vorzugsweise auf physikalischen Effekten beruhenden sauberen Löschvorganges mit sogenannten „clean agents“ ohne toxisch oder korrosiv wirkende Zwischen- bzw. Zersetzungsprodukte nicht direkt gehalten werden. Nur über die technische Auslegung der Löschanlage in Verbindung mit einer Brandmeldung und anschließender schneller Flutung kann der entstehende Brand bereits im Stadium seiner Entwicklung gelöscht werden. In diesem Fall entstehen nur geringe Mengen toxischer Zersetzungsprodukte. Somit ist erst durch die technische Auslegung ein nahezu sauberer Löschvorgang erreichbar.

Anlage 3 GWP von HFKW und FKW

HFKW und FKW sind Verbindungen mit hohen atmosphärischen Lebensdauern. Sie sind zusätzlich in der Lage, Wärmestrahlung zu absorbieren und stellen damit Treibhausgase dar. Maß für die Bewertung ist das sogenannte globale Erwärmungspotenzial (Global Warming Potential = GWP). Das globale Erwärmungspotenzial (GWP) stellt eine quantitative Methode der Abschätzung der Wirkungen unterschiedlicher Gase in der Atmosphäre unter einem einheitlichen Maßstab dar. Als Bezugssubstanz wurde Kohlendioxid gewählt. Das GWP wird aus der Fähigkeit der Verbindungen ermittelt, die infrarote Strahlung der Erdoberfläche zu absorbieren und damit die Atmosphäre zu erwärmen. Die Fähigkeit besitzt das Gas während seiner gesamten atmosphärischen Lebensdauer (ALT). Die ALT charakterisiert die Zersetzungs- bzw. Entfernungsprozesse eines in der Atmosphäre vorhandenen Gases. In der Mehrzahl der Fälle wird für organische Verbindungen zur Abschätzung der Lebensdauer die Reaktion mit OH* Radikalen in der Atmosphäre angenommen. Nach der Reaktion verschwindet die Verbindung und ist damit nicht mehr wirksam. Andere Prozesse der Entfernung aus der Atmosphäre werden ebenfalls berücksichtigt, wie z.B. die Reaktion der Verbindung in der wässrigen Phase nach dem Auswaschen durch Regen. Die Bewertung bezieht sich ausschließlich auf die Verbindung selbst, ihre Reaktionsprodukte nach der Zersetzung werden in die Betrachtung nicht einbezogen.

In die Abschätzung des GWP geht auch die Zeit ein, die bei Freisetzung eines Gases in Meereshöhe bis zum Erreichen der Stratosphäre benötigt wird. Für die Verteilung der Gase werden mathematische Modelle verwendet, deren Beschreibung hier nicht notwendig erscheint.

Die GWP verschiedener Verbindungen werden schließlich für unterschiedliche Zeithorizonte abgeschätzt. Das ist erforderlich, um die Akkumulation langlebiger Verbindungen bei gleicher Emissionsrate gegenüber Verbindungen mit kurzen ALT zu charakterisieren. In der Mehrzahl der Veröffentlichungen rechnet man mit 20, 100 und 500 Jahren für den Zeithorizont.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Wirksamkeit der FKW und HFKW als Treibhausgase.

Tabelle 1: Lebensdauern und ODP von Fluorkohlenwasserstoffen und Fluorkohlenwasserstoffethern [Owens 1999]

Verbindung	HC-Nummer	Brennbarkeit	atm. Lebensdauer a	GWP (100a) CO ₂ =1
CH ₂ F ₂	HFC-32	ja	5,6	880
CHF ₃	HFC-23	nein	243	14 800
CH ₃ CHF ₂	HFC-152a	Ja	1,5	190
CH ₃ CF ₃	HFC-143a	Ja	53,5	5 400
CH ₂ FCF ₃	HFC-134a	nein	13,6	1 600
CHF ₂ CF ₃	HFC-125	nein	32,6	3 800
CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	HCF-245ca	ja	6,6	720
CF ₃ CH ₂ CF ₃	HFC-236-fa	nein	226	9 400
CF ₃ CHFCF ₃	HFC-227ea	nein	36,5	3 800
CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	HFC-365mfc	ja	10,2	910
CF ₃ (CFH) ₂ CF ₂ CF ₃	HFC-43-10mee	nein	17,1	1 700
CH ₃ OCF ₃	HFE-143a		5,7	970
CF ₂ HOCF ₃	HFE-125		165	15 300
CF ₃ CFHOCF ₃	HFE-227ea		11	1 500
CF ₃ CH ₂ OCF ₃	HFE-236fa		3,7	470
CF ₃ CH ₂ OCHF ₂	HFE-245fa		4,4	570
C ₅ F ₁₂ O	Novoc 1230	nein	0,014	1

Tabelle 2: Atmosphärische Lebensdauern und Erwärmungspotenziale für verschiedene Zeithorizonte [Ravishankara et al 1994]

Verbindung	Berücksichtigte atmosphärische Lebensdauer a	GWP für verschiedene Zeithorizonte		
		20 a	100 a	500 a
Kohlendioxid	+	1	1	1
CFC-11	55	4500	3400	1400
CFC-12	116	7100	7100	4100
CFC-115	550	5500	7000	8500
HCFC-141b	10,8	1800	580	200
HCFC-225ca	2,7	610	170	60
HCFC-225cb	7,9	2400	690	240
HCFC-22	15,8	4200	1600	540
HCFC-123	1,7	330	90	30
HFC-125	40,5	5200	3400	1200
HFC-134a	15,6	3100	1200	400
HFC-152a	1,8	530	150	49
Methan	10,5	35	11	4

Tabelle 3: Geschätzte Wirkung von Treibhausgasen [AFEAS 2000]

Verbindung	Atmosphärische (ALT) Lebensdauer a	GWP bei einem Zeithorizont (CO ₂ = 1, Ungewissheit ± 35 %)		
		20 a	100 a	500 a
CFC-11	50±5	5000	4000	1400
CFC-12	102	7900	8500	4200
CFC-113	85	5000	5000	2300
CFC-114	300	6900	9300	8300
CFC-115	1700	6200	9300	13000
HCFC-22	13,3	4300	1500	520
HCFC-123	1,4	300	93	29
HCFC-124	5,9	1500	480	150
HCFC-141b	9,4	1800	630	200
HCFC-142b	19,5	4200	2000	630
HCFC-225ca	2,5	550	170	52
HCFC-225cb	6,6	1700	530	170
HFC-23	264	9100	11700	9800
HFC-32	5,6	2100	650	200
HFC-43-10mee	17,1	3000	1300	400
HFC-125	32,6	4600	2800	920
HFC-134a	14,6	3400	1300	420
HFC-143a	48,3	5000	3800	1400
HFC-152a	1,5	460	140	42
HFC-227ea	36,5	4300	2900	950
HFC-236fa	209	5100	6300	4700
HFC-245ca	6,6	1800	560	170
Methan	12,2±3	56	21	6,5
NMHCs **	-	31	11	6

** andere Kohlenwasserstoffe

Tabelle 4: Zusammenstellung der GWP-Werte (vorgegeben durch IPCC)

Verbindung	Formel	Lebenszeit (Jahre)	Global Warming Potential (Zeithorizont)			Quelle
			20 Jahre	100 Jahre	500 Jahre	
Kohlendioxid	CO ₂	variabel	1	1	1	2
Methan	CH ₄	12 +/- 3	56	21	6,5	2
Distickstoffoxid	N ₂ O	120	280	310	170	2
CFC-11	CFCI ₃	50 +/- 5	5000	4000	1400	1
CFC-12	CF ₂ CI ₂	102	7900	8500	4200	1
CFC-13	CCIF ₃	640	8100	11700	13600	1
CFC-113	C ₂ F ₃ CI ₃	85	5000	5000	2300	1
CFC-114	C ₂ F ₄ CI ₂	300	6900	9300	8300	1
CFC-115	C ₂ F ₅ CI	1700	6200	9300	13000	1
HCFC-22	CF ₂ HCI	13,3	4300	1700	520	1
HCFC-123	C ₂ F ₃ HCI ₂	1,4	300	93	29	1
HCFC-124	C ₂ F ₄ HCI	5,9	1500	480	150	1
HCFC-141b	C ₂ FH ₃ CI ₂	9,4	1800	630	200	1
HCFC-142b	C ₂ F ₂ H ₃ CI	19,5	4200	2000	630	1
HCFC-225ca	C ₃ F ₅ HCI ₂	2,5	550	170	52	1
HCFC-225cb	C ₃ F ₅ HCI ₂	6,6	1700	530	170	1
H-1301	CF ₃ Br	65	6200	5600	2200	1
HFC-23	CHF ₃	264	9100	11700	9800	2
HFC-32	CH ₂ F ₂	5,6	2100	650	200	2
HFC-41	CH ₃ F	3,7	490	150	45	2
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17,1	3000	1300	400	2
HFC-125	C ₂ HF ₅	32,6	4600	2800	920	2
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	10,6	2900	1000	310	2
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14,6	3400	1300	420	2
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	1,5	460	140	42	2
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3,8	1000	300	94	2
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48,3	5000	3800	1400	2
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	36,5	4300	2900	950	2
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5100	6300	4700	2
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	6,6	1800	560	170	2
Chloroform	CHCI ₃	0,55	15	5	1	1
Methylchlorid	CH ₂ CI ₂	0,41	28	9	3	1
Schwefelhexafluorid	SF ₆	3200	16300	23900	34900	2
Perfluormethan	CF ₄	50000	4400	6500	10000	2
Perfluorethan	C ₂ F ₆	10000	6200	9200	14000	2
Perfluorpropan	C ₃ F ₈	2600	4800	7000	10100	2
Perfluorbutan	C ₄ F ₁₀	2600	4800	7000	10100	2
Perfluorcyclobutan	c-C ₄ F ₈	3200	6000	8700	12700	2
Perfluorpentan	C ₅ F ₁₂	4100	5100	7500	11000	2
Perfluorhexan	C ₆ F ₁₄	3200	5000	7400	10700	2

1 = IPCC 1994; IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

2 = IPCC 1995

Die Tabellen zeigen, dass es in den Veröffentlichungen aufgrund der verwendeten Modelle Unterschiede gibt und langlebige Produkte bei größeren Zeithorizonten auch höhere GWP aufweisen. Das Treibhauspotenzial der FKW und HFKW ist ein Nachteil dieser chemischen Löschmittel, welcher bei der Auswahl alternativer Volumenlöschmittel berücksichtigt werden sollte.

Anlage 4 Emissionen von Treibhausgasen in Deutschland

Der nationale Klimabericht für das Jahr 2002 [Klimabericht 2002] gibt einen Überblick über die Emission von Treibhausgasen in Deutschland bis zum Jahr 2000 wieder. Die nachfolgenden Tabellen enthalten die absoluten Zahlen und ihre Umrechnung auf Kohlendioxidäquivalente.

Tabelle 1: Emission von Treibhausgasen in Deutschland

Emissions of Greenhouse gases and SO ₂ in Germany 1990 - 2000											
Figures in Gg (HFC, CFC, C2F6 und SF6 in Mg)											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996 *	1997 *	1998 *	1999 *	2000 *
directly acting Greenhouse gases											
CO ₂	1.014.500	975.951	928.307	918.268	904.111	903.665	923.085	892.649	885.963	859.246	857.908
CH ₄	5.273	4.743	4.400	4.017	3.772	3.616	3.285	3.208	3.107	3.041	2.885
N ₂ O	286	272	277	265	256	259	265	250	206	194	194
HFC	200	200	302	1.665	1.942	2.135	2.435	2.901	3.284	4.200	5.000
CFC	355	308	278	260	214	224	221	171	186	186	186
C ₂ F ₆	42	38	36	35	31	32	39	42	46	46	46
CF ₄	0	0	0	0	0	2	5	8	11	11	11
SF ₆	163	182	204	226	242	261	243	238	229	148	144
CO₂-equivalent emission	1.222.765	1.169.013	1.116.027	1.095.819	1.074.128	1.071.177	1.094.343	1.048.155	1.026.675	993.819	991.421
indirectly acting Greenhouse gases											
NO _x (as NO ₂)	2.729	2.514	2.323	2.208	2.055	1.984	1.897	1.800	1.724	1.676	1.600
NMVOC	3.221	2.796	2.539	2.326	2.158	2.028	1.892	1.823	1.739	1.675	1.602
CO	11.213	9.515	8.351	7.704	7.065	6.532	6.109	5.955	5.424	5.143	4.768
aerosol precursor											
SO ₂	5.321	3.996	3.307	2.945	2.473	1.939	1.340	1.087	804	804	795
* preliminary data											

Tabelle 2: Emissionstrends von Treibhausgasen in Deutschland

Emission Trends in Germany since 1990				(% change in relation to the baseyear)									
directly acting Greenhouse gases	baseyear	absolute	%	1991	1992	1993	1994	1995	1996 *	1997 *	1998 *	1999 *	2000 *
				+/- %	+/- %	+/- %	+/- %	+/- %	+/- %	+/- %	+/- %	+/- %	+/- %
CO ₂	1990	1.014.500	100,0	-3,8	-8,5	-9,5	-10,9	-10,9	-9,0	-12,0	-12,7	-15,3	-15,4
CH ₄	1990	5.273	100,0	-10,1	-16,6	-23,8	-28,5	-31,4	-37,7	-39,2	-41,1	-42,3	-45,3
N ₂ O	1990	206	100,0	-4,7	-3,1	-7,4	-10,4	-9,2	-7,4	-12,6	-28,0	-32,0	-32,2
HFC	1995	2.139	100,0					0,0	14,1	35,9	53,8	96,7	134,2
CF ₄	1995	224	100,0					0,0	-1,3	-23,7	-17,0	-17,0	-17,0
C ₂ F ₆	1995	32	100,0					0,0	21,9	31,3	43,8	43,8	43,8
CF ₃	1995	2	100,0					0,0	130,0	300,0	450,0	450,0	450,0
SF ₆	1995	260	100,0					0,0	-6,9	-8,8	-12,3	-43,3	-44,8
CO ₂ -equivalent emission		1.224.976	100,0	-4,6	-8,9	-10,5	-12,3	-12,6	-11,5	-14,4	-16,2	-18,9	-19,1
indirectly acting Greenhouse gases													
NO _x (as NO ₂)		2.729	100,0	-7,9	-14,9	-19,1	-24,7	-27,3	-30,5	-34,0	-36,8	-38,6	-41,4
NMVOC		3.221	100,0	-13,2	-21,2	-27,8	-33,0	-37,3	-41,3	-43,4	-46,0	-48,0	-50,2
OD		11.213	100,0	-15,1	-25,5	-31,3	-37,0	-41,7	-45,5	-46,9	-51,6	-54,1	-57,5
aerosol precursor SO ₂		5.321	100,0	-24,9	-37,9	-41,7	-53,5	-61,6	-74,8	-79,6	-83,6	-84,9	-85,1

* preliminary data

Tabelle 3: Emissionen berechnet auf Kohlendioxidäquivalente

GREENHOUSE GAS EMISSIONS	Base year ⁽¹⁾	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
		CO ₂ equivalent (Gg)										
Net CO ₂ emissions/removals	980781	980781	942232	894588	884549	870392	870235	889655	859219	852533	825816	841082
CO ₂ emissions (without LUCF) ⁽²⁾	1014500	1014500	975951	928307	918268	904111	903665	923085	892649	885963	859246	857908
CH ₄	110741	110741	99606	92401	84365	79208	75934	68994	67359	65243	63868	60583
N ₂ O	88593	88593	84415	85835	82023	79369	80445	82047	77455	63808	60209	60080
HFCs	3130	2340	2340	2470	3750	3980	3130	2580	3450	4278	5250	7700
PFCs	1764	2694	2352	2138	2012	1676	1764	1830	1554	1709	1709	1709
SF ₆	6238	3896	4350	4876	5401	5784	6238	5808	5688	5473	3537	3442
Total (with net CO ₂ emissions/removals)	1191248	1189046	1135294	1082308	1062100	1040409	1037747	1050913	1014725	993045	960389	974595
Total (without CO ₂ from LUCF) ⁽²⁾	1224967	1222765	1169013	1116027	1095819	1074128	1071177	1084343	1048158	1026475	993819	991421

Danach erreichen die Emissionen der HFKW als Treibhausgas knapp 1 % der Gesamtemission. Werden die Verursacher der HFKW-Emissionen in Deutschland im Einzelnen betrachtet, so ergibt sich folgende Graphik.

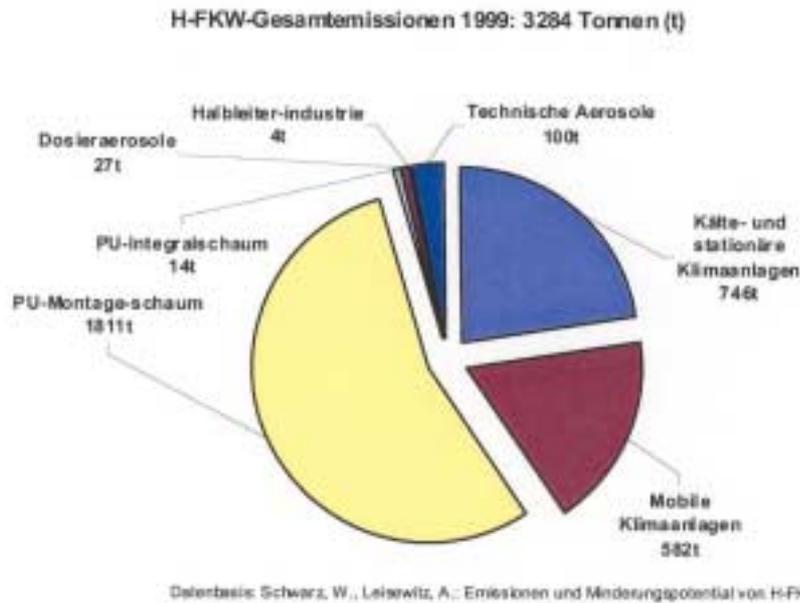


Abbildung 1: HFKW – Gesamtemission 1999

Es ist anzunehmen, dass in dieser Graphik unter der Rubrik Technische Aerosole (100 t) auch die als Feuerlöschmittel verwendeten HFKW mit einem Anteil >1% zu finden sind. Diese Rubrik erreicht insgesamt etwa 3 % der Emission an HFKW, bzw. 0,03 % der Gesamtemission an Treibhausgasen. Unter der Voraussetzung, dass in den Anwendungsbereichen Lösungsmittel und Feuerlöschmittel HFKW, abgesehen von Ausnahmen, nicht zum Einsatz kommen und der Einsatz als Treibmittel in Montageschäumen durch Anwendung alternativer, weniger klimawirksamer Gase verringert wird, könnte der Anstieg der HFKW bis 2010 auf 360% begrenzt werden [Klimabericht 2002]. Als wichtige weitere Maßnahme ist die Minimierung der Leckageraten industrieller Anlagen zu sehen.

Da aber im Zuge des FCKW - bzw. HFCKW – Ausstieges ein überproportional anwachsender Emissionstrend um den Faktor 16 ermittelt wurde, wird dieser Gruppe eine besondere Bedeutung zukommen. Zumal hier offensichtlich durch alternative Lösungen die Nutzung der HFKW deutlich eingeschränkt werden kann.

Als Regelungsinstrument sieht das Eckpunktepapier [BMU 2002] zumeist Ordnungsrecht vor. Dies schließt jedoch ausdrücklich den Handel mit Treibhausgasemissionen und Selbstverpflichtungserklärungen der Wirtschaft nicht aus, wenn damit vergleichbare Minderungspotenziale erschlossen werden können. Das Bundesumweltministerium beabsichtigt, den Einsatz fluoriierter Treibhausgase gezielt dort einzuschränken, wo umweltfreundlichere / nachhaltigere Ersatzstoffe / -verfahren nach dem Stand der Technik verfügbar sind.

Der Einsatz von HFKW als Feuerlöschmittel beschränkt sich aufgrund aufwendiger Zulassungsverfahren in Deutschland bislang auf zwei Stoffe aus dieser Gruppe (FM 200 = HFC-227ea und Trigon-300 = FE-13), wobei FE-13 trotz einer Zulassung aus dem Jahr 2002 bisher noch nicht in Löschanlagen installiert wurde. In fast allen Einsatzbereichen von HFKW als Feuerlöschmittel stehen umweltfreundlichere Alternativen zur Verfügung. Ein ordnungsrechtliches Verbot wird im Eckpunktepapier, bevor weitere Feuerlöschmittel zugelassen werden, aus Vorsorgegründen als notwendig erachtet, wo der Einsatz von HFKW bei der Brandbekämpfung zum Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen nicht zwingend erforderlich ist. Ausnahmen sind in Bereichen vorgesehen, in denen Ausnahmegenehmigungen für den Einsatz von Halonen gemäß § 6

Abs. 2 der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung erteilt wurden oder in denen der Einsatz dieser Stoffe zum Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen erforderlich ist.

In einer Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge besteht Konsens zwischen Politik und Wirtschaft, dass vorsorgender Klimaschutz zentrales Element der Umweltpolitik und integraler Bestandteil der Wirtschafts- und Energiepolitik ist [Vereinbarung 2000]. Seit der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro zählt eine verlässliche und dauerhafte Klimaschutzpolitik weltweit zu den Kernelementen einer "nachhaltigen Entwicklung" ("sustainable development"). Dabei zielt die "nachhaltige Entwicklung" gleichzeitig auf ökologische Wirksamkeit, ökonomische Effizienz und soziale Gesichtspunkte, wie z.B. gesellschaftliche Akzeptanz. Die deutsche Wirtschaft leistet seit Abgabe ihrer Klimaschutzerklärung einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung wie

- die nationalen CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2005 gegenüber 1990 um 25 % zu mindern sowie
- bis zur Periode 2008/2012 die sechs sogenannten "Kyotogase" (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFKW und FKW) um 21 % zu reduzieren.

Anlage 5 Verringerung von Emissionen durch Treibhausgase

Grundsätzlich wird das Potenzial zur Erwärmung der Erdatmosphäre (GWP) nur dann wirksam, wenn Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen.

Bei Verwendung von HFKW als Löschmittel in speziellen Löschanlagen, erfolgt die Bevorratung durch Lagerung der unter Druck verflüssigten Gase in speziellen Druckgasflaschen. Der erforderliche Druck liegt in der Mehrzahl der Gase zwischen 50 und 200 bar und ist damit beherrschbar. Die Lagerung in geschlossenen Gasflaschen ohne Flutung des Anlagensystems bis zu den Düsen sollte es ermöglichen, Leckverluste über Jahre hinweg deutlich unter 1 % der Gesamtmasse zu halten.

Wartungs- und Pflegearbeiten an den Systemen können die Leckverluste weiter minimieren. Dazu bieten Vertreiber der Löschsyste me technische Lösungen an.

Eine kontinuierliche Kontrolle der Leckverluste gehört zum Ausrüstungsumfang von Gaslöschanlagen. Die Überwachung der Löschmittelmenge ist gegenwärtig aus der Sicht der ausreichenden Bevorratung von Löschmittel und Steuergas zwingend gefordert und bei 10 Ma. - % Verlust angezeigt. Für eine generelle Kontrolle der Leckverluste bei Treibhausgasen ist der Nachweis der Leckverluste im Bereich unterhalb 10 Ma. - % zu berücksichtigen. Die dazu erforderlichen Geräte und Maßnahmen sollten in den VdS Richtlinien für Feuerlöschanlagen aufgenommen werden (z.B. VdS 2381:2002-06(02)).

Kontinuierliche Überprüfungen der Anlagen erfordern auch die Prüfung der Gasflaschen. Da auch Sichtprüfungen zur Einschätzung der Korrosion gefordert werden, müssen geschlossene Systeme zum Umfüllen des Löschmittels verwendet werden und eventuell austretenden Gase sollten kondensiert, aufgefangen oder auch absorbiert werden. Diese Maßnahmen bedürfen besonderer Technik und erhöhter Sorgfalt während der Wartungsarbeiten. Auch hier gibt es bereits entsprechende Lösungen und es sind die Anbieter der Löschanlagen gefordert den Nachweis bezüglich einer minimalen Emission von Treibhausgasen während der Wartungsarbeiten zu erbringen. Auch diese Forderung sollte in den Richtlinien aufgenommen werden.

Für die Inbetriebnahme einer neuen Löschanlage wird grundsätzlich eine Funktionsüberprüfung gefordert. Nachgewiesen werden muss der zeitlich abhängige Anstieg der Löschmittelkonzentration an verschiedenen Stellen im Raum. Die Flutung kann ausbleiben, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Anlage z. B. der Richtlinie VdS 2381:2002-06(02) entspricht. Das ist dann der Fall, wenn die Vorgaben zur Auslegungskonzentration exakt eingehalten werden und die Berechnungen für den zu schützenden Raum ausgeführt worden sind. Da für die Berechnungen auch Parameter über die Dichtigkeit des Raumes und seine Einbauten eingehen, sind die wesentlichen objektbezogenen Randbedingungen berücksichtigt. Wird aber beabsichtigt, die Auslegungskonzentration zu verringern, so ist die Löschwirksamkeit durch Probeflutung und Konzentrationsmessung nachzuweisen. Aus Umweltsicht ist abzuwägen, ob die Einsparung an Löschmittel eine Probeflutung rechtfertigt oder die Nutzung der Auslegungskonzentrationen der umweltschonendere Weg ist.

Die Prüfung der Funktionsfähigkeit aller Funktionsteile und Rohrleitungen der Anlage vom Löschmittellager bis zu des Löschdüsen ist bei jeder neuen Anlage erforderlich. Für diese Prüfung kann ein spezielles Prüfgas ohne umweltschädigende oder toxische Eigenschaften eingesetzt werden.

Die Anlagen müssen so gesichert sein, dass Fehlalarme und unberechtigte Auslösung von Hand nach Möglichkeit ausgeschlossen werden können. Damit liegt ein besonderer Schwerpunkt der Entwicklung auf den Auslöseeinrichtungen bzw. den Elementen der Branderkennung oder Brandfrüherkennung. Je sicherer ein Brand identifiziert werden kann, umso geringer werden die Fehlalarme und damit die Emissionen sein. Bei diesem Schwerpunkt möglicher Emissio-

nen [Remy 2003] wird deutlich, dass die Gesamtausführung der Löschanlage Effizienz und auch Umweltverträglichkeit entscheidend beeinflusst. Da heute die Branderkennung untrennbarer Bestandteil einer Gaslöschanlage ist und insbesondere bei den alternativen Löschmittel der Zeitraum der Auslösung der Anlage entscheidenden Einfluss auf die optimale Wirkung der Löschmittel besitzt, gewinnt dieser Anlagenteil zumindest die gleiche Bedeutung wie das Löschmittel selbst. Nach [Conrads 1998] zeigt die Falschalarm-Statistik eine Reihe häufig auftretender Ursachen. Conrads erwartet deutliche Verbesserungen bei folgenden Ursachen:

- Überspannungen (z.B. Gewitter),
- unzweckmäßige Technologie,
- komplizierte Bedienung,
- technische Unterlagen für Errichter unzureichend,
- fehlende Übertragung von Detailinformationen (z.B. Meldergruppen, Einzelmelderinformationen) an die Empfangsstelle,
- Personen werden versehentlich eingeschlossen,
- fehlende Verknüpfung der Melder,
- Fehlende Verschlussüberwachung von Türen und Fenstern,
- Aufdruckbolzen als Ersatz für Verschlussüberwachung,
- fehlende Schulung der Mitarbeiter der Errichterfirma vor Ort.

Insbesondere an dieser Stelle sind die Anbieter der Löschanlagen gefordert, die Branderkennung sicher zu gestalten, technologische Faktoren, die Ursache für Fehlauflösungen sein können, bei der Errichtung der Anlage auszuschließen und den richtigen Zeitraum für die Beflutung zu bestimmen und Fehlauflösungen weitgehend zu verhindern. Exakt an dieser Stelle kann technische Sachkenntnis sich zum entscheidenden Marktvorteil entwickeln. Im Fall der Auslösung der Anlage wird das Gaslöschmittel immer vollständig freigesetzt und damit emittiert. Die vollständige Emission eines Gaslöschmittels kann unter Berücksichtigung aller Maßnahmen zur Emissionsverhinderung mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den möglichen Brandfall ausgerichtet werden.

Dieser Emissionsanteil bei Treibhausgasen als Löschmittel wäre aus Sicht der Autoren vertretbar, wenn die Bedingungen des Objektes und die festgelegten Schutzziele eine HFKW-Anlage als günstigste Variante ausweisen und andere alternativen Löschmittel aus Gründen der Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Systemen durch Personen in den Räumen oder auch aus Raum- bzw. Kostengründen verwendet werden.

Bei Erreichen der maximalen Lebensdauer des Löschmittels muss aber garantiert werden, dass das Produkt entweder recycelt oder fachgerecht entsorgt wird [Great Lakes 2001]. Der Hersteller Great Lakes hat sich im zitierten Papier schriftlich zu einer Gewährleistung der Rücknahme und des Recycling von FM – 200 bekannt.

Anlage 6 Verfügbare Sicherheitsdatenblätter und Stoffbewertungen der HFKW als pdf-Dateien

FM-200:

MATERIAL SAFETY DATA SHEET MSDS Number: 00057 Product Name: FM-200

Effective Date: 4/7/98 Great Lakes Chemical Corporation [174.pdf](#)

Cerberus®, FM-200, Dry extinguishing system, Product description, Siemens Building Technologies, Cerberus Division, 04/2001, [cerb-fm200.pdf](#)

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ, Nom du Produit: FM-200*, Great Lakes (UK) Limited, 14/09/01, [ec_sds_fm200_fre.pdf](#)

NATIONAL INDUSTRIAL CHEMICALS NOTIFICATION AND ASSESSMENT SCHEME, FULL PUBLIC REPORT, Heptafluoropropane (HFC-227ea), (NICNAS), Sydney 2001, AUSTRALIA, File No: EX/5, (NA/164), July 1999, [EX5FR.pdf](#)

DuPont FE-227, Fire extinguishing agent, Properties, Uses, Storage, and Handling, DuPont Fluoroproducts, Chestnut Run Plaza 702-1274E, [www.dupont.com/fire](#), (7/01) RWJ84 Printed in U.S.A. [fe_227.pdf](#)

FM-200 Material Safety Data Sheet, [FM-200.pdf](#)

F M - 2 0 0 ® F I R E E X T I N G U I S H I N G A G E N T, Kidde Fire Protection Limited, UK Sales Office – Head Office, E9832-008 10/00, [fm200-datasheet.pdf](#)

Cerberus® FM200 Dry extinguishing system, General installation instructions,

Siemens Building Technologies Cerberus Division, 04.2001, [fm-200instr.pdf](#)

Der umweltfreundliche Brandschutz dem die ganze Welt vertraut, FM-200, 2001 Great Lakes Chemical Corporation, [product_brochure_german_august_2002.pdf](#),

FM200® Gaseous Fire Fighting, tyco fire security, ADT Fire and Security, PSF073A Issue 4, Jan 01, [psf073a.pdf](#)

Y. Y. D u a n 2 , L. Shi 2 , M. S. Zhu 2,3 , L. Z. Han 2 , C. Zhang 2,4: Study on Thermodynamic Properties of 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane 1, Submit to International Journal of Thermodynamics, June 25-30, 2000, Boulder, Colorado, U.S.A., [REF04DUA.pdf](#)

Solkane â 227 pharma Propellant for pharmaceutical aerosols, HFA 227, HFC 227, HFC 227ea, Solvay Fluor und Derivate, Solvay Fluor und Derivate GmbH Postfach 220, D-30002 Hannover, 35/ 441/ 04.98/ 007/ 1000, [solkane227.pdf](#)

Safety Data Sheet, 'ZEPHEX' 227ea, INEOS Fluor Limited, PO Box 13, The Heath Runcorn Cheshire, (Date: 07/2002), [zeph227eauk.pdf](#)

Trigon-300:

SAFETY DATA SHEET, HARP 23, Harp International Limited, Gellihirion Industrial Estate Pontypridd Rhondda Cynon Taff CF37 5SX, United Kingdom, 31/08/00, [908023_1.pdf](#)

FE-13, CHEMICAL PRODUCT/COMPANY IDENTIFICATION, DuPont, 1007 Market Street Wilmington, DE 19898, USA, 15-JAN-1998, [CHF3.pdf](#)

Thermodynamic Properties of HFC-23 (trifluoromethane), T-23—SI, Du Pont Product Names: Freon 23, Du Pont Fluorochemicals Laboratory Wilmington, DE 19880-0711, USA, (10/94) 242666A Printed in U.S.A., [thermo_hfc23.pdf](#)

Du Pont Material Safety Data Sheet "FREON" 23 2025FR Revised 4-NOV-2002, Du Pont Fluoroproducts 1007 Market Street Wilmington, DE 19898, USA, [PEN_09004a2f8000630b.pdf](#)

New Jersey Department of Health and Senior Services, HAZARDOUS SUBSTANCE FACT SHEET TRIFLUOROMETHANE, August 1988, [TFMSheetDepNJ.pdf](#)

Novec 1230:

How 3M Novec 1230 Fire Protection Fluid is stored as a liquid and discharged as a gas,

3M Specialty Materials, 3M Center, Building 223-6S-04, St. Paul, MN 55144-1000, USA, [novec1230.pdf](#)

3 M Product Information, Novec™1230 Fire Protection Fluid, 3M Specialty Materials, 3M Center, Building 223-6S-04, St. Paul, MN 55144-1000, USA, [novec1230proding.pdf](#)

3 M Novec™1230 Fire Protection Fluid; 3M Specialty Materials, 3M Center, Building 223-6S-04, St. Paul, MN 55144-1000, USA, [novec1230textfluid.pdf](#)

3 M Material Safety Data Sheet, Novec (TM) 1230 Fire Protection Fluid 09/23/2002, 3M Center, Building 223-6S-04, St. Paul, MN 55144-1000, USA, [novec1230datash.pdf](#)

NOVEC1230, tyco fire security, ADT Fire and Security, PSF118A Issue 1, Feb 02, [psf118a.pdf](#)

NATIONAL INDUSTRIAL CHEMICALS NOTIFICATION AND ASSESSMENT SCHEME

(NICNAS), FULL PUBLIC REPORT, 3M TM Novec TM Fire Protection Fluid 1230, (NICNAS), August 2002, [std1019FR.pdf](#)

Anlage 7 Verwendete Abkürzungen

FKW	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe	Perfluorocarbon (PFC)
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe	Hydrofluorocarbon (HFC)
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe	Chlorofluorocarbons (CFC)
PFIB	Perfluorisobutylen	Perfluoroisobutylene
ODP	Ozonerstörungspotenzial	Ozone Depletion Potential
GWP	Globales Erwärmungspotenzial	Global Warming Potential
NOAEL	niedrigste Testkonzentration ohne beobachtete Wirkung	No Observed Adverse Effect Level
LOAEL	niedrigste Testkonzentration mit beobachteter Wirkung	Lowest Observed Adverse Effect Level
LC50	Tödliche Konzentration für 50 % der Versuchstiere	Lethal Concentration-50%
LD50	Tödliche Dosis für 50% der Versuchstiere	Lethal Dosis-50 %
PCE	Polychromatische Erythrozyten	polychromatic erythrocytes

AFEAS	Studien zur Umweltakzeptanz alternativer Fluorkohlenwasserstoffe	Alternative Fluorcarbons Environmental Acceptability Study
EPA	Umweltschutzagentur der USA	Environmental Protection Agency (US)
IMO	Internationale Schifffahrtsorganisation	International Maritime Organization
NFPA	Nationaler Brandschutz Agentur der USA	National Fire Protection Association
NICNAS	Nationales Bewertungs- und Einschätzungsprogramm industrieller Chemikalien	National Industrial Chemical Notification Assessment Scheme (Australien)
OSHA	Berufliche Sicherheits & Gesundheitsadministration (USA)	Occupational Safety & Health Administration
PMN	Netzwerk für Pflanzenmanagement	Plant Management Network
SCBA	schwerer Atemschutz	self-contained breathing apparatus
SNAP	Bedeutsame neue Alternativen Politik (Entwicklungsprogramm der EPA für Halonalternativen)	Significant new Alternatives Policy
SNUR	Bedeutsame neue Gebrauchsvorschriften	Significant New Use Rule
TSCA	Kontrollurkunde für toxische Substanzen	Toxic Substances Control Act
UNEP	Umweltprogramm der Vereinten Nationen	United Nations Environment Programme

TRGS	Technische Regeln Gefahrstoffe
AFKZV	Arbeitskreises Feuerwehr, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung der Innenminister der Länder
MPA	Materialprüfanstalt für das Bauwesen Freistaat Sachsen
VdS	VdS Schadenverhütung GmbH, ein Unernehmen des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft