

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE



Löschintensitäten von fluorfreien
Schaummitteln zur Brandbekämpfung
bei polaren Flüssigkeiten

197

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

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

Forschungsbericht Nr. 197

Löschintensitäten von fluorfreien Schaummitteln zur Brandbekämpfung bei polaren Flüssigkeiten

von

Dipl.-Phys. Karola Keutel

Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge
Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr -

Heyrothsberge

Dezember 2019

BERICHTS-KENNBLETT

Nummer des Berichtes: 197		Titel des Berichtes Löschintensitäten von fluorfreien Schaummitteln zur Brandbekämpfung bei polaren Flüssigkeiten		ISSN: 0170-0060	
Autoren: Dipl.-Phys. Karola Keutel,		durchführende Institution: Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr - Biederitzer Straße 5 D-39175 Biederitz / OT Heyrothsberge Abteilungsleiter: Dr. Michael Neske			
Nummer des Auftrages: 95 (3/2017)		auftraggebende Institution: Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V – Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung			
Datum des Berichtes: Dezember 2019					
Seitenzahl: 65	Bilder: *) 22	Tabellen: 6	Literaturverweise: 63		
<p>Kurzfassung:</p> <p>Die Europäische Union ist bemüht, zuerst die Reglementierung und das anschließende Verbot von poly- oder perfluorierten Chemikalien, die zur Gruppe der persistent, bioakkumulierbar, toxischen Substanzen zählen, voranzutreiben. Einige dieser fluorhaltigen Substanzen werden in Schaumlöschmitteln der Feuerwehr verwendet. Diese Schaumlöschmittel haben dadurch ein solides Löschvermögen. Alternative fluorfreie, alkoholbeständige Schaumlöschmittel sind derzeit auf dem Markt verfügbar. Über das Löschvermögen dieser Schaumlöschmittel besteht eine große Unsicherheit. Aus diesem Grund wurde 2014 ein Projekt mit dem Thema „Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Löschverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d. h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten“ durchgeführt. Das Resultat war die Feststellung, dass die verfügbaren fluorfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmittelkonzentrate bei Bränden von polaren Flüssigkeiten in Kleinlöschversuchen gleichwertig dem von Feuerwehren bevorzugten Schaumlöschmittel Aqueous Film Forming Foam sind. Die Realitätsnähe der Kleinlöschversuche ist jedoch fraglich.</p> <p>In diesem Forschungsprojekt werden auf der Grundlage des IMK-Berichtes Nr. 187 zwei fluorfreie, alkoholbeständige Schaumlöschmittel einem fluorhaltigen, alkoholbeständigen Vergleichsschaumlöschmittel gegenübergestellt, wobei die Löschintensität variiert wird. Die Löschintensität ist definiert als der Volumenstrom an Schaum bezogen auf die Brandfläche. In diesem Bericht werden Flüssigkeitsbrände mit Brandflächen zwischen 1,70 m² und 4,52 m², unter Verwendung von Brunnenwasser und Technik der Feuerwehr gelöscht. Die aus diesen Experimenten gewonnenen Ergebnisse werden untersucht.</p>					
<p>Schlagwörter:</p> <p>Schaumlöschmittel, polare Flüssigkeiten, fluorfrei, Löschintensität, Löschzeit, Rückbrandbeständigkeit, Leitfähigkeit, Drainage, Verschäumung, Feuerwehrtechnik, Schaumrohr, Zumischer</p>					

*) Farbseiteninformationen des Forschungsberichtes auf CD-ROM können bei Kostenerstattung von 5 € beim IBK Heyrothsberge, Abteilung Forschung - IdF -, Biederitzer Str. 5, 39175 Biederitz / OT Heyrothsberge, abgefordert werden.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbolik	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
1 Einleitung	7
2 Aktuelle Sachlage zu den fluortensidfreien Schaumlöschmitteln	9
2.1 Stand der PFC Problematik	9
2.2 Untersuchungen zu fluortensidfreien, alkoholbeständigen Schaummitteln	10
2.3 Übersicht zu verfügbaren fluortensidfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmitteln	13
2.4 Datenerhebung bei deutschen Feuerwehren	16
3. Löschintensität von Schaumlöschmitteln	19
3.1 Definition der Löschintensität	19
3.2 Mindestapplikationsrate (MAR) und Taktische Löschintensität (TALIS)	22
3.3. Volumenstrom (flow rates) nach Grimwood	23
3.4 Aufbringrate nach DIN EN 13565-2 [54]	24
3.5 Applikationsrate nach US-Norm NFPA 11 [55]	24
3.6 Abweichung durch Runderlass in Frankreich	25
3.7 Osteuropäische Länder	25
4 Experimentelle Basis	26
4.1 Brennstoffe	26
4.2 Fluorfreie alkoholresistente Schaumlöschmittelkonzentrate	27
4.3 Versuchsaufbau	28
4.4 Versuchsdurchführung	30
5 Ergebnisse der Brandversuche	33
5.1 Verschäumungszahl und Wasserhalbwertzeit	33
5.2 Löschzeiten	36
5.3. Rückbrandbeständigkeit	38
6 Löschintensität	42
7 Zusammenfassung	47
8 Hinweise für die Feuerwehr	51
9 Literatur	52

Anhang	57
A1: Marktanalyse aller fluorfreien Schaumlöschmittel 2018/2019	57
A2: Abfrageergebnis zur Vorhaltung von Schaumlöschmitteln (FFF) für unpolare Brennstoffe bei Freiwilligen Feuerwehren	59
A3: Marktanalyse zum Bioethanol	59
A4: Spezifikation Isopropanol	60
A5: Spezifikation Aceton	61
A6: Anordnung Thermoelemente in der Brandwanne	62
A7: Überprüfung der Parameter vor dem Schaumstrahlrohr S 2 mit Zumischer Z 2	62
A8: Position der Schaumrutsche und Ausrichtung des Schaumstrahlrohrs	63
A9: Videodokumentation zur Bestimmung der Schaumeigenschaften	63
A10: Mittlere Löschzeiten für Kleinlöschversuche [5]	64
A11: 99 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$	64
A12: 99 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$	65
A13: 99 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$	65

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbolik

Abkürzung	Erklärung
AFFF	Aqueous Film Forming Foam (wasserfilmbildende Schaummittel)
AFKzV	Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung
Class A	Schaumlöschmittel für die Brandklasse A
CLP	Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures (Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen)
EPA	Environmental Protection Agency
ETBE	Benzinadditiv Ethyltertiärbutylether
EU	Europäische Union
FFF	Fluorine Free Foam (fluorfreier Schaum)
FFF-AR	Fluorine Free Foam-Alcohol Resistant (fluorfreier, alkoholbeständiger Schaum)
FW	Feuerwehr
IBK	Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge
IMK	kurz für Innenministerkonferenz (bezogen auf Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung)
IPA	Isopropanol
IPEN	The International POPs Elimination Network (IPEN, globales Netzwerk von NROs zur Beseitigung der POPs)
LASTFIRE	Large Atmospheric Storage Tanks (Große offene Tanklager, Durchmesser > 10 m)
LK	Landkreis
MAR	Mindestapplikationsrate
MBS	Mehrbereichsschaumlöschmittel
NFPA	National Fire Protection Association
NMP	N-Methyl-2-pyrrolidon
NPFC	Naval Publications and Form Center
P	Proteinschaumlöschmittel
PBT	persistent (P), bioakkumulierbar (B), toxisch (T)
PFC	Poly- oder perfluorierte Chemikalien
PFAS	Per und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFOA	Perfluorooctansäure
PFOS	Perfluorooctansulfat
POP	persistent organic pollutant (persistenter organischer Schadstoff),
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Verordnung der Europäischen Union über die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)
RPI	Resource Protection International
S	Synthetisches Schaumlöschmittel
TALIS	Taktische Löschintensität
VZ	Verschäumungszahl
WFVD	Bundesverband Betrieblicher Brandschutz Werkfeuerwehrverband Deutschland e.V.
WHZ	Wasserhalbwertzeit
WIS Munster	Wehrwissenschaftliche Institut für Schutztechnologien Munster

WVZ Wasserviertelzeit

Symbolik	Erklärung
$A_{\text{Brandfläche}}$	Brandfläche
$A_{\text{Brandraumfläche}}$	Fläche des brennenden Raumes
CL	Korrekturfaktor für die eintretende Schaumzerstörung durch Entwässerung sowie den Brand
CN	Korrekturfaktor für den Verlust von Schaum durch Gebäudeöffnungen
f_c	Korrekturfaktor von Löschkategorie des verwendeten Schaummittels und der Flüssigkeitstiefe
f_h	Korrekturfaktor für den Abstand der Schaumdüsen vom Brandgut
f_o	Korrekturfaktor für Objekt der Lagerung
F_{dwe}	Volumenstrom
k	Korrekturfaktor
$I_{\text{Lösch}}$	Löschintensität
$I_{\text{Lösch,opt}}$	optimale Löschintensität
$I_{\text{Lösch,prakt}}$	praktische Löschintensität
$m_{\text{Lösch}}$	Löschmittelmasse
p	Druck
\bar{p}	gemittelter Druck
q	Mindest-Aufbringrate
\dot{q}	Wärmestromdichte
q_{th}	Nenn-Aufbringrate
\bar{Q}	gemittelter Durchfluss
R	Schaumaufbringrate
R1, R2, R3	Wärmestromsensoren 1, 2, 3
t	Zeit
$t_{\text{Lösch}}$	Löschzeit
T	Füllzeit
T	Temperatur
$T_{\text{Brennstoff}}$	Temperaturen des Brennstoffs
T_{Schaum}	Temperaturen des Schaums
T_F	Flammpunkt
T_S	Siedetemperatur
T_Z	Zündtemperatur
$V_{\text{Lösch}}$	Löschmittelvolumen
V	Füllvolumen des Objekts
VZ	Verschäumungszahl
WHZ	Wasserhalbwertzeit
WVZ	Wasserviertelzeit

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der identifizierten fluorfreien Schaumlöschmittel [41])	13
Abbildung 2: Herkunft der Teilnehmer nach Bundesländern	16
Abbildung 3: Zusammensetzung der Werkfeuerwehren an der Umfrage	17
Abbildung 4: Abfrageergebnis a) Vorhaltung von FFF-AR b) Vorhaltung von AFFF-AR bei Freiwilligen Feuerwehren	18
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Löschintensität als Funktion der Löschzeit (vgl. [48])	20
Abbildung 6: Schematische Darstellung des flächenbezogenen Löschmittelvolumens ($I_{\text{Lösch}} \cdot t_{\text{Lösch}}$) als Funktion der Löschintensität (vgl. [48])	21
Abbildung 7: Schematischer Aufbau des Versuchs	28
Abbildung 8: Experimenteller Aufbau des Versuchs	29
Abbildung 9: Wasserversorgung zur Schaumerzeugung	30
Abbildung 10: Beispiel für den Versuchsablauf eines Experiments zur Bestimmung der Löschintensität	31
Abbildung 11: Leitfähigkeit als Funktion der Zumischrate für die untersuchten Schaumlöschmittel	35
Abbildung 12: Löschzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf 3 Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$	36
Abbildung 13: Löschzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf 3 Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$	37
Abbildung 14: Löschzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf 3 Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$	38
Abbildung 15: 25 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$	39
Abbildung 16: 25 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$	40
Abbildung 17: 25 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$	41
Abbildung 18: Löschintensität in Abhängigkeit von Löschzeit bei Anwendung von drei Schaumlöschmitteln auf Aceton	43
Abbildung 19: Löschintensität in Abhängigkeit von Löschzeit bei Anwendung von drei Schaumlöschmitteln auf Isopropanol	44
Abbildung 20: Löschintensität in Abhängigkeit von der Löschzeit bei Anwendung von drei Schaumlöschmitteln auf Bioethanol	45
Abbildung 21: Normierte Löschzeit in Abhängigkeit von der Brandfläche bei Anwendung von zwei Schaumlöschmitteln auf drei Brennstoffen (Normierung auf das Vergleichsschaumlöschmittel, rote Linie = das Vergleichsschaumlöschmittel)	48
Abbildung 22: Normierte 25 %-Rückbrandzeit in Abhängigkeit von der Brandfläche bei Anwendung von zwei Schaumlöschmitteln auf drei Brennstoffen (Normierung auf das Vergleichsschaumlöschmittel, rote Linie = das Vergleichsschaumlöschmittel)	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die alkoholbeständigen, fluorfreien Schaumlöschmittel.....	15
Tabelle 2: Übersicht der normativen Löschintensität für die verschiedenen Schaumarten [50]	22
Tabelle 3: Übersicht der ausgewählten Brennstoffe und ihrer Eigenschaften	26
Tabelle 4: Übersicht zu den ermittelten Verschäumungszahlen VZ	33

Tabelle 5: Übersicht der mittleren Wasserviertelwertzeiten (WVZ) und Wasserhalbwertzeiten (WHZ)	34
Tabelle 6: Parameter der Kurvenanpassung ($I_{\text{Lösch}} = A \cdot t_{\text{Lösch}}^B$)	46

1 Einleitung

Die Europäische Union (EU) ist stärker als je zuvor bemüht, schnellstmöglich zuerst die Reglementierung und dann das anschließende Verbot von poly- oder perfluorierten Chemikalien (kurz: PFC), die zur Gruppe der persistent, bioakkumulierbar, toxischen Substanzen (PBT-Substanzen) zählen, voranzutreiben. Dies zeigt sich u. a. darin, dass nicht nur die Substanz Perfluorooctansulfat (PFOS) sondern nunmehr auch die Substanz Perfluorooctansäure (PFOA) durch europäische Richtlinien und Verordnungen von der Reglementierung bzw. dem Verbot [1-3] betroffen sind. Dieser Prozess hat erst begonnen. Grundlage hierfür sind die EU-Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, kurz: REACH) und die EU-Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung (Classification, Labelling and Packaging, kurz CLP) von Stoffen und Gemischen. Im Fokus der Umweltbehörden stehen weitere verdächtige PBT-Substanzen [4], die als kritisch für Umwelt und Natur gelten (vgl. REACH und CLP) und zu denen auch viele der PFC zählen, sodass diese möglicherweise zukünftig beschränkt oder verboten werden.

Einige dieser fluorhaltigen Substanzen werden in Löschmitteln der Feuerwehr, resp. in den Schaumlöschmitteln, verwendet. Diese Schaumlöschmittel haben dadurch ein solides Löschvermögen. Das Einsatzspektrum der PFC ist vielfältig. Sie werden z. B. in der Galvanik oder im Haushalt (Reinigungsmittel, Kosmetika) verwendet. Der Mengenanteil im Schaumlöschmittel ist zwar gering, jedoch steht dem gegenüber die deutschlandweite Verbreitung der fluorhaltigen Schaumlöschmittel bei den Feuerwehren und die sofortige Schädigung der Umwelt einschließlich eines hohen Sachschadens infolge der Grundwasser- und Bodenkontamination im Schaumeinsatzfall. Das PFOS ist hierbei direkt als aktives Tensid in den Schaumlöschmitteln enthalten. Nach der Reglementierung des PFOS wichen viele Verwender der PFOS auf kurzkettigere oder nicht vollständig fluorierte (polyfluorierte) PFC aus, die nicht so stark zur Anreicherung in Organismen neigen wie das PFOS. Die Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) oder Verbindungen wie die polyfluorierte 6:2-Fluortelomersulfonsäure (6:2 FTSA oder als H4PFOS) sind zwei typische Vertreter. Das PFOA dagegen tritt nicht als aktives Tensid in den Schaumlöschmitteln auf. Es ist eine Verunreinigung der C8-basierten Fluortelomere. Die von der EU verbotenen Substanzen PFOS und PFOA sind nachweislich karzinogen sowie toxisch und weisen eine hohe Persistenz auf (vgl. [5]). Ein natürliches Vorkommen eines Großteils der PFC existiert nicht.

Aufgrund der genannten Sachverhalte wurde im Jahr 2014 die Durchführung des durch den Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (kurz AFKzV) geförderten Projekts mit der Berichtsnummer 187 zu diesem Thema beauftragt. Hier sollte geklärt werden, inwieweit Feuerwehren auf alternative Löschschaummittel insbesondere bei flüssigen polaren Brennstoffen zurückgreifen können bzw. ob diese fluorfreien Löschmittel ein Ersatz für die bisherig angewendeten fluorhaltigen Schaumlöschmittel bei den Feuerwehren sind.

Im genannten Projekt „Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Löschverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d. h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten“ [5] konnte mittels Kleinlöschversuchen gezeigt werden, dass die derzeit auf dem europäischen Markt verfügbaren fluorfreien und alkoholbeständigen Schaumlöschmittelkonzentrate dem von Feuerwehren bevorzugten Schaumlöschmittel Aqueous Film Forming Foam (wasserfilmbildende Schaummittel, kurz AFFF) gleichwertig sind, wenn diese bei Bränden von polaren Flüssigkeiten angewendet werden.

Die Unsicherheit bei Feuerwehren ist jedoch weiterhin groß. Die Umstellung erfolgt zum einen wegen des finanziellen Aufwands nur zögerlich. Die gesamte bisher verwendete Löschtechnik (wie Löschmitteltanks, Verteiler, Zumischer usw.) kann mit dem PFOS bzw. PFOA kontaminiert sein, sofern sie mit dem fluorhaltigen Schaummittel Kontakt hatte und muss aufgrund der Kontamination erneuert werden. Zum anderen sind auch Fragen der rechtlichen Belangbarkeit (vgl. [6-8]) hemmende Gründe der Umstellung. Ebenso werden Normen und Richtlinien hinsichtlich ihrer Realitätsnähe in Frage gestellt und verstärken dadurch die Unsicherheit bei den Feuerwehren. Viele Feuerwehren vermuten z. B. hinter der DIN EN 1568-4 ein Normungsverfahren zugunsten der Schaumlöschmittelhersteller und nicht der Endanwender, d. h. der Feuerwehren. Fragen zum verwendeten Wasser (kein Trinkwasser oder künstliches Seewasser), zur Schaumerzeugung (kein Premix), zur eingesetzten Technik (Feuerwehrtechnik), zur mechanischen Belastbarkeit des erzeugten Schaums usw. werden zunehmend gestellt, weil sie nicht hinreichend in der Norm widerspiegelt werden. Ebenso wird bemängelt, dass die in der Norm [9] vorgeschriebene flächenmäßige Größe des Flüssigkeitsbrandes die Realität nicht adäquat widerspiegelt. Dies fundiert nicht nur auf der Kenntnis, dass auf den Straßen fahrende Transportfahrzeuge größere Kapazitäten an Kraftstoff (bis zu 1500 l, z. B. [10]) tanken können, sondern auch auf dem Sachstand, dass 64 % der Gefahrstofftransporte über die Straßen erfolgt [11] und ein Teil davon in Unfällen mit Bränden verwickelt sind [12-14].

Infolgedessen ist die Anwendung von fluorfreiem Schaum als Löschmittel weiterhin von maßgeblicher Bedeutung in der Brandbekämpfung. In diesem Forschungsprojekt werden auf der Grundlage des IMK-Berichtes Nr. 187 [5] zwei fluorfreie Schaumlöschmittel einem fluorhaltigen Vergleichsschaumlöschmittel gegenübergestellt, wobei die Löschintensität variiert wird. Die Löschintensität ist definiert als der Volumenstrom an Schaum bezogen auf die Brandfläche. Im vorangegangenen Bericht [5] betrug die Größe der Brandfläche ausschließlich 0,25 m². Im hier vorgestellten Bericht werden Flüssigkeitsbrände mit Brandflächen zwischen 1,70 m² und 4,52 m² untersucht. Es wird wieder das am Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge (kurz: IBK) vorhandene Brunnenwasser zur Schaumerstellung genutzt. Jedoch wird die Technik der Feuerwehr zur Schaumerzeugung verwendet, um realistische Feuerwehrbedingungen abbilden zu können. Im Ergebnis soll die optimale Löschintensität ermittelt werden, um den Feuerwehren eine Kenngröße für den Löscheinsatz zur Verfügung zu stellen.

2 Aktuelle Sachlage zu den fluortensidfreien Schaumlöschmitteln

2.1 Stand der PFC Problematik

Nachdem die Richtlinie 2006/122/EG (Reglementierung von PFOS) [1] im Jahr 2006 durch das Europäische Parlament beschlossen wurde, begann sich der Markt der verfügbaren Löschschaummittel hinsichtlich der verwendeten PFC langsam zu wandeln. Im Jahr 2017 erfolgte dann die Reglementierung des zweiten zu den PFC gehörenden Stoffs, dem PFOA [3]. Die Hersteller von Schaumlöschmitteln versuchten indes der Problematik zu entgehen, indem sie die per- oder polyfluorierten Kohlenstoffketten in den Tensiden auf sechs Kohlenstoffatome (C6-Löschschaummittel) verkürzten [15]. Damit begannen die Unsicherheiten bei den Feuerwehren hinsichtlich der Löschwirksamkeit [16].

Es werden weitere Reglementierungen der PFC folgen, die auch die verkürzten per- und polyfluorierten Kohlenstoffketten in Tensiden beinhalten [16-18]. Die Organisation „The International POPs Elimination Network (IPEN)“ fordert zudem in ihrem 2018 veröffentlichten Positionspapier [19] ein weltweites Verbot von PFC. Sie setzen sich für die Reduzierung toxischer Stoffe in der Umwelt ein und begründen das Verbot im genannten Positionspapier.

Neben den Untersuchungen des IBK gab es auch einen Vorstoß, den Feuerwehren die Unsicherheiten hinsichtlich der Einsatzfähigkeit von fluorfreien Löschschäumen zu nehmen. Das Wehrwissenschaftliche Institut für Schutztechnologien (WIS Munster) und die Universität zu Köln forschten an der Verwendung von Siloxantensiden als Tensidersatz [20-21] und entwickelten ein alternatives PFC-freies Schaumlöschmittel. Die Forschungsergebnisse zeigten positive Ergebnisse, auch wenn das entwickelte Löschmittel vornehmlich auf unpolaren Brennstoffen (z. B. Diesel, Flugturbinentreibstoff, F-34) getestet wurde. Der auf Siloxantensid basierende Löschschaum soll nahezu an die Löscheinleistungen und Rückbrandbeständigkeiten der AFFF-Schäume heranreichen und sonstige fluorfreie Schäume sogar übertreffen. Dabei wurde auch die Bildung eines Wasserfilms überprüft und bestätigt. Bis zum derzeitigen Stand ist der entwickelte Schaum allerdings nicht als Produkt am Markt verfügbar. Es bleibt abzuwarten, wie die Entwicklungen fortschreiten.

Umgang mit der Fluor-Problematik

Der Beantwortung der Frage, wie mit der Fluor-Problematik umgegangen werden soll, haben sich auf internationaler Ebene verschiedene Akteure gewidmet. Die Ansätze unterscheiden sich nicht nur von Land zu Land, sondern auch von Feuerwehr zu Feuerwehr. Teilweise sind sie politisch geprägt oder durch die Überzeugungsarbeit von Schaummittelerzeugern/-vertreibern beeinflusst. Nachfolgend soll der vielseitige Umgang mit der Fluor-Problematik in einigen Beispielen verdeutlicht werden.

Im Bundesstaat Südaustralien wurde mit der ersten Antragstellung im Jahr 2017 ein komplettes Verbot von per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (kurz: PFAS) in Feuerlöschschäumen (mit Wirksamkeit ab dem 30. Januar 2018) erlangt. Speziell die Umweltschutzagentur (Environmental Protection Agency, kurz EPA) drängte auf dieses

Verbot und erhielt großen Zuspruch aus der Bevölkerung, da diese insbesondere Angst vor einer Kontamination des Trinkwassers hatte [22-23].

Zeitgleich sollte im US-Bundesstaat Washington ein Verbot von PFAS-haltigen Feuerwehrlöschschäumen erfolgen. Das Verbot wurde vom Senat verabschiedet und fand Unterstützung im Unterhaus. Jedoch überzeugten zwei Schaummittelhersteller das Umweltkomitee, dass in Hochrisikobereichen bei einem strikten PFAS-Verbot Brände nicht zu löschen wären. Letztlich führte dies zu der Tatsache, dass fluorhaltige Schaumlöschmittel für diese Hochrisikobereiche weiterhin zugelassen sind. Dazu zählen Flughäfen, Militärische Anlagen, Raffinerien und die chemische Industrie [23]. In Deutschland verfahren die Feuerwehren ähnlich kontrovers. Die Flughafenfeuerwehr Köln/Bonn (Flughafen „Konrad Adenauer“) verwendet ihr fluorhaltiges Schaumlöschmittel seit 2014 [23] nicht mehr. Im Gegensatz dazu erweckte Warmbier (Bundesverband Betrieblicher Brandschutz) mit seinem Vortrag auf der vfdb-Jahresfachtagung 2016 Hoffnungen, dass auch in den nächsten 20 Jahren eine Umstellung auf fluorfreie Schaumlöschmittel nicht erforderlich sei [24]. Schmid (LyondellBasell) stellte im gleichen Jahr ein Konzept für drei kooperierende Werkfeuerwehren [25] vor, bei dem sowohl fluorhaltige als auch fluorfreie Schaumlöschmittel vorgehalten werden. Das fluorhaltige Schaumlöschmittel wird dabei ausschließlich im Sonderfall angewendet.

2.2 Untersuchungen zu fluortensidfreien, alkoholbeständigen Schaummitteln

Aufgrund der Ungewissheit zur Löscheffektivität, insbesondere bei der Vielzahl die möglichen Brennstoffe, wurden neben theoretischen Untersuchungen zur Wasserabscheidung, Diffusionsprozessen, Zersetzung u. a. [26-28] auch Experimente mit fluorfreien Schaumlöschmitteln in unterschiedlichen Maßstäben (Klein-, Technikums- und Großlöschversuche) durchgeführt. Einige der Arbeiten befassen sich ausschließlich mit alternativen fluorfreien Schaumlöschmitteln für unpolare Brennstoffe [20, 29-31] und andere umfassen polare und unpolare Brennstoffe. Dabei sind nicht alle Ergebnisse der Öffentlichkeit zugänglich. Nachfolgend werden kurz die wesentlichen Untersuchungen zusammengefasst, in denen die Löscharbeit polarer Brennstoffe mit alkoholbeständigem fluorfreiem Schaumlöschmittel getestet wurden.

Vergleich: PFT-haltige und fluorfreie Schaumlöschmittel

Drei Werkfeuerwehren führten in eigenem Bestreben eine experimentelle Untersuchung durch [25], um sich ein von Schaummittelherstellern unabhängiges Urteil über die Löscheigenschaften bilden zu können. Hierzu wurden in rechteckigen Brandwannen (Fläche: 0,25 – 0,5 m²) mit den Brennstoffen Benzin, Rohöl und Ethanol über eine sanfte Aufgabe drei verschiedene fluorfreie Schaumlöschmittel getestet. Als Ergebnis dieser Untersuchung fiel die Entscheidung, zukünftig ein duales Schaumkonzept (Vorhaltung von fluorhaltigen und fluorfreien Schaumlöschmitteln) einzuführen.

Modifizierter LASTFIRE-Test für Tankbrände

Ein Konsortium von 16 Konzernen der Petrochemischen Industrie wurde in den späten 90iger Jahren zur Bewertung der Risiken bei großen offenen Tanklagern (Durchmesser: ~ 40 m, offenes Schwimmdach) gegründet. Das Konsortium und ihr Projekt wurde bekannt als Large Atmospheric Storage Tank Fires-Projekt (LASTFIRE-Projekt). Unter dem Begriff LASTFIRE-Test [33] sind die entwickelten Szenarien zusammengefasst, welche im Allgemeinen Fragestellungen zu Bränden von Tanklagern ab einem Durchmesser von 10 m beinhalten. Ergebnisse und Berichte werden nicht publiziert, sondern stehen vornehmlich dem Konsortium zur Verfügung.

Im mittleren Maßstab wurde ein optimierter LASTFIRE-Test für Tankbrände entwickelt. Dieser Test soll die Kritik an den bisherigen Teststandards (DIN-EN 1568, ISO 7203 etc.) beseitigen. Der optimierte LASTFIRE-Test berücksichtigt Einflussgrößen eines Tankbrandes wie heiße Tankwandflächen, Hindernisse im Tank, Brennstofftiefe u. ä. Weiterhin befindet sich keine Wasservorlage im Tank bzw. um den Tank herum keine Kühlung. Hierzu existieren kaum Veröffentlichungen.

Ein Beispiel für einen Vergleich von fluorfreien mit fluorhaltigen, alkoholbeständigen Schaumlöschmitteln zeigt allerdings [33]. Der Test wurde von der Firma Febbex mit Unterstützung der Werkfeuerwehr BASF durchgeführt. Als Brennstoff wurden 1000 l n-Heptan bzw. Isopropanol verbrannt. Der Tank (Durchmesser: ca. 0,8 m, Höhe: ca. 1,2 m) wies eine verschlossene Revisionsöffnung (Mannloch) als Hindernis auf, welche die Brandbekämpfung erschwerte. Das Testschaumrohr arbeitete bei 6,5 bar und mit einer Applikationsrate von 8 l/min. Die Vorbrennzeit betrug 10 min. Die Schaumaufgabe wurde abgebrochen, sobald das Feuer gelöscht war. Der Isopropanol-Brand wurde in weniger als 6 min gelöscht. Der n-Heptan-Brand wurde wesentlich schneller (2 min 20 s) gelöscht. Weitere Auswertungen oder Darstellungen der Ergebnisse sind seitens des Schaummittelherstellers nicht öffentlich verfügbar. Ebenso ist unbekannt, ob Wiederholungsversuche und eine Brennstoffnachfuhr während der Versuche stattgefunden haben.

Bei der Betrachtung der Febbex-Ergebnisse ist zu beachten, dass ausnahmslos die direkte Aufbringung als Aufbringart gewählt wurde. Bei dieser Aufbringart unterliegen fluorfreie, alkoholbeständige Schaumlöschmittel dem alkoholbeständigen AFFF-Schaumlöschmittel. Diese Erkenntnis war durch vorherige Forschungen bereits bekannt. Damit werden die schlechten Ergebnisse des fluorfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmittels relativiert.

Eine indirekte Applikation kann bessere Löscherfolge erzielen, da der Pick-up-Effekt bei dieser Applikationsart kaum auftritt und somit die Schaumzerstörung durch den anhaftenden Brennstoff nicht eintreten kann. Im Allgemeinen ist bei der indirekten Schaumaufgabe die Fließfähigkeit des Schaumlöschmittels entscheidend.

Vergleich von fluorfreien Schaumlöschmitteln

Resource Protection International (RPI) veröffentlichte im Jahr 2012 in ihrem Bericht [34] die Ergebnisse einer Testreihe, die auf dem Gelände des Falck Nutec Training

Centre ausgeführt wurden. RPI tritt dabei als unabhängige Kontrollinstanz auf. Der Vergleich wird von der RPI im Bericht nicht bewertet.

Die Hersteller The Solberg Company, Fabrik chemischer Präparate Dr. Richard Sthamer GmbH & Co. KG, Dafo Fomtec AB und Bioex stellten für den Vergleich insgesamt fünf verschiedene Schaummittel zur Verfügung. Heptan, Jet A1, Isopropanol (IPA) und Aceton wurden als Brennstoffe verwendet. Die 38 Tests wurden z. T. nach den Vorgaben der Hersteller durchgeführt. Dabei wichen die Herstellervorgaben von der entsprechenden Normung ab. Die Versuche wurden bei Umgebungstemperaturen zwischen 10,5 °C bis 14,7 °C durchgeführt. Weiterhin kamen zwei Schaumrohre (Standard UNI86-Strahlrohr [36 - 38], modifiziertes Strahlrohr ähnlich dem MIL-F24385-Standard) zum Einsatz. Dabei ist das UNI86-Strahlrohr gekennzeichnet bei Prüfung mit Wasser durch einen Durchfluss $\bar{Q} = 11,4$ l/min bei einem Druck $p = (6,3 \pm 0,3)$ bar an der Düse [36 - 38]. Das durch innere Umbauten modifizierte Strahlrohr der MIL-F24385 (regulär: $\bar{Q} = 7,57$ l/min, $p = 6,9$ bar [39]) wird charakterisiert bei Prüfung mit Wasser durch einen Durchfluss $\bar{Q} = 11,4$ l/min bei einem Druck $p = 2,76$ bar an der Düse [34]. Durch die Verwendung des modifizierten Strahlrohres sollte die Realitätsnähe verbessert werden. Die Tests folgten den Teststandards nach DIN EN 1568 Teil 3 und 4 [9, 36] sowie ICAO B [40]. In den Versuchen nach EN 1568 Teil 3 wurden mit indirekter und direkter Aufbringung, in den Versuchen nach EN 1568 Teil 4 nur mit indirekter Aufgabe und in den Versuchen nach ICAO B nur mit direkter Aufbringung des Schaumes getestet. Um die Brandwannen herum wurden Wände gestellt, um den Einfluss des Winds zu begrenzen. Die Brandwannen standen dabei auf dem Boden. Als Brandwanne wurden Wannen mit einer Fläche von 4,5 m² (Teil 3 und ICAO B) und von 1,73 m² (Teil 4) genutzt. Die Brennstoffe sind nach den Teststandards ausgewählt worden. So wurde für Teil 3 Heptan, für Teil 4 Aceton und IPA und für den ICAO Class B Test Jet A1 genutzt. Als Löschintensität wurde 6,59 l·min⁻¹·m⁻² bei der kleineren Wanne und 2,53 l·min⁻¹·m⁻² bei der großen Wanne genutzt. Der Schaum ist als Premix von einer Pumpe mit der Durchflussrate von 11,4 l/min und einem Druck $p = 6,3$ bar zum Schaumrohr gefördert worden. Bei dem modifizierten Strahlrohr wurde ein Durchfluss von 11,4 l/min, ein Druck $p = 6,9$ bar und eine Löschintensität von 7,57 l·min⁻¹·m⁻² erreicht. Die jeweiligen Schaumkonzentrate sind mit 0,5 l beprobt und im Labor auf ihre Eigenschaften untersucht worden.

Da im vorliegenden Bericht keine Wertung der Ergebnisse vorgenommen wurde, erfolgt nachfolgend eine eigene Bewertung.

- Das modifizierte Strahlrohr führte i. d. R. zu geringeren Wasserviertelzeiten (WVZ). Daraus wird geschlossen, dass die inneren Anpassungen des Strahlrohres die Schaumerzeugung negativ beeinflussen.
- Zwei der fünf Schaummittel löschten bei den Versuchen nach der DIN EN 1568-3 (Heptan) nicht. Drei Schaummittel konnten eine Klassifizierung nach DIN EN 1568-3 erreichen.
- Bei den Versuchen der DIN EN 1568 Teil 4 (Aceton und IPA) wurden für Aceton kürzere Löszeiten und längere Rückbrandzeiten als für IPA erzielt. Zwei Versuche mit IPA führten zu keinem Löscherfolg.

- Keines der Schaummittel erreichte die Anforderungen nach ICAO B. In einigen Versuchen wurde der Brand gelöscht, jedoch wurden die notwendigen Kriterien für die Löschzeit und Rückbrandbeständigkeit der ICAO B nicht eingehalten.
- Zu diesem Zeitpunkt (Berichtsjahr 2012) war die Löscheffektivität der getesteten Schaumlöschmittel unbefriedigend.

2.3 Übersicht zu verfügbaren fluortensidfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmitteln

Im Rahmen dieses Projektes wurden im Abstand von 18 Monaten zwei Marktanalysen [41-42] durchgeführt, welche die international zurzeit verfügbaren fluorfreien Schaumlöschmittel identifizieren sollten. Die aktuellen Rechercheergebnisse [41] werden nachfolgend dargestellt und mit der ersten Recherche [42] verglichen sowie diskutiert. Alle identifizierten fluorfreien Schaumlöschmittel sind im Anhang A1 aufgelistet.

Insgesamt 135 fluorfreie Schaumlöschmittel sind in der aktuellen Recherche [41] am Markt verfügbar. Dazu zählen alle Schaumlöschmittel, die zur Brandbekämpfung durch die Feuerwehren geeignet sind und nach Herstellerangaben frei von PFC sind.

Bei der Aufzählung sind Schaumlöschmittel, die ausschließlich für die Brandbekämpfung von Fettbränden, mit stationären Anlagen sowie bei Gefahrguteinsätzen verwendet werden, nicht berücksichtigt. Weiterhin werden Übungsschaummittel und vorgemischte Wasser-Schaummittellösungen für Handfeuerlöscher nicht berücksichtigt.

Auch bieten Hersteller häufig ein Schaumlöschmittel in unterschiedlichen Varianten (z. B. Zumischungen) an. In diesem Fall wurde jede Variante als eigenes Schaummittel gezählt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.

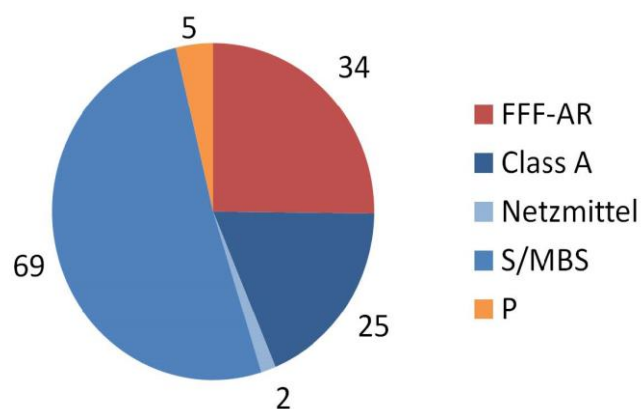


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der identifizierten fluorfreien Schaumlöschmittel [41])

Von 135 fluorfreien Schaumlöschmitteln sind laut Herstellerangaben 34 Schaumlöschmittel für die Verwendung auf polaren Flüssigkeiten (FFF-AR) geeignet. Von diesen konnten etwa 25 Schaumlöschmittel die Zertifizierung nach DIN EN 1568-4 [9] vorweisen. Bei einigen Schaumlöschmitteln aus der Gesamtmenge von 135

fluorfreien Schaummittel konnte nicht zweifelsfrei festgestellt werden, für welche Flüssigkeitsbrände sich diese eignen. Manche Hersteller erwähnen die Eignung für unpolare bzw. polare Stoffe ohne einen entsprechenden Nachweis. Diese sind hier nicht mitberücksichtigt.

Weiterhin wurden 25 Class A-Schaumlöschmittel (Class A), 2 Netzmittel und 5 Proteinschaumlöschmittel (P) miterfasst. In der Gruppe Synthetische Schaumlöschmittel/Mehrbereichsschaumlöschmittel (S/MBS) wurden alle Schaumlöschmittel zugeordnet, die in ihren Produktblättern dies angegeben haben. Insgesamt waren von den 135 fluorfreien Schaumlöschmitteln etwa die Hälfte der Produkte nach DIN EN 1568 zertifiziert. Einige Schaumlöschmittel sind speziell auf die Flugzeugbrandbekämpfung ausgelegt und verfügen so nur über eine ICAO-Klassifizierung.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass sich die Anzahl der Hersteller von fluorfreien Schaumlöschmitteln innerhalb von 18 Monaten von 12 Herstellern (2017 [42]) auf 24 Hersteller erhöht hat. Der US-amerikanische Hersteller Chemguard, der im Jahr 2017 mit fluorfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmitteln vertreten war, hat sich aus diesem Produktbereich zurückgezogen.

Seit der letzten Recherche vor 18 Monaten ist bei den fluorfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmitteln ein Zuwachs von einem weiteren Produkt zu verzeichnen. Drei fluorfreie, alkoholbeständige Produkte wurden in der ersten Studie übersehen. In der im Anhang hinterlegten Gesamtliste aller fluorfreien Schaumlöschmittel ist der Zuwachs zwischen Studie 1 und 2 fett hervorgehoben.

In der Tabelle 1 ist die empfohlene Zumischrate der Hersteller angegeben. Diese konnte nicht für jedes Produkt zweifelsfrei ermittelt werden. Auffällig ist, dass die Hersteller hier für die Zumischung entweder Bereiche (3-6 %) oder einen festen Wert (3 % oder 6 %) angeben. Es ist empfehlenswert, zukünftig auf eine Vereinheitlichung der Zumischrate zu drängen, um mögliche Fehlerquellen im Einsatzfall zu minimieren [43]. Weiterhin sind nicht alle aufgeführten Schaumlöschmittel nach der DIN 1568-4 [9] zugelassen. So sind einige Schaumlöschmittel nach LASTFIRE [32] oder ICAO [40] zertifiziert. Bei einigen Schaumlöschmitteln lagen keine Zertifizierung oder Angaben hierzu vor.

Tabelle 1: Übersicht über die fluorfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmittel

Hersteller	Schaumlöschmittel	Klasse	Empfohlene Zumischung	DIN 1568-4	Sonstige Zertifizierungen/ Bemerkungen
3F	FREEDOL	FFF-AR	3% - 6%	ja	
Aberdeen	Aberdeen 3x3 AR-F3	FFF-AR	3%	ja	
	Aberdeen 3x6 AR-F3	FFF-AR	6%	ja	
	Aberdeen 1x3% F3	FFF-AR	3%	nein	
Angus fire	Respondol ATF 3x3	FFF-AR	3%	ja	
	Respondol ATF 3x6	FFF-AR	6%	unbekannt	
Auxquima	Unipol-FF	FFF-AR	6%	ja	LASTFIRE
Bio Ex	Ecopool	FFF-AR	-	ja	LASTFIRE
	Ecopool Premium	FFF-AR	-	ja	LASTFIRE, CEREN
Dr. Stahmer	Moussol-FF	FFF-AR	3% - 6%	ja	
Eau et feu	Foam master 3F 3x3	FFF-AR	3%	ja	
	Foam master 3F 3x6	FFF-AR	6%	ja	
	Foam master 3F 6x6	FFF-AR	6%	ja	
Febbex	Ifoam	FFF-AR	-	unbekannt	
Firechem	Fluorine Free Foam Concentrate 1%	FFF-AR	-	unbekannt	
	Fluorine Free Foam Concentrate 2%	FFF-AR	-	unbekannt	
	Fluorine Free Foam Concentrate 3%	FFF-AR	-	unbekannt	
Flamestop	Ecofoam F3	FFF-AR	6%	nein	
Fomtec	ENVIRO 3x3 Ultra	FFF-AR	3%	ja	
	ENVIRO 3x3 Plus	FFF-AR	3%	ja	
	ENVIRO 3x6 Plus	FFF-AR	3%	ja	
	ENVIRO 6x6 Plus	FFF-AR	6%	ja	
	ENVIRO eMAX	FFF-AR	-	ja	
	ENVIRO ICAO	FFF-AR	3%	nein	ICAO Class B
National foam	Universal®F3 Green	FFF-AR	3%	nein	
Orchidee	Orchidex BlueFoam 1x3	FFF-AR	3%	ja	
	Orchidex BlueFoam 3x3	FFF-AR	3%	ja	
	Orchidex BlueFoam 3x6	FFF-AR	6%	ja	
	Orchidex BlueFoam 6x6	FFF-AR	6%	ja	
Phos-Check	Phos-Check 3x6 Fluorine Free	FFF-AR	6%	ja	UL, LASTFIRE
Solberg	RE-healing foam RF 3x3 ATC	FFF-AR	3%	ja	auch in Sprinkleranlagen zulässig
	RE-healing foam RF 3x6 ATC	FFF-AR	6%	ja	ICAO Klasse B und C
vsfocum	Silvara APC 3	FFF-AR	3%	ja	ICAO Level B, LASTFIRE
	Silvara APC 1	FFF-AR	3%	ja	

2.4 Datenerhebung bei deutschen Feuerwehren

Im IMK-Bericht Nr. 187 [5] wurde eine erste Datenerhebung zum Thematik der fluorfreien Schaumlöschmittel durchgeführt. Diese war beschränkt auf die Berufsfeuerwehren der Landeshauptstädte Deutschlands und der kreisfreien Städte des Landes Sachsen-Anhalt. Hinzugezogen wurde gleichfalls Teilnehmer einer Kreisbrandmeister-Weiterbildung. Diese Studie galt als Stichprobe und bedurfte einer erneuten Umfrage.

Hierzu wurde im Rahmen einer Masterarbeit [41] eine Online-Umfrage erarbeitet. In dieser sind sowohl Freiwillige Feuerwehren als auch Berufs- und Werkfeuerwehren erfasst. Ziel war es, einen Überblick über die Anwendung und Nutzung von Löschschaummitteln zu erhalten. Im Mittelpunkt standen der Umgang mit der Fluor-Problematik und den am Markt verfügbaren fluorfreien Löschschaummitteln.

Der Online-Fragebogen (vgl. [41]) war so angelegt, dass sich der Fragebogen der Freiwilligen Feuerwehren leicht von dem der Berufs- und Werkfeuerwehren unterschied. Begründet wird diese Vorgehensweise mit der hohen Anzahl der in Deutschland existierenden Freiwilligen Feuerwehren und dem Anspruch, eine Doppelerfassung zu vermeiden. Ausführlichere Informationen sind in [41] nachzulesen.

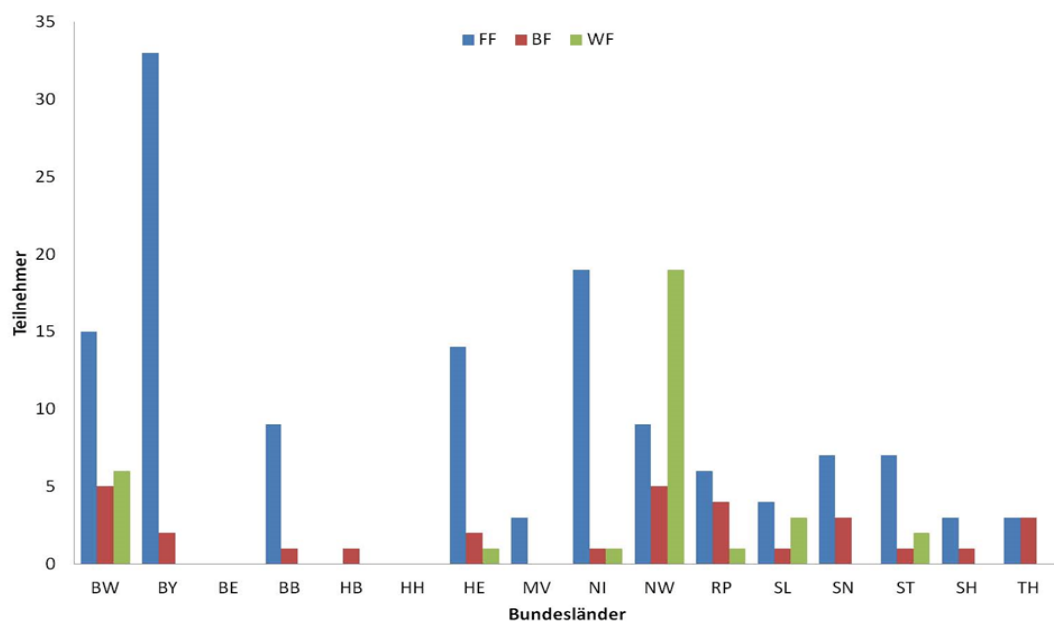


Abbildung 2: Herkunft der Teilnehmer nach Bundesländern

Um die Zielgruppen zu erreichen und nicht mit dem Datenschutz in Konflikt zu geraten, wurden zum Zeitpunkt der Umfrage alle in Deutschland existierenden Berufsfeuerwehren direkt angeschrieben. Über den E-Mail-Verteiler des Bundesverbands Betrieblicher Brandschutz Werkfeuerwehrverband Deutschland e.V. (WFVD) wurden die dem Verein angehörende Werkfeuerwehren gebeten, an der Umfrage teilzunehmen. Die Freiwilligen Feuerwehren wurden ausschließlich über das Forum „Feuerwehr.de“ [44] und die Facebook-Seiten der Zeitschriften „BRANDSchutz“ [45] sowie „FEUERWEHR“ [46] veröffentlicht. Die erhaltenen Daten werden nach 2

Monaten nach dem Projektabschluss gelöscht. Der Fragebogen gliederte sich in vier Kategorien: Teilnehmerinformation, Einsatzaufkommen, Schaumkonzept und Beschaffung.

Im Vergleich zu der vorherigen Datenerhebung im Rahmen des IMK-Projekts „Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Löschverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d. h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten“ [5] konnte bei der aktuellen Umfrage eine höhere Beteiligung erzielt werden. Dennoch ist der Anteil der teilgenommenen Feuerwehren an der Gesamtzahl mit weniger als 5 % als gering zu bewerten. Ein Rücklauf von 196 ausgefüllten Fragebögen stellte die Grundlage für die nachfolgende Auswertung dar. In Abbildung 2 ist die Verteilung der Teilnehmer nach Bundesland und Feuerwehr dargestellt.

Daraus geht hervor, dass über die gewählten Publikationswege der Online-Umfrage alle Bundesländer erreicht wurden. Lediglich die Stadtstaaten Berlin und Hamburg weisen keine Beteiligung an der Umfrage auf. Die höchste Beteiligung aus dem Bereich der Freiwilligen Feuerwehren stammt aus Bayern. Im Bundesland Nordrhein-Westfalen beteiligten sich die meisten Werkfeuerwehren, welches aufgrund der großen Anzahl der dort ansässigen Unternehmen nicht überraschend ist. Bei der Gesamtbetrachtung der Werkfeuerwehren wurde festgestellt, dass der größte Anteil mit 45,5 % der Antworten von Werkfeuerwehren der Chemischen Industrie gegeben wurde (vgl. Abbildung 3).

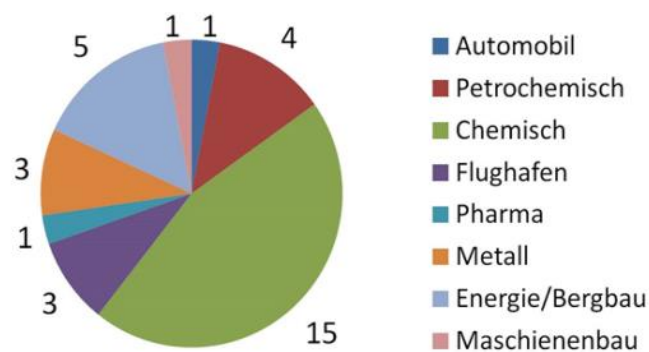


Abbildung 3: Zusammensetzung der Werkfeuerwehren an der Umfrage

Die Umfrage für die Freiwilligen Feuerwehren enthielt eine Abfrage zu den vorgehaltenen Schaumlöschmitteln. Diese Datenerhebung sollte Aufschlüsse über die realen Umsetzungen in den Feuerwehren darstellen. Trotz des Stichprobencharakters dieser erneuten Abfrage, ergeben sich doch Anhaltspunkt darüber, inwieweit die EU-Reglementierungen zu den PFC umgesetzt werden.

Die vorgehaltenen Schaummittelklassen:

- fluorfreier Schaum (FFF),
- fluorfreier, alkoholbeständiger Schaum (FFF-AR) und
- alkoholbeständigen AFFF (AFFF-AR)

wurden abgefragt und ergaben die in der Abbildung 4 a und b dargestellten Ergebnisse. Im Anhang A2 sind die Abfrageergebnisse zum fluorfreien Schaum (FFF) dargestellt.

Ein Großteil der Freiwillige Feuerwehren (78,9 %, vgl. Anhang A2) hält Schaummittel für unpolare Stoffe vor. 41,3 % der Freiwilligen Feuerwehren bevorrateten sich mit einem alkoholbeständigen Schaum. Davon haben 19,5 % der Freiwilligen Feuerwehren einen FFF-AR (vgl. Abbildung 4 a) und 21,8 % der Freiwilligen Feuerwehren ein AFFF-AR (vgl. Abbildung 4 b). Weiterhin greifen 20,3 % der Feuerwehren auf Reserven des Landkreises bzw. anderer Feuerwehren zurück.

Unsicherheit über die Eigenschaften des eigenen Schaumlöschmittels könnte der Grund für die unterbliebenen Aussagen zu dieser Fragestellung sein (vgl. Abbildungen 4a, 4b, „Keine Aussage“). Auffällig dabei ist, dass 9,8 % der Teilnehmer keine Aussagen zur Vorhaltung von AFFF-AR (s. Abbildung 4 b), 6,8 % der Teilnehmer keine Aussage zu FFF-AR (s. Abbildung 4 a) und nur 2,3 % keine Aussage zur Vorhaltung von Schaumlöschmittel für unpolare Stoffe (vgl. Anhang A2) machten. Hieraus kann geschlussfolgert werden, dass fast ein Zehntel der Einsatzkräfte sich nicht sicher war, ob fluorhaltige Schaumlöschmittel in ihrer Feuerwehr vorgehalten werden.

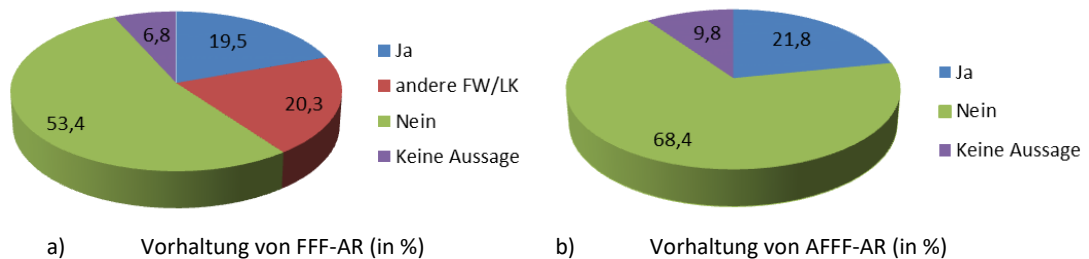


Abbildung 4: Abfrageergebnis a) Vorhaltung von FFF-AR b) Vorhaltung von AFFF-AR bei Freiwilligen Feuerwehren

Bei den Berufs- und Werkfeuerwehren wurde ausdrücklich nach den Produktnamen und Herstellern der verwendeten Schaumlöschmittel gefragt. Hierbei zeigt sich ein klarer Trend bezüglich eines Herstellers. 69,5 % der Schaummittel stammen vom gleichen Hersteller, wobei dieser einen hohen Marktanteil bei AFFF besitzt. Abweichend von diesem Trend beliefert der Hersteller nur 28,6 % der Werkfeuerwehren mit FFF-AR-Mitteln. Die Herstellervielfalt ist hier grundsätzlich höher.

Der Grund hierfür ist, dass die Werkfeuerwehren zunehmend die alkoholbeständigen fluorfreien Schaumlöschmittel in eigenen Löschtests auf ihre Wirksamkeit als Löschmittel untersuchen. Als Brennstoffe setzen sie die in ihrem Unternehmen vorhandenen (teilweise produzierten) Brennstoffe ein und erhalten dadurch Erkenntnisse über die Eigenschaften dieser von ihnen ausgewählten Schaumlöschmittel (vgl. Punkt 2).

3. Löschintensität von Schaumlöschmitteln

3.1 Definition der Löschintensität

Die Frage nach der Menge an Löschmittel, die benötigt wird, um einen Brand zu löschen, stellt sich seit Anbeginn des Feuerwehrwesens, denn der Einsatzleiter muss kalkulieren, ob die ihm zur Verfügung stehende Löschmittelmenge die Löschung des Brandes gewährleistet. Aufgrund des breiten Spektrums an Bränden und der unterschiedlichen Wirkmechanismen der Löschmittel kann diese Frage aber nicht pauschal beantwortet werden.

Infolgedessen wurde im Jahre 1983 erstmals im Zusammenhang mit Schaumlöschmitteln die Kennzahl Löschintensität publiziert [47]. Der Autor Pleß erklärt in [47]: „Unter Löschintensität wird hier das Volumen an Schaumbildnerlösung verstanden, das zum Ablöschen von 1 m² Brandfläche je Minute eingesetzt wird (Dimension: l · min⁻¹ · m⁻²).“

Weiterhin führt Pleß aus, dass durch seine experimentellen Arbeiten ein Zusammenhang zwischen der Veränderung der Brandfläche und der Löschintensität festgestellt wurde. Dieser Zusammenhang zwischen der Löschintensität und der Zeit besagt, dass mit zunehmender Löschintensität die Löschzeit kürzer wird. Ein Grenzwert für dieses Verhältnis ergibt sich bei dem Zeitpunkt, an dem die Löschintensität nicht mehr ausreicht, um die freigesetzte Wärme eines Brandes zu binden. Aus den erwähnten Untersuchungen leitet Pleß ab, dass bei der Brandbekämpfung mit Schaum die Kräfte und Mittel entsprechend berechnet werden müssen, so dass der Löscherfolg innerhalb der ersten 10 min nach dem Beginn der Brandbekämpfung erzielt wird.

Des Weiteren schlussfolgerte er aus Versuchen mit Mittelschaum, dass kein linearer Zusammenhang zwischen Löschintensität und Löschzeit besteht. Begründet wird diese Nichtlinearität mit dem Kontakt des Schaums und der Flamme. Je geringer der zeitliche Kontakt mit der Flamme ist, desto beständiger ist der Schaum, da eine geringere Zerstörung durch Wärme vorliegt. Damit wird der Löscherfolg schneller erreicht.

Aufgrund der Erkenntnis, dass höhere Löschintensitäten in kürzerer Zeit zum Löscherfolg führen und damit nahezu die gleiche Menge an Schaummittelkonzentrat wie bei niedrigeren Löschintensitäten verbraucht wird, schlussfolgert Pleß für die Taktik am Brandort: „Als taktische Forderung resultiert daraus, dass mit der am Brandort verfügbaren Löschintensität, die mindestens der geforderten Intensität für das jeweilige Löschverfahren entsprechen muss, der Löschangriff durchgeführt werden sollte.“ Anders formuliert gesagt: Eine erhöhte Anzahl an Schaumrohren verringert die Löschzeit ohne den absoluten Verbrauch an Schaummittelkonzentrat zu erhöhen. Ein Löscherfolg ist fraglich, wenn die Mindestintensität unterschritten wird. Später wurde in [48] die Löschintensität (auch als „Intensität der Zufuhr des Löschmittels“) $I_{\text{Lösch}}$ definiert und die beiden nachfolgenden Unterscheidungen in Abhängigkeit der Löschzeit $t_{\text{Lösch}}$, der Brandfläche $A_{\text{Brandfläche}}$ sowie dem Löschmittelvolumen $V_{\text{Lösch}}$ bzw. der Löschmittelmasse $m_{\text{Lösch}}$ angeben:

1. für 2-dimensional wirkende Löschmittel (Fläche):

$$I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h} = \frac{V_{L\ddot{o}s\ddot{c}h}}{A_{Brandfl\ddot{a}che} \cdot t_{L\ddot{o}s\ddot{c}h}} \quad (3.1)$$

2. für 3-dimensional wirkende Löschmittel (Volumen):

$$I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h} = \frac{m_{L\ddot{o}s\ddot{c}h}}{A_{Brandfl\ddot{a}che} \cdot t_{L\ddot{o}s\ddot{c}h}} \quad (3.2)$$

Als Flächenlöschmittel werden Wasser und Schaum sowie als Volumenlöschmittel Pulver, Gase und Wasser-Aerosole angesehen. Durch experimentelle Untersuchungen wurden die Löschintensitäten bestimmt und eine optimale Löschintensität $I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h,opt}$ ermittelt. Im Punkt der größten Anstiegsänderung der Löschintensitäts-Löschzeit-Kurve besteht die effektivste Brandbekämpfung. Dieser Punkt auf der Löschintensitätskurve wird als die optimale Löschintensität $I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h,opt}$ bezeichnet (s. Abbildung 5).

Die mathematische Bestimmung dieses Punktes erfolgt grafisch, indem an die experimentell ermittelte Löschintensitätshyperbel eine Tangente mit dem Anstieg $m = -1$ ($I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h} = m \cdot t_{L\ddot{o}s\ddot{c}h} + a$) angelegt wird. In dem Berührungspunkt liegt die optimale Löschintensität $I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h,opt}$ vor.

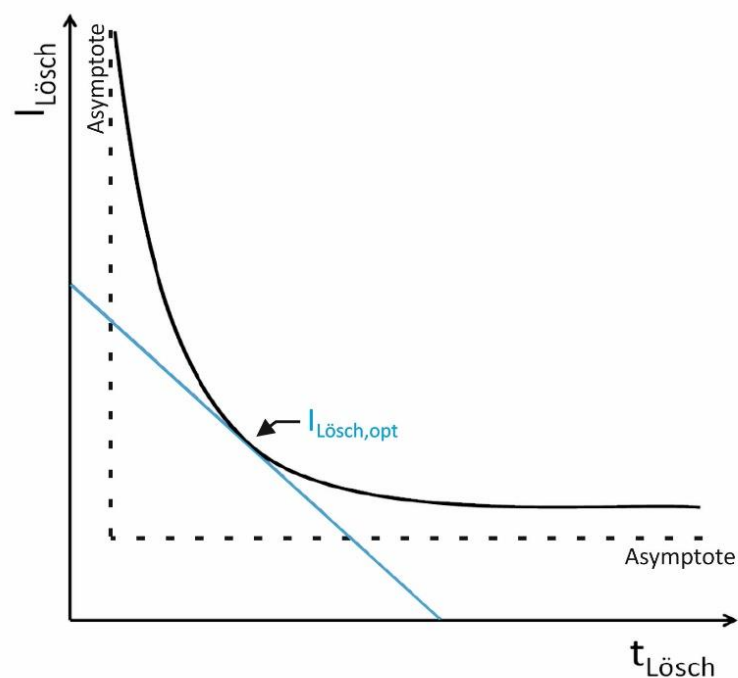


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Löschintensität als Funktion der Löschzeit (vgl. [48])

Alternativ kann die optimale Löschintensität $I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h,opt}$ über eine Kurvendiskussion der grafischen Abbildung des Produktes von Löschintensität und Löschzeit (Dimension: $l \cdot m^{-2}$ oder in $kg \cdot m^{-2}$) in Abhängigkeit von der Löschintensität ermittelt werden (vgl. Abbildung 6). In diesem Fall ist das Minimum der Kurve die optimale Löschintensität $I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h,opt}$ (vgl. Abbildung 6). Grundsätzlich ist hier ebenso am Punkt der optimalen Löschintensität $I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h,opt}$ der Löschvorgang am effektivsten.

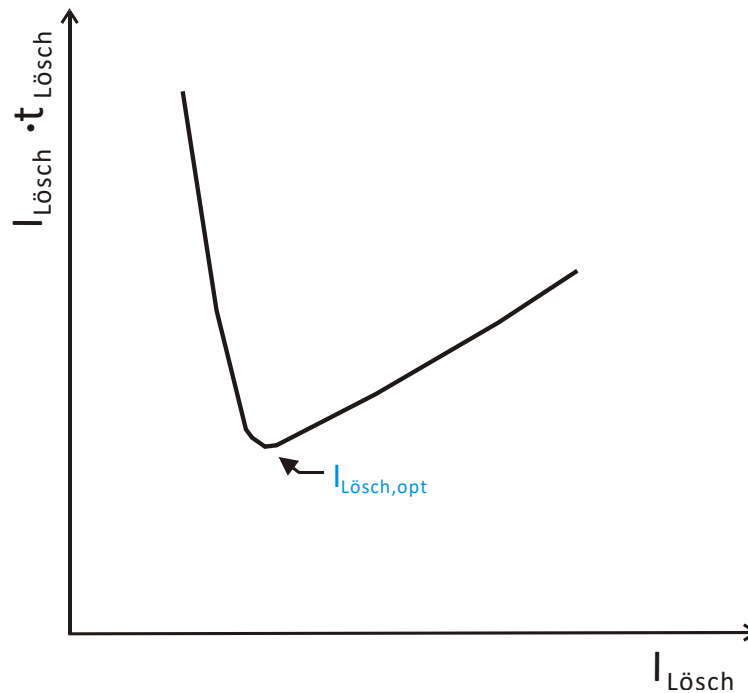


Abbildung 6: Schematische Darstellung des flächenbezogenen Löschmittelvolumens ($I_{\text{Lösch}} \cdot t_{\text{Lösch}}$) als Funktion der Löschintensität (vgl. [48])

Die optimale Löschintensität $I_{\text{Lösch,opt}}$ stellt einen unter idealisierten Bedingungen berechneten theoretischen Wert dar. Der reale Wert liegt oberhalb der Kurve. Für die reale Nutzung wurde ein Korrekturfaktor eingeführt, um die praktische Löschintensität $I_{\text{Lösch,prakt}}$ zu berechnen. Sowjetische Erfahrungswerte lieferten hierfür einen Korrekturfaktor im Bereich von 1,2 bis 2 [48].

$$I_{\text{Lösch,prakt}} = k \cdot I_{\text{Lösch,opt}} \quad (3.3)$$

mit: $1,2 \leq k \leq 2$.

Um die praktische Löschintensität auf eine Brandfläche beziehen zu können, wird hier standardmäßig eine Löschzeit von 15 Minuten angegeben. Die Löschintensitäten nach Pleß und Kretschmar können somit experimentell für einen bestimmten Brennstoff ermittelt werden. Vergleiche mit Literaturangaben sind dagegen nicht möglich.

Die grafischen Darstellungen zur optimalen Löschintensität $I_{\text{Lösch,opt}}$ lassen weitere Rückschlüsse zu. Das asymptotische Verhalten der Löschintensitätskurve legt nahe, dass eine Mindestlöschintensität existiert. Ursächlich hierfür ist das Streben der Löschzeit nach Unendlich, d.h. der Brand kann nicht gelöscht werden. Ebenso ist zu schlussfolgern, dass eine Mindestlöschzeit existieren muss, weil die Löschintensität gegen unendlich strebt.

In anderen Ländern wird ebenfalls mit dieser Definition (bspw. in Frankreich [49]) gearbeitet. Zur Berechnung der erforderlichen Löschintensitäten werden Erfahrungswerte unter Berücksichtigung von taktischen Tatbeständen (nicht gleichmäßige Ausbreitung des Schaumes) und instationäre Bedingungen (hohe Flammeneinwirkung zu Beginn im Gegensatz zu geringer Flammeneinwirkung zum Ende

des Löschangriffs) herangezogen [48, 50]. Auch hier wird ein Korrekturfaktor von 1,2 bis 2 angegeben. Eine Korrektur aufgrund der Eigenschaften des flüssigen Brennstoffs erfolgt nicht.

Die praktische Löschintensität bezogen auf 1 m^2 wird gleichfalls als normative Intensität bezeichnet und ist die nutzbare Berechnungsgrundlage für den Förderstrom an Schaumlöschmittellösung. Sie ist mit der Löschintensität zum Zeitpunkt des Löscherfolges identisch. Die festgelegten (rechnerisch) normativen Intensitäten [50] ergeben sich wie in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der normativen Löschintensität für die verschiedenen Schaumarten [50]

Schaumart	Normative Intensität in $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (Flüssigkeitsbrände)
Schwerschaum VZ 6-20	8
Mittelschaum VZ 60-100	4
Mittelschaum VZ 200	2
Leichtschaum VZ 500-1000	2

3.2 Mindestapplikationsrate (MAR) und Taktische Löschintensität (TALIS)

Die Applikationsdichte, deren Angabe in l/m^2 erfolgt, ist der Löschmittelbedarf pro Brandfläche [51] und stellt den Ausgangspunkt für die Mindestapplikationsrate (MAR) dar. Bei der Applikationsdichte handelt es sich nicht um eine Naturkonstante, sondern um einen statistisch ermittelten Wert, der nicht exakt allgemeingütig berechnet werden kann. Er ist nicht nur abhängig von der Brandfläche, sondern ebenso von den Eigenschaften des Brennstoffes bzw. der Summe der Brennstoffe.

Neben der Löschintensität und deren Definition wird mit der Mindestapplikationsrate bzw. der Taktischen Löschintensität (TALIS) [51] ein weiterer Begriff in Deutschland verwendet. Die MAR gibt an, wieviel Löschmittel pro Zeiteinheit und Flächen- oder Volumeneinheit eingesetzt werden muss, um einen Löscherfolg zu erzielen. Mit dieser verbalen Definition ist sie identisch mit der im Punkt 3.1 beschriebenen Löschintensität. Geschichtlich wurde die MAR nach der Wiedervereinigung bei den Feuerwehren der alten Bundesländer eingeführt.

Konkret ist die MAR definiert als Verhältnis der Applikationsrate zur Applikationszeit. Da die Applikationsdichte ein statistischer Wert ist, ist die MAR ebenfalls ein statistischer Wert. Die Anwendung ist jedoch auf das Löschmittel Wasser begrenzt und wird maßgeblich aufgrund der einfachen Berechnung für den abwehrenden Brandschutz eingesetzt. Am Einsatzort kann ohne großen Zeitaufwand die benötigte Löschmittelmenge abgeschätzt werden, indem das Brandobjekt und die Brandfläche $A_{\text{Brandfläche}}$ berücksichtigt werden. Diese Berechnungen für die MAR bzw. TALIS lauten, wie folgt [51]:

$$1) \text{ für Raumbrände} \quad \text{Volumenstrom} \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = A_{\text{Brandfläche}} [\text{m}^2] \cdot 4 \quad (3.4)$$

$$2) \text{ für industrielle Objekte} \quad \text{Volumenstrom} \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = A_{\text{Brandfläche}} [\text{m}^2] \cdot 6 \quad (3.5)$$

$$3) \text{ für Objekte im Vollbrand} \quad \text{Volumenstrom} \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = A_{\text{Brandfläche}} [\text{m}^2] \cdot 10 \quad (3.6)$$

Die dimensionslosen angegebenen Zahlenwerte 4, 6, 10 müssten demnach die Applikationsrate mit der Dimension $\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ sein.

De Vries gibt in [51] für die Schaummittelbedarfsrechnung nachfolgende Vereinbarungen an:

„1. ... Für die näherungsweise Berechnung des Schaummittelbedarfs wird ... mit $1 \text{ l} \cong 1 \text{ kg}$ gerechnet.

2. Flächen werden näherungsweise als Quadrate oder Rechtecke, nicht als Kreise oder Ovale gerechnet.

3. Statt mit 4, 6, 8 $\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ wird grundsätzlich mit $10 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ gerechnet.

4. Diese Vereinbarungen berücksichtigen bereits die zu erwartenden Schaumverluste durch Verwehungen usw.“

Demnach berechnet sich die MAR bzw. die TALIS für Flüssigkeitsbrände:

$$\text{Volumenstrom bei Flüssigkeitsbränden} \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = A_{\text{Brandfläche}} [\text{m}^2] \cdot 10 \quad (3.7)$$

Weiterhin schreibt de Vries: „Der Schaummittelbedarf ergibt sich damit als Produkt aus dem (Gesamt-)Volumenstrom und der Zumischrate.“

3.3. Volumenstrom (flow rates) nach Grimwood

Der Ansatzpunkt von Grimwood zur Ermittlung des notwendigen Volumenstroms zur Löschung von Brandobjekten erfolgte über die statistische Auswertung verschiedener Gebäudebrände [52]. Aus diesen Analysen entwickelte er Gleichungen zur Berechnung des notwendigen Volumenstroms. Grimwood berücksichtigt dabei Gleichungen aus dem britischen Standard für Brandschutzingenieurwesen PD 7974-5 [53], die den Gebäudetyp (Wohnung, Industriegebäude, Büro usw.) und die Brandfläche einbeziehen. Auch zusätzliche Wassereinträge wie durch automatische Sprinkleranlagen werden berücksichtigt. Als Ergebnis wird eine „flow rate“ (Durchflussmenge) geliefert. Je nach Größe dieser Durchflussmenge in l/min kann die Anzahl der Strahlrohre und Wassermengen bestimmt werden.

Nachteilig ist, dass diese Methode sich ausschließlich auf Wasseranwendung bezieht. Beispielhaft ist nachfolgend eine der empirischen Gleichungen angegeben, die für Wohnungen ohne Sprinkler gilt. F_{dwe} ist der gesuchte Volumenstrom (Dimension: $\text{l} \cdot \text{m}^{-2}$) und $A_{\text{Brandraumfläche}}$ die Fläche des brennenden Raumes (Dimension: m^2).

$$F_{dwe} = 75 \cdot A_{\text{Brandraumfläche}}^{0,44} \quad (3.8)$$

Grimwood gibt ebenfalls kritische, optimale und minimale Volumenströme (critical, optimum, minimum flow rate) an, die in der Dimension $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ angegeben werden. Für Gebäudebrände wird bspw. ein Volumenstrom von $6 l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ als optimale Durchflussmenge genannt.

3.4 Aufbringrate nach DIN EN 13565-2 [54]

Die Definition der minimalen Aufbringrate und der maximalen Aufbringrate dienen der Bemessung von ortsfesten Schaumlöschanlagen [54]. Die Aufbringrate entspricht der gleichen Definition wie die Löschintensität. Die Berechnung für ortsfeste Löschanlagen stellt sich wie folgt dar:

$$q = q_{th} \cdot f_c \cdot f_o \cdot f_h \quad (3.9)$$

Die Mindest-Aufbringrate q wird, wie die Löschintensität auch, in $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ angegeben. Mit der Nenn-Aufbringrate q_{th} von $4,0 l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ sowie drei Korrekturfaktoren erfolgt die Berechnung. Der Faktor f_c berücksichtigt die Löschleistungs-kategorie des verwendeten Schaummittels und die Abschätzung der Flüssigkeitstiefe (Lachen- oder Tankbrand), der Faktor f_o beschreibt das Objekt der Lagerung (Lache, Tank, Lagerhalle, Hangar) und der Faktor f_h berücksichtigt den Abstand der Schaumdüsen vom Brandgut.

Die maximalen Aufbringraten, welche nur für die Verwendung von Leichtschäum gelten, sind wie folgt definiert:

$$R = \frac{V}{T} \cdot CN \cdot CL \quad (3.10)$$

R ist die Schaumaufbringrate in $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, V ist das Füllvolumen des Objekts in m^3 , T ist die Füllzeit in min, der Faktor CN korrigiert den Verlust von Schaum durch Gebäudeöffnungen und der Faktor CL beschreibt den Korrekturfaktor für die eintretende Schaumzerstörung durch Entwässerung sowie den Brand. Diese Definition ist auch in der NFPA 11 [55] zu finden.

3.5 Applikationsrate nach US-Norm NFPA 11 [55]

Im Standard NFPA 11: Standard for Low-, Medium- and High-Expansion Foam [55] gibt die National Fire Protection Association (NFPA) umfassende Angaben zu Applikationsraten an. Dies erfolgt in Abhängigkeit des Flammpunktes der Brennstoffflüssigkeit, des verwendeten Schaummittels, der Einsatzmittel zum Aufbringen und der Tankart. Auch erforderliche Löschzeiten sind hier für die Bemessung festgelegt.

Die Brennstoffe werden in drei Gruppen eingeteilt: Flammpunkte zwischen $37,8^\circ\text{C}$ – 60°C , Flammpunkte niedriger $37,8^\circ\text{C}$ und Rohöl. Die Gruppierung nach dem

Flammpunkt wird auch in anderen Vorgaben zur Berechnung der Löschmittelzufuhr angewandt (s. Punkt 3.7), aber die angegebenen Werte weichen hier voneinander ab. Ab einer Brennstofftiefe größer 25,4 mm wird bei polaren Brennstoffen der Einsatz von geeigneten Einsatzmitteln zur Abgabe von alkoholbeständigen Schaummitteln vorgegeben. Dieser Wert tritt ebenfalls im Leitfaden zur Auswahl von Schaummitteln des Landes Hessen [56] auf. Dabei wird bei der Brandbekämpfung von Brennstofftiefen von mehr als 25 mm auch fluorhaltiges Schaummittel akzeptiert. Grundsätzlich wird für polare Flüssigkeiten eine höhere Applikationsrate als für unpolare Stoffe angegeben.

3.6 Abweichung durch Runderlass in Frankreich

Grundsätzlich gilt die Definition von Pleß und Kretschmar für eine optimale bzw. praktische Löschintensität auch in Frankreich [57-60]. Die praktische Löschintensität wird jedoch einer erweiterten Korrektur unterworfen, die bei Tankbränden anzuwenden ist. Ähnlich wie in der DIN EN 13565-2 [54] werden verschiedene Korrekturfaktoren eingebracht, die Auswirkungen auf den applizierten Schaum, die Zugänglichkeit des Tanks (Flächen, zur möglichen Inbetriebnahme mobiler Werfer) und den Verlust durch die Wurfweite berücksichtigen. Ebenso wird der zeitliche Verzug korrigiert, bis mit der Brandbekämpfung begonnen werden kann.

In einer anderen Quelle [58] werden hingegen Faustwerte für polare und unpolare Stoffe angegeben, die für den abwehrenden Brandschutz relevant sind. Problematisch ist die starke Abweichung der Werte. So werden einmal für polare Stoffe nach [57-58] $10 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ als notwendig erachtet, während in der technischen Instruktion [60] $16 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ gefordert werden. Analog tritt dieser Unterschied auch bei unpolaren Stoffen auf ($5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ bzw. $10 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, [57-60]) auf.

3.7 Osteuropäische Länder

In Polen gilt die gleiche Definition der Löschintensität wie in Kapitel 3.1. Werte für Löschintensitäten bzw. Applikationsraten werden ebenfalls vorgegeben. Allerdings schwanken die Werte zwischen 3 bis $6,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Die Schaumbevorratung ist für einen Löschangriff von 30 min vorzusehen. Entscheidend für die Löschintensität sind zwei Faktoren: die Tankart und der Tankdurchmesser, in dem sich der fluide Brennstoff befindet. Auch die Bemessung der Armaturen zur Schaumabgabe und der Wasserversorgung sind geregelt. Die Vorgaben richten sich aber eher an den vorbeugenden Brandschutz.

In den russischen Vorschriften für Öl- und Mineralölerzeugnisse [80] finden sich Werte für den anlagentechnischen Brandschutz. Die Löschintensitäten werden beispielsweise für Schwerschaum in Abhängigkeit des Ölprodukts (Flammpunkt $\leq 28 \text{ }^\circ\text{C}$, Flammpunkt $> 28 \text{ }^\circ\text{C}$, stabiles Gaskondensat), des Schaummittels (filmbildend, nicht filmbildend,) und der Aufbringart ausgewählt. Dabei reichen die Werte von 3 – $8,4 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Als Löschzeit wird für stationäre Anlagen ein Wert von 10 min, für mobile Geräte 15 min vorgegeben.

4 Experimentelle Basis

Die Ergebnisse des IMK-Berichts Nr. 187 [5] stellen die Grundlage für die experimentelle Basis dar, um auf den darin erzielten Erkenntnissen aufbauend die Löschintensitäten zu bestimmen.

4.1 Brennstoffe

Im vorangegangenen IMK-Projekt [5] erfolgte die Brennstoffauswahl auf der Grundlage in der DIN EN 1568-4 [9]. Die beschriebene Durchführungsbestimmung für Kleinlöschversuche legte die polaren Brennstoffe Aceton (Propan-2-on) und Isopropanol (Propan-2-ol) fest. Ebenso sind in der DIN EN 1568-4 zur Bestimmung des Löschvermögens die genannten Brennstoffe definiert. Beide polaren Brennstoffe müssen die Reinheit von mindestens als 99 % aufweisen. Zusätzlich kamen die Kraftstoffe E10 und E85 sowie N-Methyl-2-pyrrolidon (kurz NMP) zum Einsatz.

Im hier vorgestellten Projekt wurden die Brennstoffe: Aceton (Propan-2-on), Isopropanol (Propan-2-ol) und Bioethanol verwendet. Bioethanol wurde als dritter polarer Brennstoff eingesetzt, weil es mittlerweile flächendeckend auch als Kraftstoff eingesetzt wird (vgl. Anlage A3). Der Verbrauch dieses Kraftstoffs fiel im Jahr 2017 leicht ab und für das erste Drittel des Jahres 2018 verzeichnete dieser einen Anstieg von 9 % (s. [63] S. 5). Die Reinheit des bei den Experimenten verwendeten Bioethanols betrug 92,5 %.

Tabelle 3: Übersicht der ausgewählten Brennstoffe und ihrer Eigenschaften

Trivialname	IUPAC-Name/ Handelsname	Dichte in g/cm ³ bei T = 20 °C	T _S in °C	T _F in °C	T _Z in °C	Strukturformel
Isopropanol	Propan-2-ol	0,784-0,786 (vgl. A4)	82	12	425	$ \begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{OH} & \text{H} \end{array} $
Aceton	Propan-2-on	0,789-0,795 (vgl. A5)	56	<-20	527,5	$ \begin{array}{c} \text{H} & \text{O} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & & \text{H} \end{array} $
Bioethanol	Bioethanol; E92, Agra- Alkohol	0,789 (abhängig von Verunreinigung und Wasseranteil)	ca. 78 (abhängig von Verunrein- igung und Wasseran- teil) ⁹	12 (abhängig von Verunrein- igung und Wasseran- teil)	400 (abhängig von Verunrein- igung und Wasseran- teil)	Ethanol mit Wasser und Verunreinigung $ \begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} $

Auf den polaren Brennstoff N-Methyl-2-pyrrolidon (kurz NMP) wurde in den aktuellen Untersuchungen verzichtet, da bei den Kleinlöschversuchen festgestellt wurde, dass

die ermittelte Löschzeit für diesen Brennstoff zwischen den beiden Löschzeiten der Brennstoffe Aceton und Isopropanol für die angewendeten Schaumlöschmittel liegt. Die Rückbrandbeständigkeit des mit Löschschaum beaufschlagten NMP war zudem sehr hoch ($t > 1$ h) aufgrund der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Brennstoffs. In der Auswertung der Kleinlöschversuche (vgl. [5]) wurde deshalb der Brennstoff nicht dargestellt.

Die für die Umsetzung des Projektes ausgewählten Brennstoffe sind unter Standardbedingungen (Temperatur $T = 298$ K, Druck $p = 101325$ Pa) flüssig. Feststoffe, die sich während der Wärmeeinwirkung bei der Verbrennung verflüssigen, wurden nicht berücksichtigt.

4.2 Fluorfreie alkoholresistente Schaumlöschmittelkonzentrate

Die EU sieht sich in der Pflicht, die per- und polyfluorierten Tenside zu reglementieren und zu verbieten (vgl. [1-3]). Infolgedessen sind die Bestrebungen der europäischen Marktführer auf dem Gebiet der Schaumlöschmittel weiterhin groß, neue Alternativen zu entwickeln und bestehende Alternativen, wie sie im IMK-Bericht Nr. 187 [5] aufgelistet wurden, zu verbessern.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass solche Neuentwicklungen oder verbesserten Schaumlöschmittelkonzentrate zur Erzeugung von fluorfreiem alkoholbeständigem Schaum nicht in diese Untersuchungen eingeflossen sind. Ursächlich hierfür sind einerseits die teilweise späten Zulassungen für den deutschen Markt und andererseits die mit der Untersuchung solcher neuer bzw. verbesserter Schaumlöschmittelkonzentrate verbundenen Kosten, welche nicht durch dieses Projekt abgedeckt waren.

Die Grundlage für die Auswahl an fluorfreien alkoholbeständigen Schaumlöschmittelkonzentraten bilden die im vorangegangenen Projekt [5] verwendeten Konzentrate. Diese Auswahl wurde aufgrund der engen finanziellen Möglichkeiten auf zwei Schaumlöschmittelkonzentrate beschränkt.

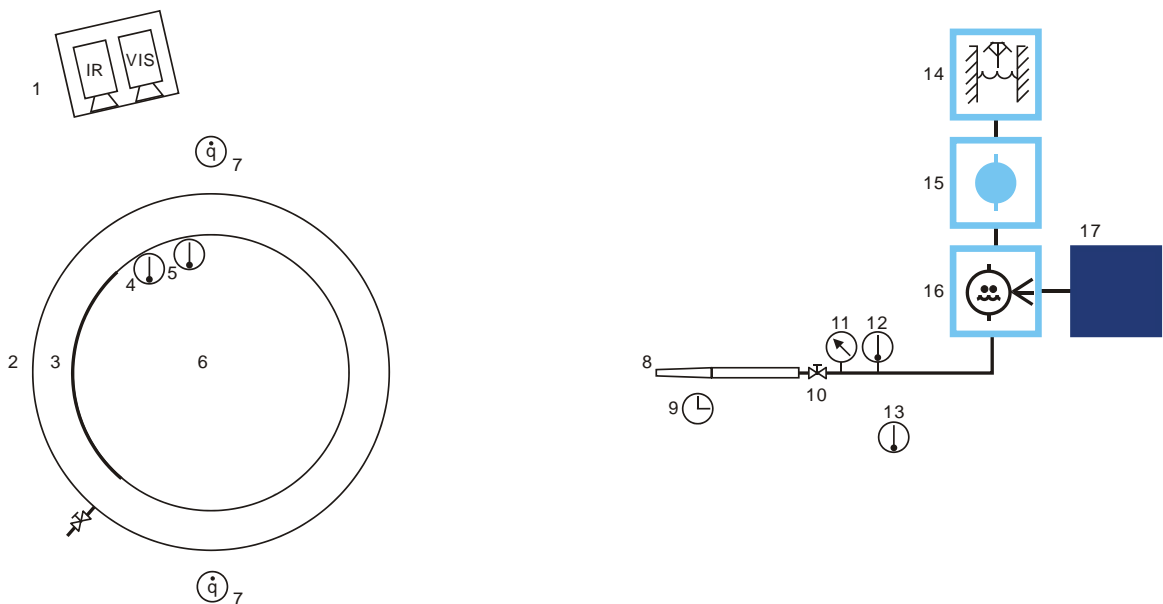
Diese Auswahlbeschränkung wurde auf der Basis der schriftlichen und mündlichen Anfragen von Feuerwehren, Behörden, Unternehmen, Institutionen und Organisationen getroffen, nachdem der IMK-Bericht Nr. 187 [5] veröffentlicht wurde. Dabei stand es den Fragenden jeweils frei, die Aufdeckung des Produktnamens und der Hersteller von zwei in dem Bericht angegebenen Schaumlöschmitteln zu erfragen. Einige der Fragenden hinterfragten diese Identifizierung der Schaumlöschmittel nicht. Insgesamt wurden mehr als 50 direkte Anfragen gestellt.

Von den 25 schriftlich gestellten Anfragen wurde häufig nur eine Zuordnung abgefordert und im weiteren Kommunikationsverlauf fachliche Fragen (Fluorgehalt, Wasserqualität usw.) diskutiert. Am Häufigsten wurde die Zuordnung der Probe 4, gefolgt von der Probe 2 erfragt. Auf dem dritten Rang folgt die Probe 3. Die Probe 1 wurde nicht erfragt, da es sich um das Vergleichsschaummittel handelt. Das siebente Schaumlöschmittel, das aufgrund der mangelhaften Schaumqualität nicht in die Experimente eingehen konnte, wurde ebenso oft erfragt wie die Proben 4 und 2. Da bei den Untersuchungen im IMK-Bericht Nr. 187 festgestellt wurde, dass die Probe 2

Fluor enthielt, wurde diese für die nachfolgenden Untersuchungen ausgeschlossen. Insgesamt fiel somit die Wahl der Schaumlöschmittel auf die im IMK-Bericht Nr. 187 verwendeten Proben Nr. 4 und 3.

4.3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau für die Schaumlöschversuche wurde an das in der DIN EN 1568-4 [9] im Anhang H angegebene Szenario zur Ermittlung des Löschvermögens von Schaummitteln angelehnt. In Abbildung 6 ist der schematische Aufbau und in Abbildung 7 eine fotografische Aufnahme des experimentellen Aufbaus angegeben.



Legende:

1	Brandraumkamera (visuell und infrarot)	7	Wärmestromsensoren R1, R2, R3	13	Thermoelement Umwelt
2	Überwanne mit Ablauf	8	Schaumstrahlrohr	14	Löschwasserbrunnen
3	Prallblech	9	Stoppuhr	15	Unterflur-Hydrant
4	Thermoelement Brennstoff	10	Absperrhahn	16	Schaummittel- Einspeisung
5	Thermoelement Flamme/Schaum	11	Manometer	17	Schaummittelkonzentrat
6	Brandwanne	12	Thermoelement Schaummittellösung		

Abbildung 7: Schematischer Aufbau des Versuchs

Eine runde Brandwanne (6) wurde auf/in einer Überwanne (2) mittig positioniert und mit zwei Thermoelementen bestückt, so dass eins der beiden immer die Flüssigkeitstemperatur des Brennstoffs (4) und das andere oberhalb des Brennstoffs die Flammentemperatur (5) erfasste (vgl. Anhang A6). Alle in den Löschversuchen verwendeten Thermoelemente waren Mantelthermoelemente vom Typ K (Toleranzklasse 2). Auf den Rand der Brandwanne wurde ein Prallblech (3) gesteckt. Dieses war bei allen durchgeführten Experimenten identisch. Die Größe des Prallbleches entsprach den Angaben in der DIN EN 1564-4 [9].

Die Schaumaustrittsöffnung des handbetätigten Schaumstrahlrohrs (8) wurde gemäß DIN EN 1568-4, Anhang H [9] waagrecht auf die Mitte des Prallblechs ausgerichtet und 1 m höher als die Brennstoffoberfläche angeordnet (vgl. Abbildung 3). Der Auftreffpunkt des Schaumstrahls am Prallblech befand sich 0,5 m oberhalb des Brennstoffspiegels. Damit wurde eine indirekte Schaumaufgabe realisiert.

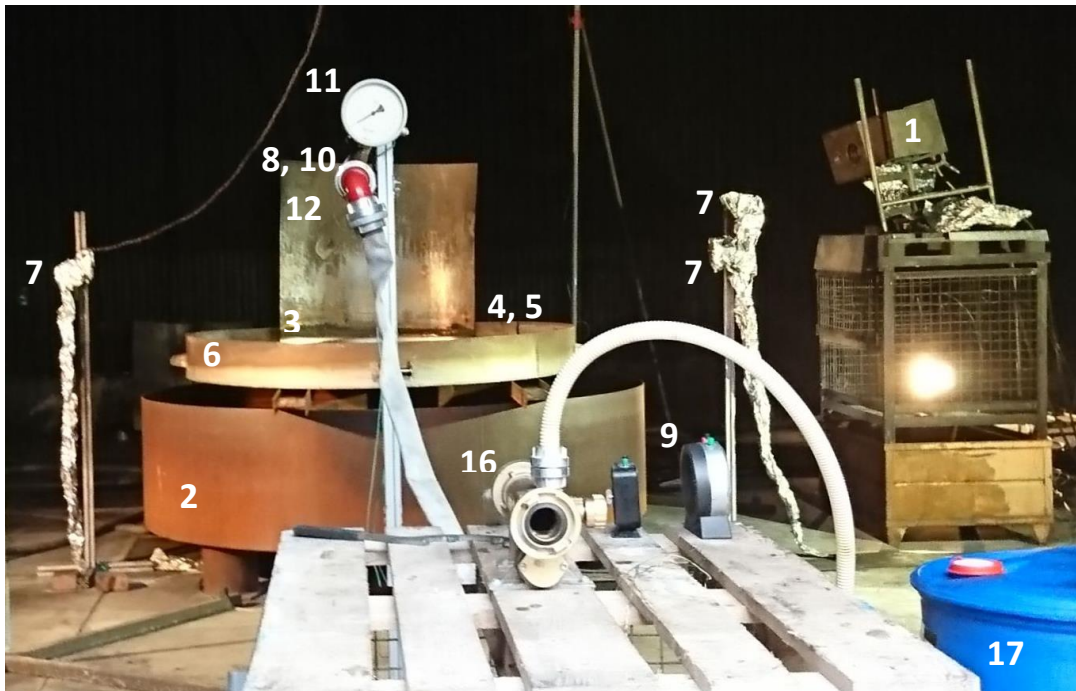


Abbildung 8: Experimenteller Aufbau des Versuchs

Im Abstand von 1,5 m zur Brandwannenmitte wurden drei Wärmestromsensoren R1, R2, R3 (7) angeordnet. Die beiden unmittelbar gegenüber angeordneten und zueinander parallel ausgerichteten Wärmestromsensoren R1 und R2 befanden sich in einer Höhe von 1,50 m über dem Brandraumboden. Der Wärmestromsensor R3 befand sich 0,15 m oberhalb der Sensors R2. Dieser Wärmestromsensor war um 45 ° zur Vertikalen geneigt, um geringste Mengen an Wärmestrahlung (Geisterflammen) zu erfassen. Die Experimente wurden jeweils mittels einer Wärmebildkamera und einer Videokamera (1) überwacht und aufgezeichnet. Der Blickwinkel der Kameras war gleichfalls auf die Brandwanne ausgerichtet.

Alle Messsensoren (Thermoelemente, Wärmeflussensoren) wurden über ein Feldbussystem digital mit einer Messwerterfassungssoftware auf einem Messrechner erfasst und aufgezeichnet. Die Überprüfung des Drucks erfolgte mittels eines Manometers (11) im Übergang zwischen dem 90 °-Krümmer und dem Schaumstrahlrohr bei Schaumfreigabe. Ein integriertes Druckmessgerät am Schaumstrahlrohr war nicht vorhanden.

Zur Schaumerzeugung wurde ausschließlich Brunnenwasser genutzt, welches mit Hilfe einer Pumpe zum Unterflurhydranten (15) gefördert wurde. Über ein Standrohr und Storz-C-Schläuche wurde das Wasser dem Zumischer zugeführt (s. Abbildung 8).

Feuerwehren können bei der Wahl des Zumischers (gemäß der DIN EN 16712-1 [60]) auf folgende Armaturen zurückgreifen: Z 0,5 (Durchfluss: 50 l/min), Z 1 (Durchfluss:

100 l/min), Z 2 (Durchfluss: 200 l/min), Z 4 (Durchfluss: 400 l/min) und Z 8 (Durchfluss: 800 l/min). Die Zumischer mussten regelbar sein, um zwischen der prozentualen Zumischung von 3 % und 6 % wechseln zu können.



Abbildung 9: Wasserversorgung zur Schaumerzeugung

Gemäß den Herstellerempfehlungen und ebenso aus den technischen Vorbetrachtungen sollten der Zumischertyp und der Schaumstrahlrohrtyp (vgl. [61]) gleich sein. Ein Zumischer Z 2 sollte demzufolge mit einem Schaumstrahlrohr S 2 zur Schaumerzeugung verwendet werden. In weiteren Vorbetrachtungen wurde ermittelt, dass der resultierende Volumenstrom optimal auf die Dimensionen der Brandwanne abgestimmt ist. Die Parameter für Durchfluss und Druck vor dem Schaumstrahlrohr mit Zumischer wurden messtechnisch mittels eines Präzisionsturbinenrad-Durchflussmessgerätes und eines digitalen Drucksensors erfasst (vgl. Anhang A7). Weiterhin wurde ein Rückbrandgefäß gemäß [9] verwendet. Es ist hier nicht abgebildet. Am Rückbrandgefäß war ein Bügel befestigt. Mit Hilfe eines langen Metallhakens konnte das Gefäß in die Mitte der Brandwanne gestellt werden.

4.4 Versuchsdurchführung

Nach Überprüfung der Messtechnik, Vorabfüllen des Brennstoffs und Fixieren des Schaummittelansaugschlauchs im Konzentrat wurde das Schaumstrahlrohr so ausgerichtet, dass die Schaumrutsche (vgl. Anhang A8) getroffen wird. Zur Gewährleistung einer stabilen und kontinuierlichen Schaumproduktion ist nach dem Freigeben des Brunnenwassers und dem Einstellen der prozentualen Zumischung (Strecke Zumischer Schaumstrahlrohr: ca. 5 m) die Schaumerzeugung für 20 s gestartet worden.

Zur Bestimmung der Verschäumungszahl (VZ) und der Wasserhalbwertzeit (WHZ) bzw. Wasserviertelzeit (WVZ) wurden zwei Proben an der Schaumrutsche im Messzylinder aufgefangen (vgl. Anhang A9). Bei der Bestimmung der WHZ bzw. WVZ kam eine digitale Videokamera zum Einsatz.

Danach wurde die Aufzeichnung der Messdaten sowie der visuellen und infraroten Kamera gestartet. Unmittelbar darauf wurde der Brennstoff in der geforderten Menge

in die Brandwanne sowie in das Rückbrandgefäß gefüllt. Zuletzt wurde die Fackel entzündet.

Für die Bestimmung der Löschintensität wurde die Durchführungsvorschrift der DIN EN 1568-4 [9] in einem Punkt abgewandelt. Dieser betrifft die Gesamtaufgabe des Schaums. Im Gegensatz zur Vorschrift endet die Gesamtaufgabezeit des Schaums mit dem Zeitpunkt der Löschung des Brandes. Die Vorbrennzeit von 2 min nach dem vollständigen Durchzünden des Brennstoffs wurde ebenso wie die Dauer von 5 min zwischen dem Ende der Schaumaufgabe und dem Einstellen des Rückbrandgefäßes eingehalten. Das Rückbrandgefäß wurde mittig in die Brandwanne gestellt und verblieb dort, bis eine 100 % Rückzündung eintrat.

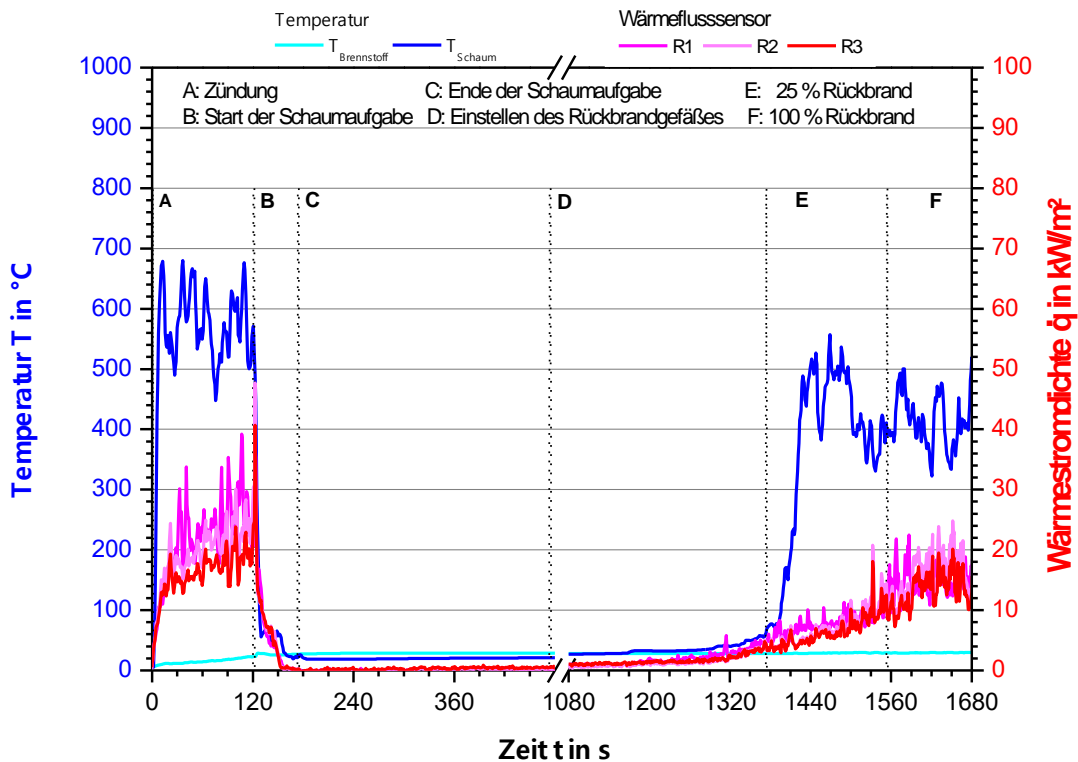


Abbildung 10: Beispiel für den Versuchsablauf eines Experiments zur Bestimmung der Löschintensität

In der Abbildung 9 ist ein Beispiel für einen Versuchsablauf anhand der erfassten Messdaten für die Temperaturen des Brennstoffs $T_{\text{Brennstoff}}$ und des Schaums T_{Schaum} sowie den Wärmestromdichten der Sensoren R1, R2, R3 dargestellt. In der Darstellung sind der Beginn der Zündung (A), der Start (B) und das Ende (C) der Schaumaufgabe, das Einstellen des Rückbrandgefäßes in die Brandwanne (D) und die Punkte des 25 % (E) sowie des 100 % (F) Rückbrands markiert.

Anhand der gewonnenen Messwerte und des Videomaterials erfolgte die Bestimmung der für das Löschvermögen und die Löschintensität wesentlichen Parameter:

- die Zeit der vollständigen Löschung der Flüssigkeitsoberfläche sowie
- die Zeit bis zum Rückbrand von mehr als 25 % der Flüssigkeitsoberfläche.

Zusätzlich wurde die Zeit bis zum vollständigen Rückbrand der Flüssigkeitsoberfläche (100 % Rückbrand) bestimmt.

Je Brennstoff und Schaumlöschmittel und Brandwannenfläche ($A_1 = 1,720 \text{ m}^2$, $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$ und $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$) wurden zwei Versuche durchgeführt, um eine Bestätigung des Ergebnisses zu erhalten. Jeder Versuch pro Brennstoff-Schaumlöschmittel-Kombination wurde entsprechend einzeln ausgewertet.

5 Ergebnisse der Brandversuche

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden mit dem Versuchsaufbau aus Punkt 4.3 und gemäß der Durchführungsbeschreibung aus Punkt 4.4 gewonnen. Die Umgebungstemperaturen während der Versuchsdurchführung in der Brandhalle lagen zum Versuchsbeginn zwischen 3,6 – 12,8 °C. Der Fehler bei der Temperaturmessung liegt gemäß der Genauigkeitsklasse 2 der Thermoelemente des Typs K für Temperaturen bis zu 333 °C bei einem Wert von $\Delta T = \pm 2,5$ °C. Durch die Absaugung der Rauchgasreinigungsanlage wurde ein definierter und kontinuierlicher Luftstrom aufgeprägt.

Die gemessenen Zeiten (Löschzeit, 25 %-Rückbrandzeit) pro Brennstoff-Schaumlöschmittel-Kombination wurden für die erfolgreichen Versuche gemittelt. Diese gemittelten Werte sind in den nachfolgenden Diagrammen dargestellt.

5.1 Verschäumungszahl und Wasserhalbwertzeit

Vor den Löschversuchen wurden, wie im Punkt 4.4 beschrieben, die Verschäumungszahl (VZ) und die Wasserhalbwertzeit (WHZ) ermittelt. Es konnte festgestellt werden, dass die VZ erheblich streuten. Die Streuungen nahmen für die Vergleichsschaumprobe und die Probe 3 über die Versuchsserie zu. Die Streuung der VZ der Probe 4 war geringer.

In der Tabelle 4 sind die ermittelten VZ der drei Schaumlöschmittel zusammengestellt.

Tabelle 4: Übersicht zu den ermittelten Verschäumungszahlen VZ

Schaummittel	Minimale VZ	Maximale VZ	Mittlere VZ
Vergleichsprobe	2,7	12,2	6,0
Probe 3	4,8	11,1	8,6
Probe 4	1,7	2,9	2,2

Der Vergleich der mittleren Verschäumungszahl mit den Verschäumungszahlen, die während der Kleinlöschversuche [5] ermittelt wurden, zeigt, dass die größte Abweichung bei der Probe 4 zu verzeichnen ist. Die Vergleichsprobe und die Probe 3 weichen in der VZ um ± 2 von denen der Kleinlöschversuche ab. Dabei liegt die mittlere VZ der Probe 3 im Bereich der Herstellerangaben. Die beiden anderen VZ lagen unterhalb dieser Werte.

Bereits in [5] wurde ein Einfluss der Wasserqualität auf die VZ nachgewiesen. Hierbei zeigte sich, dass durch die Verwendung des am IBK verfügbaren Brunnenwassers deutlich geringere VZ erreicht wurden, als durch die Hersteller angegeben sind. Da auch bei den hier vorgestellten Experimenten Brunnenwasser des IBK verwendet wurde, liegen hier ebenso die VZ unterhalb der Herstellerangaben. Deshalb wird diese als Ursache der neuerlichen geringeren Verschäumungszahl ausgeschlossen. Eine wesentlich weitreichendere Einflussgröße ist in diesen Versuchen die Feuerwehrtechnik. In Punkt 4.3 wurde darauf hingewiesen, dass der anliegende Druck und der Durchfluss für die Zumischer-Strahlrohr-Kombination überprüft wurde.

Hieraus war ersichtlich, dass die erreichten Werte im Bereich der Toleranzangaben nach DIN EN 16712-1 [61] liegen (vgl. Anhang A7). Jedoch kann beispielsweise eine geringe Abweichung vom Arbeitsdruckwert (5 bar) dazu führen, dass die Zumischung des Schaummittelkonzentrats am Zumischer und damit die Verschäumung am Schaumstrahlrohr nicht im gewünschten Bereich liegt. D. h. Verschäumungszahlen können höher oder geringer ausfallen. Eine endgültige Erklärung zum Schwankungsbereich der Verschäumungszahlen kann derzeit nicht gegeben werden. Neben der Verschäumungszahl wurden die Wasserviertel- und die Wasserhalbwertzeit (WVZ und WHZ) bestimmt. In der Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Drainagezeiten aufgelistet. Gleichfalls enthalten sind die Korrelationskoeffizienten R^2 für die Regressionskurve (Maß für die Genauigkeit, $R^2 \geq 0,95$).

Tabelle 5: Übersicht der mittleren Wasserviertelwertzeiten (WVZ) und Wasserhalbwertzeiten (WHZ)

Schaummittel	WVZ [mm:ss]	WHZ [mm:ss]	R^2
Vergleichsprobe	02:13	03:54	0,989
Probe 3	14:06	27:51	0,969
Probe 4	00:44	02:15	0,989

Die ermittelten Wasserviertel- und Wasserhalbwertzeiten fallen im Vergleich mit den Resultaten bei den Kleinlöschversuchen kleiner aus. Die Wasserhalbwertzeit für die Vergleichsprobe liegt noch im Bereich der Angaben des Herstellers (4 -8 min), jedoch weicht die Probe 4 mit 2:15 min als WHZ von der Angabe des Herstellers deutlich ab. Die Werte der Probe 4 müssten wesentlich höher, bei 14 min liegen. Diese wurden mit den hier dargestellten Versuchen nicht erreicht. Bei der Probe 3 konnten die ermittelten Werte nicht mit Herstellerangaben verglichen werden, da dieser nur sein Produkt damit bewirbt, dass die Drainagezeit groß ist.

Aufgrund der bestimmten kleineren Werte sowohl für die Verschäumungszahl als auch für die Wasserviertel- und die Wasserhalbwertzeit wurde versucht, über eine Leitfähigkeitsmessung des Wasser-Schaumlöschmittel-Gemisches zu ermitteln, ob die voreingestellte Zumischung des Schaumlöschmittelkonzentrats (3 % oder 6 %) am Zumischer dem entstehenden Wasser-Schaumlöschmittel-Gemisch entspricht. Hierzu wurde zuerst eine Kalibrierkurve der Leitfähigkeit für die prozentuale Zumischung des Schaumlöschmittelkonzentrats erstellt. Danach wurde unmittelbar vor dem Schaumstrahlrohr das Wasser-Schaumlöschmittel-Gemisch beprobt und seine Leitfähigkeit gemessen. Die einstellbare Zumischrate am Zumischer war hierbei der zu variierende Parameter. Die Leitfähigkeit wurde mit einem tragbaren Leitfähigkeits-Messgerät vom Typ HI 99300 bestimmt. Der Fehler der Leitfähigkeit beträgt $\pm 80 \mu\text{S}/\text{cm}$. Der Ursprungszustand des fabrikneuen Zumischers wurde nicht untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 dargestellt.

Neben den Kalibrierkurven für die 3 Schaumlöschmittel sind die Messkurven für das Brunnenwasser und die 3 Schaummittellösungen (nach dem Zumischer entnommen) in dem Diagramm gegenübergestellt. Die Leitfähigkeit des Brunnenwassers wurde wiederholt gemessen und liegt im Bereich zwischen (1134 – 1290) $\mu\text{S}/\text{cm}$. Im Diagramm wurde der obere Messwert abgebildet.

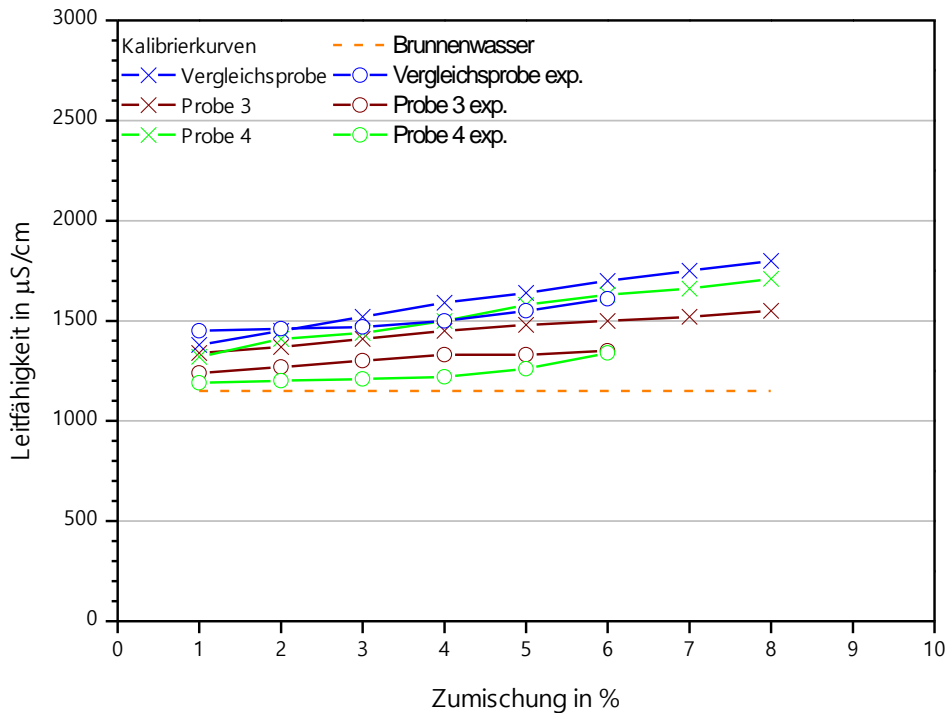


Abbildung 11: Leitfähigkeit als Funktion der Zumischrate für die untersuchten Schaumlöschmittel

Erwartungsgemäß steigen die Kalibrierkurven mit zunehmender prozentualer Zumischung des Schaumlöschmittels an. Die zugehörigen Messkurven der jeweiligen Schaummittellösungen weichen von den Kalibrierkurven ab. Diese Abweichung liegt für die Kurven der Probe 3 und des Vergleichsschaumlöschmittels im Fehlerbereich. Jedoch wird festgestellt, dass die Messkurve der Vergleichsprobe sich bei der Zumischung bis zu 3 % jeweils nur um $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ ändert und ab einer Zumischrate von 4 % einen ähnlichen Anstieg wie die Kalibrierkurve zeigt. Ebenso weist die Messkurve der Probe 3 ab einer Zumischung von 4 % einen geringeren Anstieg bei weiterer Zumischung auf. Eine Erklärung für dieses konträre Verhalten kann durch die Schwankung der Leitfähigkeit des Brunnenwassers gegeben sein. Der Vergleich der Kalibrierkurve mit der Messkurve für die Probe 4 zeigt die größten Abweichungen. Die Abweichungen nehmen mit zunehmender Zumischung zu, so dass eine mögliche Erklärung über die Qualitätsschwankung des Brunnenwassers unter Berücksichtigung des Messfehlers nicht ursächlich hierfür sein können. Aus den Untersuchungen im vorhergehenden Projekt [5] ist bekannt, dass das Schaumlöschmittel Probe 4 zu den pseudoplastischen Schaumbildnern zählt. Die beiden anderen Schaumlöschmittel (Probe 3, Vergleichsprobe) gehören zu den nicht pseudoplastischen Schaumbildnern. D. h. die Probe 4 weist eine wesentlich höhere dynamische Viskosität (vgl. Abbildung 10 in [5]) auf, als die beiden anderen Schaumlöschmittel. Diese Tatsache kann für die Zumischung über einen Zumischer bedeutend sein, so dass eine Unterdosierung möglich ist.

Weiterhin kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein mechanischer Verschleiß des Nadelventils am Zumischer die Zumischrate beeinflusst hat. In der zugehörigen DIN EN 16712-1 [60] wird hinsichtlich der Leistungsdaten eines Zumischers Z2R,

namentlich der Volumenstrom an angesaugtem Schaummittel, darauf hingewiesen, dass bei einer Zumischung von 1 - 2 % eine Grenzabweichung von $\pm 25 \%$ des Volumenstroms und bei einer Zumischung ab 3 % eine Grenzabweichung von $\pm 10 \%$ des Volumenstroms zulässig sind.

Die Vielzahl dieser Faktoren kann damit zu den abweichenden Verschäumungszahlen geführt haben. Eine abschließende Klärung konnte nicht herbeigeführt werden. Festgestellt werden kann jedoch, dass mögliche Unter- oder Überdosierungen der Schaumlöschmittel in der Endbetrachtung der Brandversuche berücksichtigt werden müssen.

5.2 Löschzeiten

Die Löschzeit ist diejenige Zeit, die benötigt wird, um durch Aufgabe eines Löschmittels einen Brand zu löschen, so dass keine weitere thermische Reaktion stattfindet. Bei jedem Versuch wurde mit einer Stoppuhr die Löschzeit gestoppt. Anschließend wurde der gemessene Wert anhand der Temperatur- und Wärmestrahlungsverläufe (vgl. Abbildung 9) sowie der Videoaufzeichnungen überprüft.

In der Abbildung 12 sind die mittleren Löschzeiten für die drei Brennstoffe und die drei Schaumlöschmittel für die Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$ dargestellt.

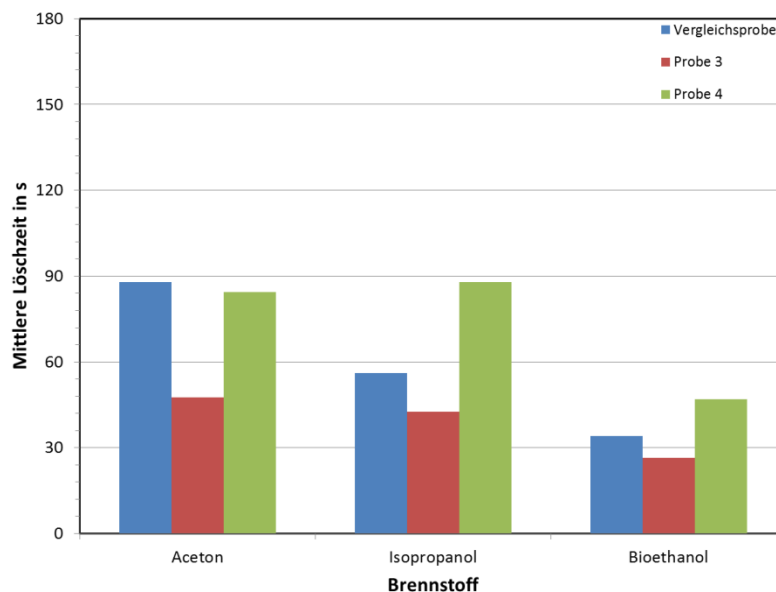


Abbildung 12: Löschzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf 3 Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$

Bei den Kleinlöschversuchen im vorhergehenden Projekt [5] wurde festgestellt, dass die Löschzeit des einzelnen Schaumlöschmittels auf unterschiedlichen Brennstoffen variiert. Dieses Verhalten ist mittels der verschiedenen Flammpunkte der unterschiedlichen Brennstoffe (s. Tabelle 3) erklärbar.

Jedoch verhalten sich bei genauer Analyse der Löschzeiten die Schaumlöschmittel nicht identisch. So ist das Schaumlöschmittel Probe 3 wesentlich schneller bei der Löschung des Aceton-Brandes als das Vergleichsschaumlöschmittel. Im Fall des

Isopropanol-Brandes ist dieses Löschmittel nur etwas schneller als das Vergleichsschaummittel. Bei einem Vergleich desselben Brandes im Kleinlöschversuch bedurfte die Probe 3 dreimal mehr Löschezit als das Vergleichsschaumlöschmittel. Die Probe 4 verhält sich im Vergleich zu den Kleinlöschversuchen ähnlich für die Brennstoffe Aceton und Isopropanol. Die Löscheziten für das Bioethanol für diese Brandfläche liegen dicht beieinander. Ein direkter Vergleich zum Kraftstoff E85 kann infolge des fehlenden Benzin-Anteils im Bioethanol nicht gegeben werden

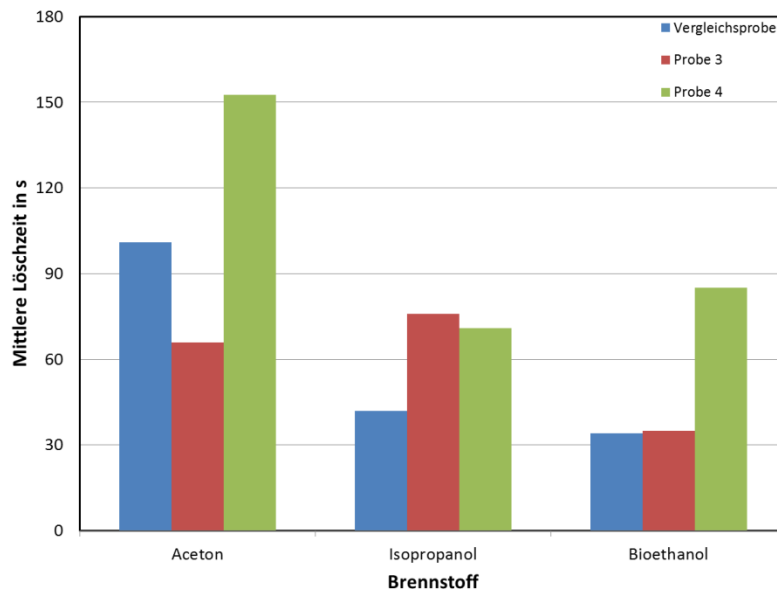


Abbildung 13: Löschezit verschiedener Schaumlöschmittel auf 3 Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$

Die Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse für die mittlere Löschezit der zweiten Brandfläche $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$. Die Löschezit sollte sich erwartungsgemäß mit der zunehmenden Brandfläche erhöhen. Für den Brennstoff Aceton trifft dies annähernd für die drei Schaumlöschmittel zu, wenn die Ergebnisse der Brandfläche A_1 herangezogen werden. Für den Brennstoff Bioethanol benötigt die Probe 4 ca. 1,5 Mal länger, als die Vergleichsschaumlöschprobe. Die Probe 3 löscht dagegen fast genau so schnell wie das Vergleichsschaumlöschmittel. Ein anderes Verhalten der drei Schaumlöschmittel ist beim Brennstoff Isopropanol zu verzeichnen. Im Fall der Brandfläche A_2 löscht die Probe 3 den Brand langsamer als das Vergleichsschaumlöschmittel und befindet sich in der Größenordnung der Probe 4. Das Vergleichsschaumlöschmittel löscht bei dieser Brandfläche am schnellsten den Brennstoff Isopropanol.

Für die größte untersuchte Brandfläche $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$ zeigt die Abbildung 14 die Ergebnisse der Löschezit bezüglich der unterschiedlich Brennstoffe und Schaumlöschmittel. Auch in diesem Diagramm verhalten sich die ermittelten Löscheziten mit Ausnahme für den Brennstoff Isopropanol nicht wie bei den Kleinlöschversuchen. Im Fall des Brennstoffs Aceton verhalten sich die drei Schaumlöschmittel ähnlich den Ergebnissen bei den Versuchen mit der Brandfläche A_1 . Auffällig ist dabei, dass die zeitliche Differenz zwischen dem Löschen des

Vergleichsschaumlöschmittels und der Probe 3 in der gleichen Größenordnung liegt. Die Probe 4 ordnet sich zwischen beiden Löschzeiten ein. Bei dem Brennstoff Isopropanol löscht das Vergleichsschaumlöschmittel am schnellsten. Die beiden fluorfreien Schaumlöschmittel benötigen deutlich länger. Jedoch war bei den Kleinlöschversuchen die Löschzeit der Probe 4 um die Hälfte kürzer, als die der Probe 3. In diesen Versuchen benötigt die Probe 4 mehr als die doppelte Zeit zum Löschen wie die Vergleichsschaumlöschprobe. Ebenso dauert der Löschangriff der Proben 3 und 4 beim Brennstoff Bioethanol länger als die der Vergleichsschaumlöschprobe.

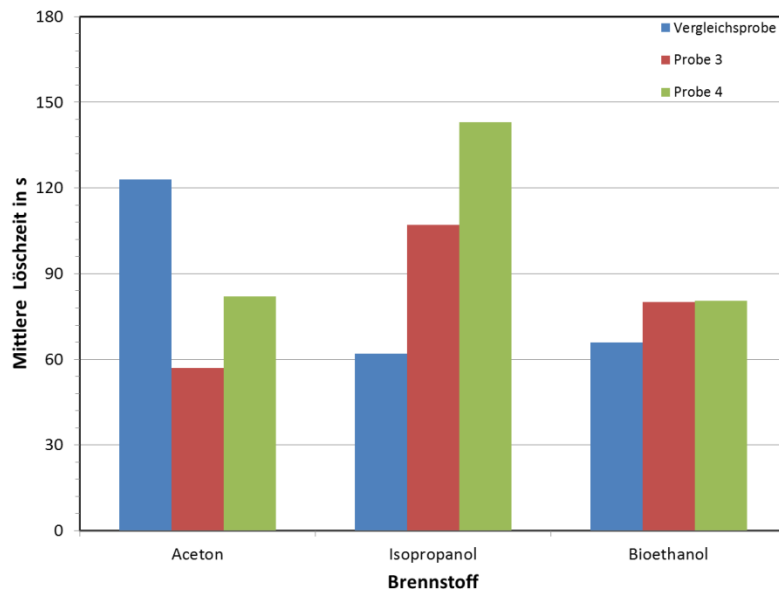


Abbildung 14: Löschzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf 3 Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$

5.3. Rückbrandbeständigkeit

Der Rückbrand ist dadurch charakterisiert, dass sich nach dem Hineinstellen des brennenden Rückbrandgefäßes in den mit Schaum bedeckten und dadurch gelöschten Brennstoff die Brennstoff/Schaumlöschmittel-Oberfläche in der Folge erneut entzündet, weil der Schaum durch unterschiedliche und sich überlagernde Einzelprozesse (z. B. Schaumzerstörung durch die heißen Wandungen des Rückbrandgefäßes) zerstört wird. Wesentlich zur Beurteilung eines Schaumlöschmittels ist die 25 %-Rückbrandzeit. Diese stellt die Dauer zwischen dem Einstellen des Rückbrandgefäßes und dem Zeitpunkt, an dem sich 25 % der gesamten Brennstoff/Schaumlöschmittel-Oberfläche wieder entzündet haben.

In Bezug auf die DIN EN 1568-4 [9] wurden bei der Versuchsdurchführung nachfolgende Anpassungen vorgenommen. Im Gegensatz zur DIN EN 1568-4 wurde nach dem Löschen des Flüssigkeitsbrandes die Schaumlöschmittelzufuhr unterbrochen. So ist kein zusätzlicher Schaum auf die Brennstoff/Schaumlöschmitteloberfläche aufgegeben worden. Nach einer Zeitspanne von 5 min wurde das brennende Rückbrandgefäß eingestellt. Ebenso wie bei der Löschzeit wurde

die Zeitspanne mit einer Stoppuhr erfasst. Anschließend wurde der gemessene Wert anhand der zeitabhängigen Verläufe für Temperatur und Wärmestrahlung (vgl. Abbildung 9) sowie der Videoaufzeichnungen überprüft.

Die Rückbrandzeit ist für die Bestimmung der Löschintensität nicht notwendig. Ihre Bestimmung direkt nach dem Löschvorgang liefert jedoch ein Indiz dafür, welche Rückbrandbeständigkeit vorliegt, wenn die Schaumzufuhr über den Löschvorgang hinaus nicht erfolgt. Je nach Einstufung des Schaummittels ist in der Prüfvorschrift der DIN EN 1568-4 [9] eine Gesamtzeit für die Beschäumung von 3 min für die Schaumlöschmittel nach Klasse 1 und 5 min für Schaumlöschmittel nach Klasse 2 vorgeschrieben. Diese wurde hier nicht angewendet. Die Beschäumung endet direkt mit dem vollständigen Löschen des Brandes.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die mittleren 25 %-Rückbrandbeständigkeiten für jede Brandfläche dargestellt. Innerhalb einer Abbildung sind die drei getesteten Schaumlöschmittel in Abhängigkeit zum Brennstoff dargestellt.

In Abbildung 15 zeigt die mittlere 25 %-Rückbrandbeständigkeit für die Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$.

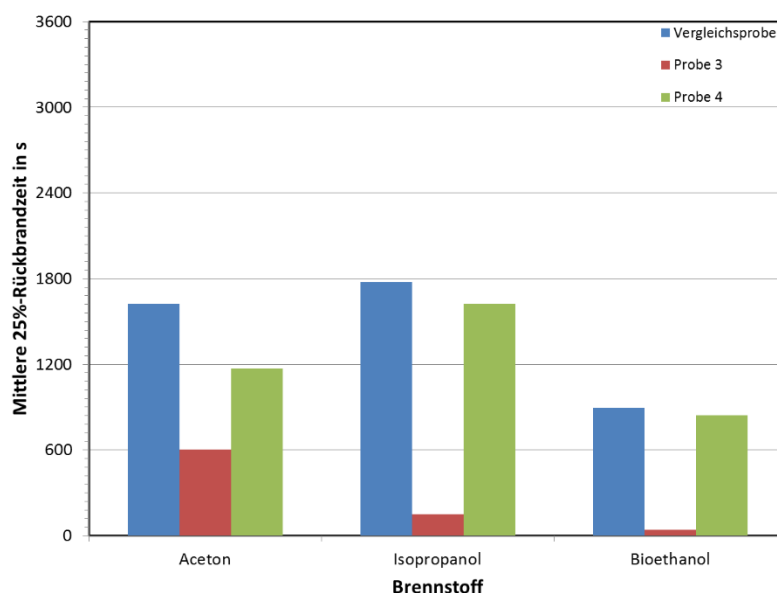


Abbildung 15: 25 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$

Bei der 25 %-Rückbrandzeit spielt der Flammpunkt der Brennstoffe eine wesentliche Rolle. Zusätzlich wird die Rückzündung auch durch weitere charakteristische Größen wie der Dampfdruck oder die Diffusionskonstante des Brennstoffs beeinflusst.

Beim Heranziehen der Ergebnisse der Kleinlöschversuche – hier wurde die Gesamtbeschäumungszeit von 2 min eingehalten – muss die unterschiedliche Gesamtbeschäumungszeit berücksichtigt werden. So ist offensichtlich, dass die Ergebnisse der neugewonnen 25 %-Rückbrandzeiten nicht identisch mit denen der Kleinlöschversuche sind.

Für den Brennstoff Aceton weicht die 25 %-Rückbrandbeständigkeit für die Probe 3 stark ab. In den Kleinlöschversuchen war diese noch doppelt so beständig wie das

Vergleichsschaumlöschmittel, so ist diese bei der Brandfläche A_1 nur halb so beständig. Beim Brennstoff Isopropanol ist die Probe 4 geringer rückbrandbeständig als bei den Kleinlöschversuchen. Bei diesen Untersuchungen war sie doppelt so beständig wie das Vergleichsschaumlöschmittel. Noch stärker tritt die Abweichung bei dem Brennstoff Bioethanol hervor. In den Kleinlöschversuchen hatten die beiden fluorfreien Schaumlöschmittel Probe 3 und 4 eine dreifach höhere 25 %-Rückbrandzeit gegenüber dem Vergleichsschaumlöschmittel.

Diese Abweichung kann zum einen durch die fehlende weitere Schaumaufgabe unmittelbar nach der Brandlöschung und zum anderen durch nicht vorhandenen Anteil an Benzin im Bioethanol verursacht werden.

In der Abbildung 16 sind die Ergebnisse der 25 %-Rückbrandbeständigkeit bei einer Brandfläche von $A_3 = 2,835 \text{ m}^2$ dargestellt. Die Ergebnisse für den Brennstoff Aceton weichen im Vergleich mit den Ergebnissen von der Brandfläche A_1 ab. Jedoch ähneln sie den Ergebnissen aus den Kleinlöschversuchen. Zwar erreichen sie nicht die doppelte 25 %-Rückbrandbeständigkeit, aber die eineinhalbfache 25 %-Rückbrandbeständigkeit des Vergleichsschaumlöschmittels. Das Schaumlöschmittel Probe 3 weist bei der 25 %-Rückbrandbeständigkeit auf dem Brennstoff Isopropanol weniger als die halbe 25 %-Rückbrandbeständigkeit des Vergleichsschaumlöschmittels auf. Dies wurde auch in den Kleinlöschversuchen festgestellt. Dass die Probe 4 jedoch ebenfalls eine geringe Rückbrandbeständigkeit aufweist, wurde in den Kleinlöschversuchen nicht ermittelt. Ähnlichkeiten zu den Ergebnissen für die Brandfläche A_1 beim Bioethanol bestehen für die Probe 3. In beiden Fällen ist eine sehr geringe Rückbrandbeständigkeit feststellbar. Probe 4 besitzt im Vergleich zum Vergleichsschaumlöschmittel eine höhere Rückbrandbeständigkeit. Dieser Tatbestand ist aus den Kleinlöschversuchen bekannt.

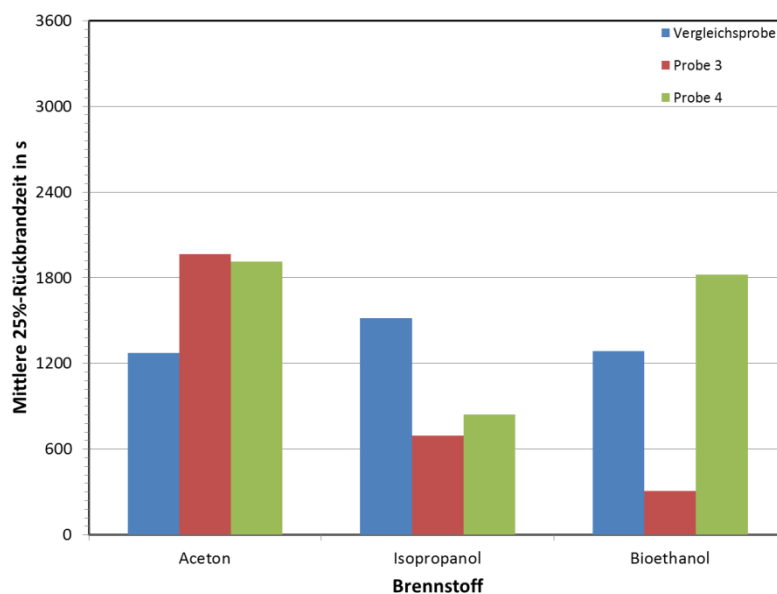


Abbildung 16: 25 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$

Die Ergebnisse der größten Brandfläche ($A_3 = 4,524 \text{ m}^2$) sind in Abbildung 17 zu sehen. So versagt die Probe 3 in der Rückbrandbeständigkeit bei allen drei Brennstoffen. Bei Aceton ist die Rückbrandzeit der Probe 3 halb so hoch, wie beim Vergleichsschaumlöschmittel. Bei den Brennstoffen Isopropanol und Bioethanol versagt das Schaumlöschmittel nahezu, da es innerhalb von 100 s zurückzündet. Die Probe 4 widersteht deutlich länger als die Probe 3 der Rückzündung. Die Rückbrandzeit für Probe 3 ist bei Isopropanol geringer und beim Bioethanol höher als die 25%-Rückbrandbeständigkeit des Vergleichsschaumlöschmittels auf diesen Brennstoffen.

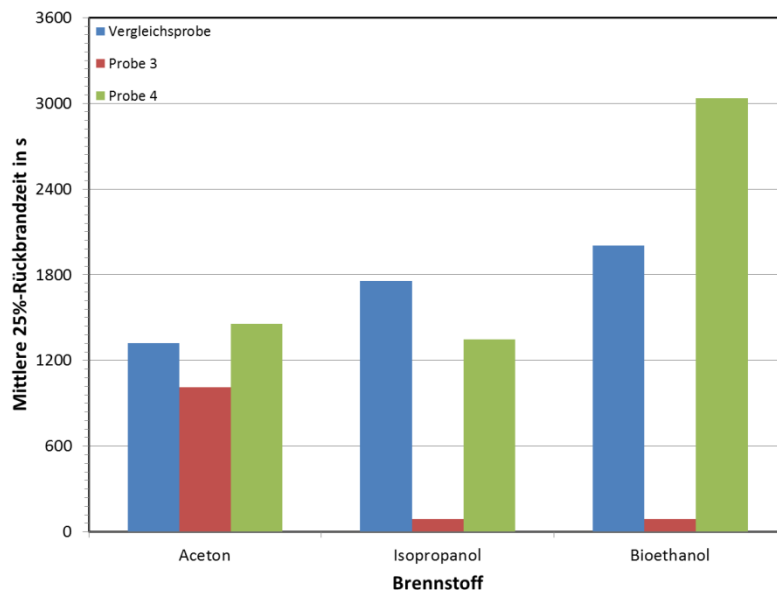


Abbildung 17: 25 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$

Zur Vervollständigung der Ergebnisse befinden sich die Resultate zur 99 %-Rückbrandbeständigkeit für alle untersuchten Brandflächen, Schaumlöschmittel und Brennstoffe im Anhang A11-A13.

6 Löschintensität

Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist die Bestimmung der Löschintensität als eine Entscheidungshilfe bei der Auswahl von fluorfreien Schaumlöschmitteln zur Brandbekämpfung von polaren Flüssigkeitsbränden. Die polaren Brennstoffe waren Aceton, Isopropanol und Bioethanol (vgl. Punkt 4.1). Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Löschversuche sehr praxisnah durchgeführt wurden. Wie im Punkt 4 beschrieben, wurde zur Schaumerzeugung Brunnenwasser unter Einsatz von regulärer Feuerwehrtechnik (Zumischer Z2 und Schaumstrahlrohr S2) verwendet. Aus den durchgeführten Löschversuchen wurde entsprechend der Definition der Löschintensität nach Pleß [47-48, 50] die Löschintensität berechnet und in Abhängigkeit von der gemessenen Löschzeit dargestellt. Der gemessene mittlere Durchfluss \bar{Q} für reines Brunnenwasser von 181 l/min (vgl. Punkt 4.3) wurde für die Berechnung der Löschintensität angewendet. Der gemessene Wert für \bar{Q} weicht von dem vorgegebenen Wert des Schaumstrahlrohrs S2 (200 l/min) [61] ab. Die zulässige Abweichung liegt bei 10 % [61], d. h. bei einem $\Delta\bar{Q} = 20$ l/min. Der Einfluss des Schaummittel-Wasser-Gemischs auf die Messung des Durchflusses ist vernachlässigbar klein.

Um die Löschintensität zu variieren, wurde die Brandfläche vergrößert. Die genutzten kreisförmigen Brandflächen waren die Flächen $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$, $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$ und $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$. Weitere Möglichkeiten zur Veränderung der Löschintensität sind die Verwendung anderer Zumischer-Schaumstrahlrohr-Kombinationen mit entsprechend verschiedenen Volumenströmen oder die Verringerung der ausgebrachten Schaummenge nach dem Schaumstrahlrohr. In Vorversuchen (hier nicht dargestellt) wurde bei dem Einsatz der Zumischer-Schaumstrahlrohr-Kombinationen Z4-S4 (400 l/min) festgestellt, dass das Gesamtvolumen der drei Brandwannen zu klein ist. Gleiches gilt für größere Zumischer-Schaumstrahlrohr-Kombinationen (z. B. Z8-S8). Zumischer-Schaumstrahlrohr-Kombinationen, die kleinere Durchflussmengen besitzen, waren dagegen bei der Zumischung nicht regulierbar. Damit wurden diese gleichfalls nicht verwendet. Die Reduktion der ausgebrachten Schaummenge, beispielsweise über eine Blende, wurde nicht angewendet. Die so veränderte Schaummenge konnte nicht messtechnisch erfasst und somit die Löschintensität nicht bestimmt werden.

In den Abbildungen 18 bis 20 wurden die errechneten Löschintensitäten in Abhängigkeit von der gemessenen Löschzeit abgebildet und für alle drei auf einem Brennstoff angewendeten Schaumlöschmittel jeweils in einem Diagramm dargestellt. Zu beachten ist, dass der Löschvorgang von Schaumlöschmitteln im Allgemeinen abhängt von der Löscheffektivität des Schaumes bei dem verwendeten Brennstoff und von der Fließfähigkeit des Schaumes auf der brennenden Oberfläche.

Die zu einem Schaumlöschmittel gehörende Punktmenge im Diagramm wurde mit einer Potenzfunktion ($I_{\text{Lösch}} = A \cdot t_{\text{Lösch}}^B$) angenähert. Im Diagramm wird diese Kurve durch eine farblich gleiche gestrichelte Linie wie die zugehörige Punktmenge dargestellt. Die zugehörigen Funktionen wurden in der Tabelle 6 mit ihren Parametern zusammengefasst. Es ist in allen drei Diagrammen feststellbar, dass die Messpunkte

um die Ausgleichskurve streuen. Die Streubreite der erzielten Messwerte konnte infolge der geringen Anzahl an durchgeführten Experimenten für eine Kombination von Schaumlöschmittel-Brennstoff-Brandfläche nicht begrenzt werden. Ebenso war die Variation der Brandfläche zu kleineren und größeren Flächen nicht möglich. Von der Möglichkeit, die gemessenen Wertepaare des Vorgängerprojektes in diese Messreihe einzufügen, wurde Abstand genommen, weil dabei mit einem Laborschaumrohr (Durchfluss: 1,63 l/min) und einem Premix als Schaumlöschmittellösung gearbeitet wurde (vgl. [5]).

In der Abbildung 18 sind die Ergebnisse für die Vergleichsprobe, die Probe 3 und die Probe 4 auf dem Brennstoff Aceton dargestellt. Einige Messpunkte liegen dabei übereinander, da für unterschiedliche Schaumlöschmittel identische Löschzeiten bei den drei Löschintensitäten ($105,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$; $63,8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$; $40,0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) bestimmt wurden.

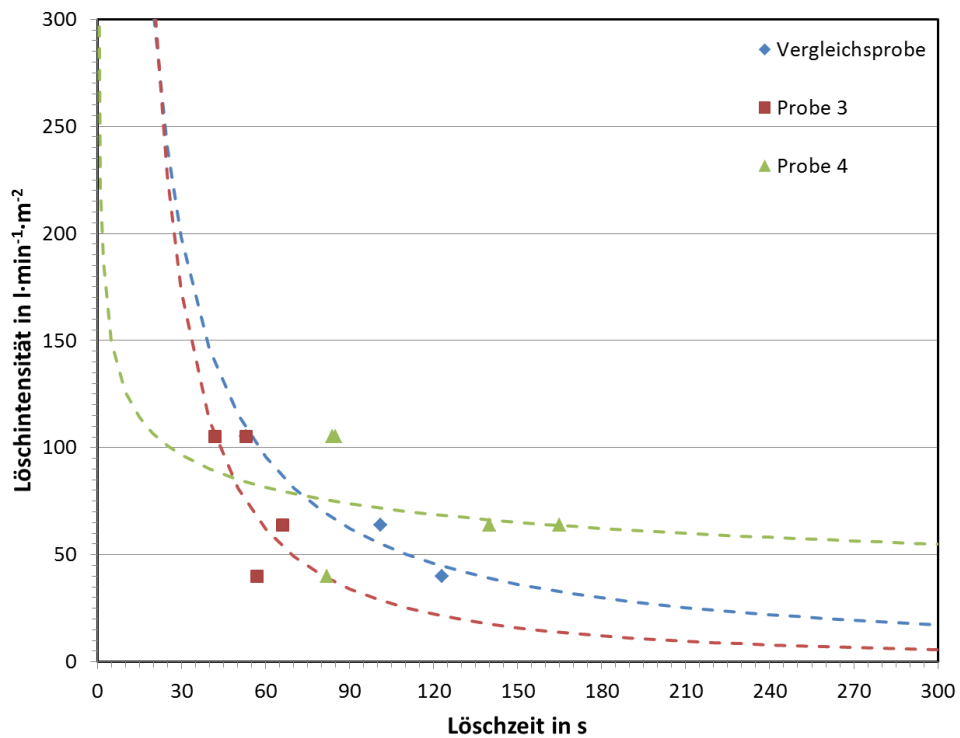


Abbildung 18: Löschintensität in Abhängigkeit von Löschzeit bei Anwendung von drei Schaumlöschmitteln auf Aceton

Die Ausgleichskurven der Vergleichsprobe und der Probe 3 verhalten sich ähnlich und nähern sich erwartungsgemäß einem Grenzwert der Löschzeit von weniger als 30 s. Ein Bereich oberhalb von 15 s für den Grenzwert der Löschzeit ermittelte Teslenko in [62] bei seinen Untersuchungen auf dem Brennstoff n-Heptan. Ein Unterschied zeigt sich bei dem Grenzwert der Löschintensität für beide Ausgleichskurven. Diese liegen bei $6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ für die Probe 3 und $17 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ für die Vergleichsprobe. Teslenko wies in [62] ebenso solche Unterschiede in Abhängigkeit des verwendeten Schaumlöschmittels auf. In der mathematischen Funktion der Ausgleichskurven wird dies durch den Parameter A bewirkt, welcher die Kurven streckt oder staucht.

Im Gegensatz zum Verhalten dieser beiden approximierten Kurven für die Messwerte der Vergleichsprobe und der Probe 3 stellt sich die Ausgleichskurve für die Messwerte der Probe 4 dar. Die Ausgleichskurve strebt demnach einem Grenzwert für die Löschzeit von weniger als 1 s entgegen. Eine solche Löschzeit erscheint sehr unwahrscheinlich. Der Grenzwert der Löschintensität dagegen strebt einem wesentlich höheren Wert von $55 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ entgegen.

Bei der Betrachtung der mittleren Löschzeit für die Probe 4 (vgl. Punkt 5.2) fällt auf, dass die mittlere Löschzeit für die Brandfläche A_2 nahezu doppelt so groß ist, wie für die beiden anderen Brandflächen. Dieser Sachverhalt widerspiegelt sich in der Abbildung 18. Ein Grund für dieses Verhalten konnte derzeit nicht identifiziert werden. Hierzu sind weitere Wiederholungsversuche der experimentellen Serie notwendig.

In der Abbildung 19 sind die Ergebnisse für die Vergleichsprobe, die Probe 3 und die Probe 4 auf dem Brennstoff Isopropanol dargestellt. Ebenso wie in der Abbildung 18 ist die Streuung der Messwerte deutlich erkennbar.

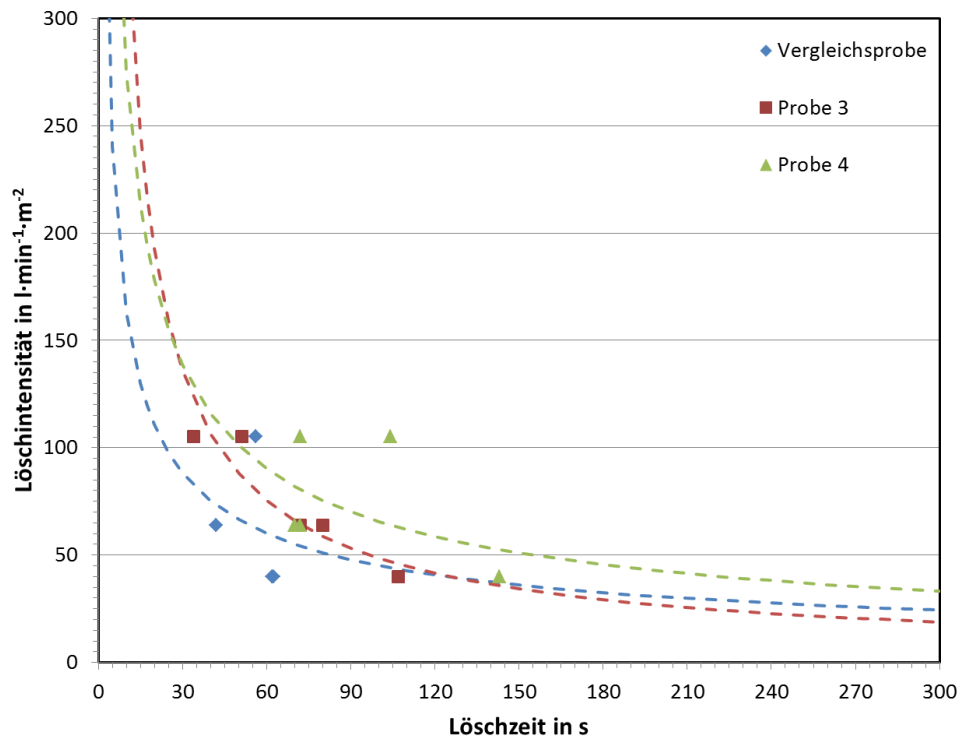


Abbildung 19: Löschintensität in Abhängigkeit von Löschzeit bei Anwendung von drei Schaumlöschmitteln auf Isopropanol

Die Ausgleichskurven weisen für die drei Schaumlöschmittel auf diesem Brennstoff ein ähnlicheres Verhalten auf. Beide Parameter, A und B (vgl. Tabelle 6), liegen in gleichartigen Bereichen. Die Grenzwerte für die Löschzeit der Proben 3 und 4 liegen oberhalb von 10 s. Der Grenzwert der Löschzeit für die Vergleichsprobe liegt bei 5 s. In einem Bereich von $15\text{-}35 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ liegen die Grenzwerte für die Löschintensität der drei Schaumlöschmittelproben. Ebenso wie in der Abbildung 18 erfolgt die Streuung der Wertepaar durch die Ergebnisse der Löschzeiten. Die Wertepaare für die Probe 3 weisen demnach die geringste Streuung auf. Im Fall der Vergleichsprobe und

der Probe 4 kann festgestellt werden, dass die Löschzeiten für die mittlere Brandfläche A_2 kleiner ermittelt wurden als bei den beiden anderen Brandflächen. Die zu erwartenden Löschzeiten sollten mit zunehmender Brandfläche ansteigen, welches bei diesen Proben nicht zutraf. Auf die Ursache für diesen Sachverhalt können keine Rückschlüsse gezogen werden. Eine Erhöhung der Versuchsanzahl würde eine größere statistische Sicherheit nach sich ziehen und damit Grenzwerte identifizierbarer machen.

Die Ergebnisse der Vergleichsprobe, der Probe 3 und der Probe 4 für den Brennstoff Bioethanol sind der Abbildung 20 dargestellt. Im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Abbildungen streuen die Wertepaare nicht so stark. Trotz dessen weist die Ausgleichskurve für Probe 3 eine Stauchung auf, wie anhand des Parameters A (vgl. Tabelle 6) zu erkennen ist. Die Grenzwerte der Löschzeit für die Vergleichsprobe und die Probe 4 liegen oberhalb von 10 s. Für die Probe 3 nähert sich dieser Wert den 5 s. Die Probe 3 und 4 streben im Unendlichen einem gleichen Grenzwert für die Löschintensität von $17 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ entgegen. Der Grenzwert der Löschintensität für die Vergleichsprobe von $10 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ liegt darunter.

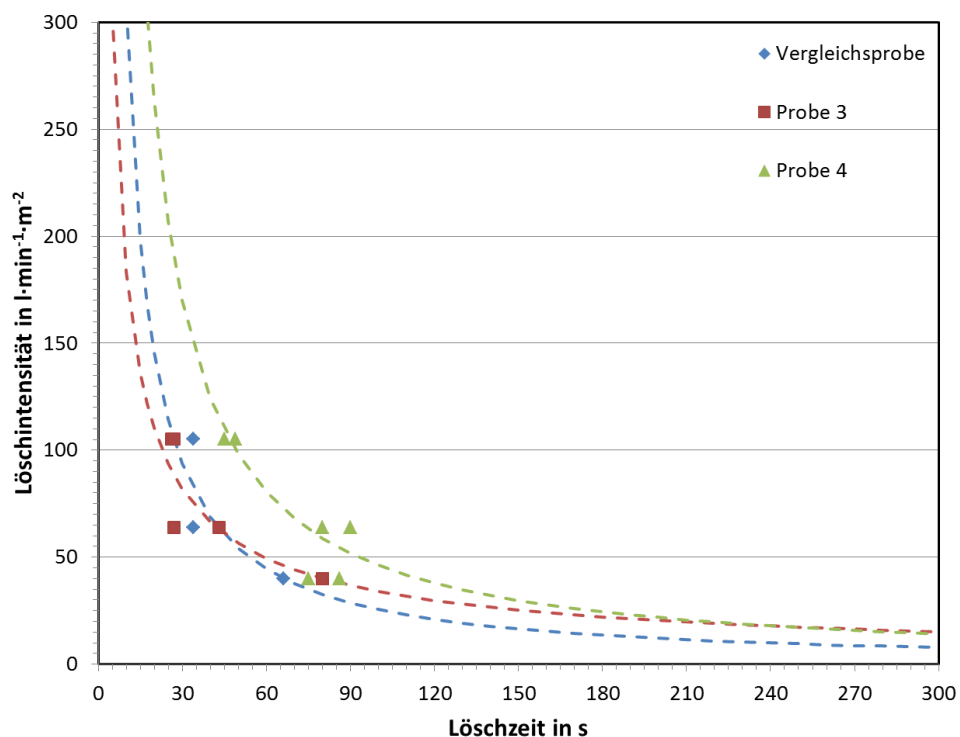


Abbildung 20: Löschintensität in Abhängigkeit von der Löschzeit bei Anwendung von drei Schaumlöschmitteln auf Bioethanol

Ein Vergleich der ermittelten Diagramme (Abbildungen 18-20) mit anderer Literatur als die von Teslenko [62] war nicht möglich. Die verfügbaren Quellen behandeln entweder Feststoffbrände oder geben pauschale Verläufe (ohne Skalierung der Achsen) an.

Tabelle 6: Parameter der Kurvenanpassung ($I_{L\ddot{o}sch} = A \cdot t_{L\ddot{o}sch}^B$)

Brennstoff	Schaumlöschmittel	A	B
Aceton	Vergleichsprobe	7199,7	-1,056
	Probe 3	26868	-1,483
	Probe 4	221,37	-0,244
Isopropanol	Vergleichsprobe	589,61	-0,558
	Probe 3	2520,1	-0,858
	Probe 4	1146,1	-0,621
Bioethanol	Vergleichsprobe	3708,1	-1,081
	Probe 3	988,25	-0,732
	Probe 4	6733,1	-1,082

Aufgrund der starken Schwankungen der Messpunkte um die jeweiligen Anpassungskurven wird auf die Bestimmung der optimalen Löschintensität $I_{L\ddot{o}sch,opt}$ verzichtet, da der Fehler sich darin fortsetzen würde. Somit ist die praktische Löschintensität $I_{L\ddot{o}sch,prak}$ nach Pleß [47-48, 50] nicht bestimmbar. Zukünftig ist es für die Ermittlung beider Größen notwendig, eine fundierte Datenlage durch eine höhere Anzahl an Messpunkten zu erlangen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Beziehung zwischen Löschintensität und Löschzeit in den Abbildungen 18-20 dargestellt wird. Bei einem Vergleich mit Ergebnissen aus der Literatur [62] wurde gleichfalls auf einem unpolaren Brennstoff für unterschiedliche Schaumlöschmittel bestimmt, dass die erzielten Kurven sich im Allgemeinen ähneln (vgl. Abbildung 7 in [62]).

7 Zusammenfassung

Ziel dieses Vorhabens war es, den Feuerwehren eine geeignete Entscheidungshilfe bei der Auswahl von fluorfreien Schaumlöschmitteln zur Brandbekämpfung von polaren Flüssigkeitsbränden zu geben. Als eine geeignete Entscheidungshilfe wird die Löschintensität gesehen, welche für fluorfreie Schaumlöschmittel noch nicht bestimmt wurde.

Die Aktualität für die Bearbeitung dieser Problematik resultiert aus den EU-Richtlinien zur Reglementierung der PFC. Jüngst wurde die Situation dadurch verschärft, dass ein weiterer zur Gruppe der PFC gehörender Stoff beschränkt wurde. Diese Sachlage verbreitet Unsicherheit bei den Kameraden und Kameradinnen der Feuerwehren. Zusätzlich wirken sich gerichtliche Verfahren gegen Einsatzleiter, die unwissentlich Schaummittel mit einer reglementierten fluorhaltigen Substanz einsetzen, nicht förderlich auf die Situation aus.

Im Vorgängerprojekt wurden 7 fluorfreie alkoholbeständige Schaumlöschmittel identifiziert. Im Rahmen dieses Projektes wurden die auf dem Markt befindlich fluorfreien Schaumlöschmittel erneut recherchiert und im Hinblick auf ihr Einsatzspektrum differenziert. Eine Liste der fluorfreien alkoholbeständigen Schaumlöschmittel wurde in diesem Bericht in der Tabelle 1 (vgl. S. 16) zusammengestellt.

Weiterhin wurde eine Datenerhebung bei Freiwilligen, Berufs- und Werkfeuerwehren durchgeführt, um einen aktuellen Überblick über die Sachlage bei den Feuerwehren zu erhalten. In Auszügen sind die Ergebnisse dieser Datenerhebung im Punkt 2.4 zusammengestellt.

Für die Umsetzung des Ziels dieses Projekts wurde eine internationale Recherche zum Begriff Löschintensität durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass die ursprüngliche Definition des Begriffs auf Feststoffbrände beim Einsatz des Löschmittels Wasser bezogen war. Eine Anwendung der Löschintensität beim Löschmittel Schaum ist ohne weiteres möglich. Die Grundlagen hierfür lieferte Pleß mit seinen Coautoren [47-48, 50]. Die ermittelten internationalen Berechnungsgrundlagen unterscheiden sich untereinander nur geringfügig. Am Häufigsten wurden Faktoren eingeführt, um die optimale Löschintensität in die praktische Löschintensität zu überführen.

Auf der Grundlage dieser Vorarbeiten und der Rückfragen nach der Veröffentlichung des Berichts [5] wurden von den 6 zuvor getesteten Schaumlöschmitteln zwei fluorfreie alkoholbeständige Schaumlöschmittel sowie das dort verwendete fluorhaltige alkoholbeständige Vergleichsschaumlöschmittel ausgewählt. Eine höhere Anzahl an fluorfreien alkoholbeständigen Schaumlöschmitteln konnte aufgrund der beschränkten finanziellen Möglichkeiten nicht getestet werden.

In Anlehnung an die DIN EN 1568-4 [9] wurde ein Versuchsstand aufgebaut, der eine Variation der Brandfläche beinhaltete. Drei Brandflächen wurden in folgenden Größen vorgesehen: $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$, $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$, $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$. Für eine feuerwehrtechnisch nahe Umsetzung wurde Brunnenwasser, die Zumischtechnik mit regelbarem Zumischer und Schaumstrahlrohr (Z2, S2) gewählt. Als Brennstoffe für die Versuchsdurchführung waren Aceton, Isopropanol und Bioethanol vorgegeben. Die Zumischrate wurde entsprechend der Vorgaben der Hersteller eingestellt.

Es wurden Löschversuche in jeder Brennstoff-Schaumlöschmittel-Kombination zweifach durchgeführt. Neben der Ermittlung der Löschzeit wurde gleichfalls die Bestimmung der 25 %-Rückbrandzeit durchgeführt. Zu beachten ist, dass entgegen der DIN EN 1568-4 nach dem Verlöschen des Brandes keine weitere Schaumlöschmittelzufuhr auf die Brandfläche erfolgte. D. h. diese Ergebnisse stellen einen Extremwert dar. In den Abbildungen 21 und 22 sind beide Größen normiert auf das Vergleichsschaumlöschmittel in Abhängigkeit von der Brandfläche und dem Brennstoff dargestellt. Zur Interpretation der Werte wurde die rote Linie für das Vergleichsschaumlöschmittel (Bezugslinie) in die Grafiken implementiert.

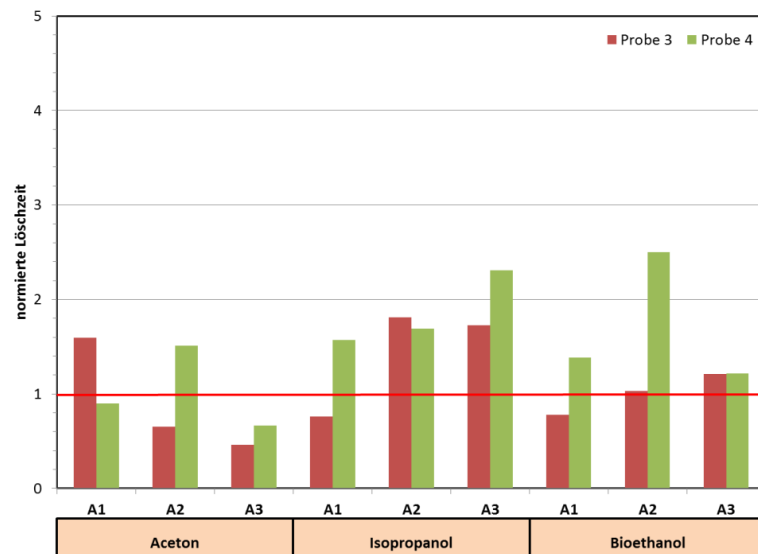


Abbildung 21: Normierte Löschzeit in Abhängigkeit von der Brandfläche bei Anwendung von zwei Schaumlöschmitteln auf drei Brennstoffen (Normierung auf das Vergleichsschaumlöschmittel, rote Linie = das Vergleichsschaumlöschmittel)

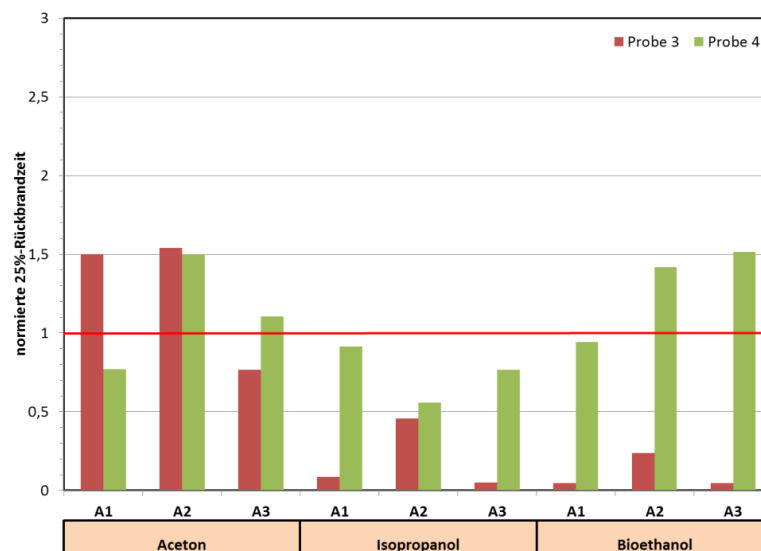


Abbildung 22: Normierte 25 %-Rückbrandzeit in Abhängigkeit von der Brandfläche bei Anwendung von zwei Schaumlöschmitteln auf drei Brennstoffen (Normierung auf das Vergleichsschaumlöschmittel, rote Linie = das Vergleichsschaumlöschmittel)

Dementsprechend sind die Löschzeiten der Proben, die unterhalb der roten Linie in der Abbildung 21 liegen, kürzer und alle, die oberhalb davon liegen, länger als die Löschzeit des Vergleichsschaumlöschmittels. D.h. alle Löschversuche der Proben die unterhalb der Bezugslinie liegen, löschen schneller den Brand als das Vergleichsschaummittel (bezogen auf die jeweilige Brandfläche und den jeweiligen Brennstoff).

In der Abbildung 22 verhält sich die Interpretation entgegengesetzt. Die rote Linie (Bezugslinie) stellt die normierte Rückbrandbeständigkeit des Vergleichsschaumlöschmittels dar (Wert: 1). Die Rückbrandzeiten der Proben, die unterhalb der roten Linie in der Abbildung 22 liegen, sind weniger rückbrandbeständig und alle, die sich oberhalb davon befinden, weisen eine höhere Rückbrandbeständigkeit auf als das Vergleichsschaumlöschmittel (Schaumapplikation endete mit dem Löschen des Brandes).

Aus diesen Ergebnissen wurde die Löschintensität berechnet und in Abhängigkeit von der Löschzeit für die drei Brennstoffe dargestellt. Die erhaltenen Datenpunkte wurden einer Regression unterzogen, um den funktionalen Zusammenhang zu ermitteln. Die gewählte Regressionsfunktion war eine Potenzfunktion. Die ermittelten Parameter sind in Tabelle 6 (s. S. 49) zusammengestellt. Die Kurven sind in den Diagrammen eingefügt. Im Vergleich mit der Literatur wird festgestellt, dass die Kurvenverläufe diesen ähneln. Innerhalb eines Brennstoffs sind die Datensätze pro Schaumlöschmittel-Brandfläche zu gering und weisen eine Streuung um die Regressionskurven auf.

Es wird daraus geschlussfolgert, dass für diese Betrachtung zu wenige Datensätze vorlagen, d. h. zu wenige Experimente durchgeführt wurden, um abgesicherte Ergebnisse für die Bestimmung der optimalen Löschintensität zu ziehen. Die optimalen Löschintensitäten und damit auch die praktischen Löschintensitäten wurden nicht ermittelt. In der geringen Anzahl an Messpunkten wird die Hauptursache für diese Schwankungen gesehen. Mindestens eine Anzahl von 5 bis 10 Wertepaaren sollten für eine Kurvenanpassung vorliegen, welche aufgrund der beschränkten finanziellen Mittel nicht bestimmt werden konnten.

Ergänzend wurden zur Klärung der aufgetretenen Messwertstreuungen die wesentlichen und während der Versuche erfassten Schaumkenngrößen analysiert. Eine Ursache kann in der Verschäumung der Schaumlöschmittel liegen. Es wurden sowohl die VZ als auch die WVZ/WHZ analysiert. Für die Probe 3 lagen diese Werte innerhalb der Herstellerangaben, jedoch für die Vergleichsprobe und die Probe 4 wurden Werte unterhalb der Herstellerangaben bestimmt. Im Vergleich zu den bestimmten Werten der Kleinlöschversuche wurden diese nicht erreicht. Die Betrachtung der Zumischer-Schaumrohr-Kombination ergab, dass die realisierte Durchflussmenge vor dem Strahlrohr unter Berücksichtigung der Toleranz erreicht wurde.

Weiterhin wurde die Zumischung des Löschschaummittels am Zumischer mittels der Leitfähigkeitsmessung an den erzeugten Schaumlöschmittellösungen überprüft. Hieraus ergab sich, dass bei dem Vergleich mit den Kalibrierkurven die Schaummittellösungen unterhalb der Kalibrierkurven lagen. Damit kann

geschlussfolgert werden, dass eine geringere Zumischung des Schaumlöschmittels zum Wasser erfolgte und nicht der voreingestellten Zumischrate am Zumischer entsprach.

Aus den Erhebungen in Abschnitt 2.4 wird geschlussfolgert, dass die Thematik der fluorfreien alkoholbeständigen Schaumlöschmittel in den deutschen Feuerwehren wahrgenommen wurde. Die Umstellung von fluorhaltigen auf fluorfreien Schaumlöschmitteln hat begonnen, jedoch bestehen verschiedene Unsicherheiten z. B. bei der Löscheffektivität auf anderen Brennstoffen (als den hier getesteten). Daher wird von den Feuerwehren die Möglichkeit in Betracht gezogen, eigene Tests durchzuführen.

Ein Ziel der Untersuchungen war es, eine Zusammenstellung der aktuell auf dem Markt verfügbaren fluorfreien alkoholbeständigen Schaumlöschmittel zur Verfügung zu stellen. Mit Hilfe der Übersicht in Tabelle 1 wird dieser Forderung Rechnung getragen.

Der Zusammenhang zwischen Löschintensität und Löschezit wurde für drei unterschiedliche Brennstoffe und zwei fluorfrei alkoholbeständige Schaumlöschmittel ermittelt. Die Entscheidungshilfe optimale Löschintensität bzw. praktische Löschintensität wurde abschließend noch nicht bestimmt. Ausblickend sollten zukünftig weitere Serien an Lösversuchen dieser Art durchgeführt werden, um zu der notwendigen Aussage für die Feuerwehren zu gelangen.

Aus den Ergebnissen des hier vorliegenden Berichtes resultiert der Wunsch einzelner Feuerwehren, vor dem Kauf von fluorfreien alkoholbeständigen Schaumlöschmittel, realistische Tests durchzuführen. Daher eröffnet das Institut für Brand- und Katastrophenschutz den interessierten Feuerwehren die Möglichkeit, diese Tests mit dem in Heyrothsberge vorhandenen Knowhow in den Brandversuchsanlagen zu unterstützen und zu begleiten. Weitere Informationen sind durch Kontaktaufnahme über unsere Poststelle (Tel: 039292 6101, Fax: 039292 61306, E-Mail: poststelle.ibk@ibk.sachsen-anhalt.de) verfügbar.

8 Hinweise für die Feuerwehr

Im Rahmen der durchgeführten Experimente zum Löschen mit fluorfreien alkoholbeständigem Schaumlöschmittel kann festgestellt werden, dass nicht nur die Eigenschaften des Schaumlöschkonzentrats (Viskosität, Fließfähigkeit etc.) einen maßgeblichen Einfluss auf die Schaumerzeugung besitzen, sondern noch weitere Faktoren wie:

- Zumischtechnik (Zumischer, Zumischdrucksystem u. a.),
- Erfahrung des Maschinisten an der Förderpumpe bzw. an der Zumischanlage, (manuelle Nachregelung von Druck und Durchfluss),
- Güte der Reinigung von Schaumtechnik nach dem letzten Einsatz.

Diese müssen bei der Erzeugung von Schaum berücksichtigt werden, um die Schaumqualität nicht herabzusetzen.

Weiterhin ist ein schneller Löscherfolg von nachfolgenden Größen abhängig:

- Wurfweite des eingesetzten Schaumstrahlrohres,
- Qualität des verwendeten Wassers,
- Ebenheit der Oberfläche zur indirekten Schaumaufgabe.

Diese können die Qualität des erzeugten Schaumes und die frühzeitige Zerstörung des Schaumes beeinflussen.

Des Weiteren wird empfohlen, für die Auswahl von fluorfreien, alkoholbeständigen Schaumlöschmitteln eigenständige und von den Herstellern/Vertrieben der Schaummittelkonzentrate unabhängige Löschversuche durchzuführen. Dadurch kann das geeignetste Schaumlöschmittel hinsichtlich seiner Löscheffektivität auf den polaren Brennstoffen, welche im Einsatzbereich der Feuerwehr auftreten, beurteilt werden.

9 Literatur

- [1] Amtsblatt der Europäischen Union (L 372/32):
Richtlinie 2006/122/EG des Europäischen Parlaments und des Rates: zur dreißigsten Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Perfluorooctansulfonate).
Straßburg, 2006
- [2] Amtsblatt der Europäischen Union (L 223/29):
Verordnung (EU) Nr. 757/2010 der Kommission vom 24. August 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe hinsichtlich der Anhänge I und III
- [3] Amtsblatt der Europäischen Union (L 150/14):
Verordnung (EU) 2017/1000 der Kommission vom 13. Juni 2017 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) betreffend Perfluorooctansäure (PFOA), ihre Salze und PFOA-Vorläuferverbindungen
- [4] PACT – RMOA and hazard assessment activities der European Chemicals Agency
Url: <https://echa.europa.eu/de/pact> (Stand: 07.06.2018)
- [5] Keutel, K., Koch, M.: Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Lösungsverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d. h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten.
Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, IMK Bericht Nr. 187, Heyrothsberge, 2016
(Url: https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo_Publikationen/imk_bericht_187.pdf)
- [6] Pressemitteilung 55/2018 der Pressestelle des Bundesgerichtshofs vom 19.03.2018:
Verhandlungstermin am 14. Juni 2018, 10:00 Uhr, III ZR 54/17 – Amtshaftung aufgrund Feuerwehreinsatzes bei Großbrand.
Url: http://juris.bundesgerichtshof.de/cgi-bin/rechtsprechung/document.py?Gericht=bgh&Art=pm&pm_nummer=0055/18
(Stand: 08.06.2018)
- [7] Pinkenburg, G.: Stadt muss Schadenersatz nach Schaummitteleinsatz zahlen.
Brandschutz, 12, 2013, 961-963
- [8] Thorns, J.: Stadt Baden-Baden haftet für Einsatz des umweltschädlichen Schaums.
Brandschutz, 3, 2017, 224
- [9] Norm DIN EN 1568-4:2010 Feuerlöschmittel – Schaumlöschmittel – Teil 4: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Schwertschaum zum Aufgeben auf nicht-polare (mit Wasser nicht mischbare) Flüssigkeiten.
Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008
- [10] Broschüre Volvo Trucks Schwerlastfahrzeuge – Produktinformation für VOLVO FH16, VOLVO FH, VOLVO FMX UND VOLVO FM.
Volvo Group Trucks Central Europe GmbH, März 2018
- [11] Seliger, U.: Konkretisierung der Gefährdungspotenziale eines Straßentunnels auf der Basis der Tunnelkategorisierung für den Gefahrguttransport.
Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, IMK Bericht Nr. 190, Heyrothsberge, 2017

- [12] Trenn, A.; Jagst, P.: Der Wind stand günstig.
Gefährlicheladung, 03, 2017, 20-23
- [13] Panknin, A.: A2 nach Unfall gesperrt: Fahrer in Tanklaster verbrannt. Pressebericht regionalWolfenbüttel.de
Url: <https://regionalwolfenbuettel.de/a2-nach-unfall-gesperrt-fahrer-in-tanklaster-verbrannt/> (Stand: 20.12.2018)
- [14] Förtsch, F.: Oberfranken: Voll beladener Tanklaster fängt auf B 15 Feuer – Bundesstraße voll gesperrt.
Pressebericht inFranken.de
Url: <https://www.infranken.de/regional/hof/unfall/oberfranken-voll-beladener-tanklaster-faengt-auf-b-15-feuer-bundesstrasse-voll-gesperrt;art170747,3816937>
(Stand: 20.12.2018)
- [15] Krause, A. im Gespräch mit E. Peltzer: Große Verunsicherung bei den Anwendern.
Schwerpunkt: Umgang mit fluorhaltigen Löschmitteln, BrandschutzKompakt, 59, September 2017, 7
- [16] Krause, A.: Unkalkulierbare Brände stoppen – Ist fluorfreies Löschen überall möglich?
Schwerpunkt: Umgang mit fluorhaltigen Löschmitteln, BrandschutzKompakt, 59, September 2017
- [17] Biegel-Engler, A.: Standpunkt.
Schwerpunkt: Umgang mit fluorhaltigen Löschmitteln, BrandschutzKompakt, 59, September 2017
- [18] IPEN Expert Panel: The Global PFAS Problem: Fluorine-Free Alternatives as Solutions – Firefighting foams and other sources – Going fluorine-free.
Geneva, April-May 2019
- [19] IPEN Independent Expert Panel Convened by IPEN Stockholm Convention: Fluorine-free firefighting foams (3F) – Viable alternatives to fluorinated aqueous film-forming foams (AFFF), Rome, September 2018
- [20] R. Hetzer, F. Kümmerlen, D. Blunk: Auf dem Weg vom Siloxantensid zum fluorfreien AFFF.
4. Magdeburger Brand- und Explosionsschutztag, Tagungsband, 26.-27. März 2015, Magdeburg, ISBN 978-3-00-048960-0, 8
- [21] Blunk, D.; Hetzer, R.; Wirz, K.: Feuerlöschschäume der Zukunft.
Crises Prevention, 1, 2014, 38
- [22] De Muniain, J. M. S.: South Australia bans AFFF.
Industrial Fire Journal, 1. Quarter 2018, 2018, 4
- [23] Willson, M.: How could two states come to contrary conclusions over PFAS?
ASIA PA-CIFIC FIRE, 10, 2018, 42-44
- [24] De Vries, H.: Das Ziel: Fluorfrei.
FEUERWEHR, 7-8, 2014, 34-36
- [25] Warmbier, J.: AFFF-Schaummittel – Sachstand aus Sicht des betrieblichen Brandschutzes.
Jahresfachtagung vfdb, Tagungsband, vfdb (Hrsg.), Stuttgart, Band/Jahrgang 63, Altenberge, 2016, 413-427
- [26] Schmid, M.: Vergleich: PFT-haltige und fluorfreie Schaumlöschmittel, Drei kooperierende Werkfeuerwehren entwickelten gemeinsames Konzept.
BRANDSchutz, 2, 2016, 122-127
- [27] Saint-Jalmes, A.: Physical chemistry in foam drainage and coarsening.
Soft Matter, 10, 2006, 836 2006
- [28] Hinnant, K. M.; Conroy, M.W.; Ananth, R.: Influence of fuel on foam degradation for fluorinated and fluorina-free foams.

- Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 522, 2017, 1-17
- [29] Kennedy, M.J.; Conroy, M. W.; Dougherty, J.A.; Otto, N.; Bradley, A.W.; Ananth, R.; Fleming, J.W.: Bubble coarsening dynamics in fluorinated and non-fluorinated firefighting foams.
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 470, 2015, 268-279
- [30] Laundess, A. J.; Rayson, M. S.; Dlugogorski, B. Z.; Kennedy, E. M.: Small-Scale Test Protocol for Firefighting Foams DEF(AUST)5706: Effect of Bubble Size Distribution and Expansion Ratio.
Fire Technology 47(1), 2011, 149-162
- [31] Castro, J.: Fuel for thought.
Industrial Fire Journal, 2, 2017, 34-36
- [32] Hetzer, R. H.; Schönherr, E.; Mickleit, M.: AFFF: Sind wasserfilmbildende Löschsäume noch zeitgemäß?
Vfdb-Zeitung, 4, 2014, 171-175
- [33] URL: www.lastfire.co.uk/, Stand: 10.01.2019
- [34] URL: <http://www.febdex.com/wp-content/uploads/2015/04/Industrie-Last-Fire-Test-BASF-04.2014.pdf>, Stand: 23.01.2019
- [35] Chisholm, B.; Ramsden, N.; Watkins, P: Fluorine free foam (F3) – Fire tests.
Resource Protection International (RPI), RPI Ref: P1177, 2012
- [36] Norm DIN EN 1568-3:2008 Feuerlöschmittel – Schaumlöschmittel – Teil 3: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Schwertschaum zum Aufgeben auf polare (mit Wasser mischbare) Flüssigkeiten.
Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008
- [37] Norm ISO 7203-1:2019-07: Feuerlöschmittel – Schaummittel – Teil 1: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Schwertschaum zum Aufgeben auf nicht-polare (mit Wasser nicht mischbare) Flüssigkeiten.
International Organization for Standardization, Geneva (CH), 2019
- [38] Norm ISO 7203-3:2019-07
Feuerlöschmittel – Schaummittel – Teil 3: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Schwertschaum zum Aufgeben auf polare (mit Wasser mischbare) Flüssigkeiten
International Organization for Standardization, Geneva (CH), 2019
- [39] Norm MIL-F24385 (US), Military Specification: Fire Extinguishing Agent, Aqueous Film-Forming Foam (AFFF) Liquid Concentrate, for Fresh and Sea Water.
Military and Government Specs & Standards (Naval Publications and Form Center, kurz: NPFC), Philadelphia (USA), 1994
- [40] ICAO Doc 9137-AN/898 Airport Services Manual Part 1: Rescue and Firefighting, Fourth Edition, 2015
- [41] Hüller, Ch.: Fluorfreie Löschschaummittel für Feuerwehren.
Masterthesis, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2019
- [42] Schwarz, T.: Fluorfreie Löschschaummittel für den Einsatz bei Feuerwehren – Eine Studie zur Verfügbarkeit, Einsatzbarkeit und Löschwirksamkeit.
Praktikumsarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2017
- [43] Castro, J.: Firefighting foam concentrates – the constant evolution: Part 1.
Asia Pacific Fire, 2016, 107-111
- [44] Hüller, Ch.: Umfrage zu fluorfreien Schaumlöschmitteln bei Freiwilligen Feuerwehren.
URL: <https://www.feuerwehr-forum.de>, MSG-Nr: [846710], 18.02.2019
- [45] Hüller, Ch.: Umfrage zu fluorfreien Schaumlöschmitteln bei Freiwilligen Feuerwehren.

- URL: <https://www.facebook.com/BrandschutzDFZ/>, 19.02.2019
- [46] Hüller, Ch.: Umfrage zu fluorfreien Schaumlöschmitteln bei Freiwilligen Feuerwehren.
URL: <https://www.facebook.com/Feuerwehr.UB/>, 21.02.2019
- [47] Pleß, G.: Schwer- oder Mittelschaum?
Brandschutz, Explosionsschutz: Aus Forschung und Praxis, Bd. 9, Staatsverlag d. DDR, Berlin 1983, 12-17
- [48] Pleß, G.; Kretzschmar, A.: Löschintensität -ihre Bedeutung und Berechnung. Unser Brandschutz, 11, 1985, 8-9
- [49] Perrin, M.; Hirth, Y.; Boeglin, L.; Mueller, Y; Fischbach, P.: Utilisateur Cemiul - Document stagiaire, Formation Sapeur-Pompier. EDSP, 2011
- [50] Pleß, G.; Lubosch, E.: Löschen mit Schaum. Rudolf Haufe Verlag; Berlin; 1991
- [51] De Vries, H.: Einsatz von Schaummitteln: Auswahl und Logistik. Ecomed Sicherheit, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, Landsberg, 2017
- [52] Grimwood, P.; Sanderson, A.: A performance based approach to defining and calculating adequate firefighting water using s.8.5 of the design guide BS PD 7974:5:2014 (fire service intervention).
Fire Safety Journal, Vol. 78, 11.2015, 155–167
- [53] Standard: PD 7974-5:2014:
Application of re safety engineering principles to the design of buildings. Fire and rescue service intervention, 2014.
British Standards Institution BSI, London, 2014
- [54] Norm DIN EN 13565-2:2018-12 Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Schaumlöschanlagen – Teil 2: Planung, Einbau, Wartung, 2018
Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2018
- [55] Norm NFPA 11 (2016)
Standard for Low-, Medium- and High-Expansion Foam.
National Fire Protection Association, Quincy, 2016
- [56] Hessisches Ministerium des Innern und für Sport (HMDIS):
Leitfaden: Auswahl von Schaummitteln. 2007
- [57] Guide GESIP n°2012-02 intitulé: Extinction de feux de rétention de liquids inflammables: emploi d'émulseurs particulièrement performants.
version de février, 2017
- [58] Ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement/Ministre de l'Intérieur: Méthode de calcul du taux d'extinction de feux de liquides inflammables - Circulaire du 6 mai 1999
Circulaire du 06/05/99 relative, 1999
- [59] Instruction Technique: Feux de liquids inflammables.
Service d'incendie et de secours du département du rhône et de la métropole de lyon, 2015
- [60] Norm DIN EN 16712-1:2015 Tragbare Geräte zum Ausbringen von Löschmitteln, die mit Feuerlöschpumpen gefördert werden – Tragbare Schaumgeräte – Teil 1: Zumischer PN 16.
Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2015
- [61] Norm DIN EN 16712-3:2015 Tragbare Geräte zum Ausbringen von Löschmitteln, die mit Feuerlöschpumpen gefördert werden – Tragbare Schaumgeräte – Teil 3: Schwer- und Mittelschaumrohre PN 16.
Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2015

- [62] Teslenko, G. P.; Kazakow, M. W.; Lubosch, E.; Kretzmar, A.: Untersuchung der kolloid-chemischen Eigenschaften und Löscheigenschaften von Schaumbildnern auf der Grundlage oberflächenaktiver Stoffe.
Brandschutz, Explosionsschutz: Aus Forschung und Praxis, Bd. 7, Staatsverlag d. DDR, Berlin 1982, 23-31
- [63] BDBe Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V.: „Marktdaten 2017“, BDB^e Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V., Pressemitteilung Juni 2018

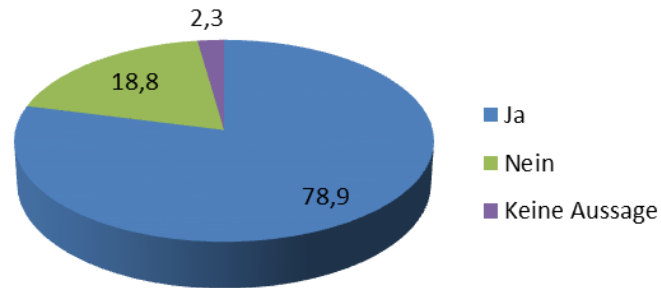
Anhang

A1: Marktanalyse aller fluorfreien Schaumlöschmittel 2018/2019

Hersteller	Schaummittel	Klasse	geeignet für		DIN 1568	Sonstige Zertifizierungen/Bemerkungen
			polar	unpolar		
3F	FREEDOL	FFF-AR	3% - 6%	3%	ja	
Aberdeen	Aberdeen 3x3 AR-F3	FFF-AR	3%	3%	ja	
	Aberdeen 3x6 AR-F3	FFF-AR	6%	3%	ja	
	Aberdeen 1x3% F3	FFF-AR	3%	1%	nein	
Angus fire	Respondol ATF 3x3	FFF-AR	3%	3%	ja	
	Respondol ATF 3x6	FFF-AR	6%	3%	?	
Auxquima	Unipol-FF	FFF-AR	6%	3%	ja	LASTFIRE
Bio ex	Ecopool	FFF-AR	ja	ja	ja	LASTFIRE
	Ecopool Premium	FFF-AR	ja	ja	ja	LASTFIRE, CEREN
D.Stahmer	Moussol-FF	FFF-AR	3% - 6%	3%	ja	
Eau et feu	Foam master 3F 3x3	FFF-AR	3%	3%	ja	
	Foam master 3F 3x6	FFF-AR	6%	3%	ja	
	Foam master 3F 6x6	FFF-AR	6%	3%	ja	
Febbex	ifoam	FFF-AR	ja	ja	?	
Firechem	Fluorine Free Foam Concentrate 1	FFF-AR	ja	ja	?	
	Fluorine Free Foam Concentrate 2	FFF-AR	ja	ja	?	
	Fluorine Free Foam Concentrate 3	FFF-AR	ja	ja	?	
Flamestop	Ecofoam F3	FFF-AR	6%	ja	nein	
Fomtec	ENVIRO 3x3 Ultra	FFF-AR	3%	3%	ja	
	ENVIRO 3x3 Plus	FFF-AR	3%	3%	ja	
	ENVIRO 3x6 Plus	FFF-AR	3%	6%	ja	
	ENVIRO 6x6 Plus	FFF-AR	6%	6%	ja	
	ENVIRO eMAX	FFF-AR	?	?	ja	
	ENVIRO ICAO	FFF-AR	3%	3%	nein	ICAO Class B
National foam	Universal®F3 Green	FFF-AR	3%	3%	nein	
Orchidee	Orchidex BlueFoam 1x3	FFF-AR	3%	3%	ja	
	Orchidex BlueFoam 3x3	FFF-AR	3%	3%	ja	
	Orchidex BlueFoam 3x6	FFF-AR	6%	3%	ja	
	Orchidex BlueFoam 6x6	FFF-AR	6%	6%	ja	
Phos-Check	Phos-Check 3x6 Fluorine Free	FFF-AR	6%	3%	ja	UL, LASTFIRE
Solberg	RE-healing foam RF 3x3 ATC	FFF-AR	3%	3%	ja	Auch in Sprinkleranlagen zulässig
	RE-healing foam RF 3x6 ATC	FFF-AR	6%	3%	ja	ICAO Klasse B und C
vsfocum	Silvara APC 3	FFF-AR	3%	3%	ja	ICAO Level B, LASTFIRE
	Silvara APC 1	FFF-AR	3%	1%	ja	
3F	HYFEX 1	MBS	nein	ja	ja	
	HYFEX 3	MBS	nein	ja	ja	
	HYFEX 6	MBS	nein	ja	ja	
	FREEFOR SF 1	ClassA	nein	ja	ja	
	FREEFOR SF 2	ClassA	nein	ja	ja	
	FREEFOR SF 3	ClassA	nein	ja	ja	
	Wetting and Foaming Agent	N	nein	ja	ja	
Aberdeen	Class A 1%	ClassA	nein	nein	nein	für kleine Flüssigkeitsbrände geeignet
	Aberdeen Foam 3% F3	S	nein	ja	ja	
	Aberdeen Foam 6% F3	S	nein	ja	ja	
	Aberdeen Foam 1% F3	S	nein	ja	ja	
	Aberdeen Foam 2% HI-EX	S	ja	ja	nein	IMO MSC.1/Circ1312
Angus fire	Syndra	S	nein	ja	ja	
	Jetfoam 1%	S	nein	?	nein	für A1-Treibstoffbrände, ICAO B
	Jetfoam 3%	S	nein	?	nein	für A1-Treibstoffbrände, ICAO B
	Jetfoam 6%	S	nein	?	nein	für A1-Treibstoffbrände, ICAO B
	Expandol	S	nein	nein	nein	Leichtschäum, f. kleine Flüssigkeitsbrände
	Expandol LT	S	nein	nein	nein	Leichtschäum, f. kleine Flüssigkeitsbrände
	Forexpan	ClassA	nein	nein	nein	für kleine Flüssigkeitsbrände
Auxquima	SF-60L	MBS	nein	ja	ja	
	H-930	MBS	nein	?	?	
	RFC-105	MBS	nein	ja	ja	
	Unipol-FF 1	S	nein	ja	ja	
	CAFOAM	ClassA	nein	nein	nein	für kleine Flüssigkeitsbrände
BioEX	Biofoam 5	MBS	nein	ja	nein	VERITAS, 2%
	Biofoam 15	MBS	nein	ja	nein	VERITAS, 2%
	BIO FOR C	MBS	nein	0,1-0,3%	ja	UL,NFPA, CEREN
	BIO FOR N	MBS	nein	0,2-0,5%	ja	UL,NFPA, CEREN
	BIO FOR S	MBS	nein	0,5-3,0%	ja	UL,NFPA, CEREN
	ECOPOL F3 HC	S	nein	ja	ja	

Hersteller	Schaummittel	Klasse	geeignet für		DIN 1568	Sonstige Zertifizierungen/Bemerkungen
			polar	unpolar		
Buckeye Fire	High Ex 2.2%	S	?	?	?	
Chemguard	Class A Plus	ClassA	nein	ja	nein	
	Extreme	ClassA	nein	ja	nein	
	DIRECTATTACK	ClassA	nein	nein	nein	
	2% Xtra High Expansion Foam	MBS	nein	ja	nein	
	2% Xtra High Expansion Foam High	MBS	nein	ja	nein	
	2% Xtra High EF Vee Foam High X	MBS	nein	ja	nein	
D.Stahmer	Schaumgeist	P	nein	3% - 6%	ja	
	Sthamex-class A	ClassA	nein	0,50%	ja	
	Sthamex-class A classic	ClassA	nein	1%	ja	
	Sthamex F15	MBS	nein	3%	ja	
	Sthamex F6	MBS	nein	3%	ja	
	Sthamex F20	MBS	nein	3%	ja	
	Sthamex F25	MBS	nein	3%	ja	
	Sthamex-K1%	MBS	nein	1%	ja	
	vapurex LV 1% F-10	S	nein	1%	ja	
	vapurex LV ICAO B	S	nein	3%	?	ICAO B
Denko	High Expansion Class A/B Foam	ClassA	nein	ja	nein	
	Class A Foam	ClassA	nein	nein	nein	
Fireade	Fireade 3%	S	nein	ja	ja	ICAO Level C, UL162
	FireAde Class A	ClassA	nein	?	?	
	fireAde MIL-SPEC	S	nein	3%	nein	ICAO Level C, MIL-SPEC
	fireAde MIL-SPEC	S	nein	6%	nein	ICAO Level C, MIL-SPEC
Fomtec	LSxMax	MBS	nein	3%	ja	
	LSaMax	MBS	nein	ja	ja	
	MB 5	MBS	nein	2-6%	ja	2%-6%
	MB 20	MBS	nein	2-6%	ja	2%-6%
	P 3%	P	nein	3%	ja	
	P 6%	P	nein	6%	ja	
	Enviro Class A Super	ClassA	nein	nein	nein	Für kleine Flüssigkeitsbrände geeignet
	Enviro Class A	ClassA	nein	nein	nein	Für kleine Flüssigkeitsbrände geeignet
	Enviro USP	MBS	nein	ja	ja	ICAO Level B
Kvfire	KV-Lite HEFL	S	nein	?	nein	
	KV-Lite PF 3%	P	nein	3%	nein	
	KV-Lite PF 6%	P	nein	6%	nein	
National Foam	KNOCKDOWN	ClassA	nein	nein	nein	UL, NFPA
	Responder	ClassA	nein	nein	nein	
Novacool	Novacool UEF Foam	MBS	nein	ja	nein	UL
Orchidee	Orchidex 1% F-ECO	S	nein	ja	nein	
	Orchidex 3% F-ECO	S	nein	ja	ja	
	Orchidex 3% HP	S	nein	ja	ja	
	Orchidex F-10	S	nein	nein	nein	
	Orchidex 3% ECO	S	nein	nein	nein	
	Orchidex 6% F-ECO	S	nein	ja	ja	
	Orchidex A	ClassA	nein	ja	ja	
	Orchidex A Royal	ClassA	nien	ja	ja	
	Orchidex XF 3000	N	nein	ja	nein	Netzmittel für Klasse B
Phos-Check	Phos-Check 1% Fluorine Free	S	nein	ja	ja	UL, für Leicht- und Schwerschaum
	Phos-Check 1% WD881	ClassA	nein	ja	nein	UL, für kleine Flüssigkeitsbrände
Pyrocool	Pyrocool FEF 0,4%	MBS	nein	ja	nein	
Solberg	Re-Healing RF6	S	nein	ja	nein	ICAO Level B
	Re-Healing RF3	S	nein	ja	ja	ICAO Level B,C
	Re-Healing RF1	S	nein	ja	ja	
	Re-Healing RF1-AG	S	nein	ja	ja	RF1-S, RF3-LV
	Re-Healing RF6	S	nein	ja	nein	UL162
	Re-Healing RF3	S	nein	ja	nein	UL162, ICAO Level B und C
	Re-Healing RF-MB	S	nein	ja	teils	
TOTAL	EXPYROL 3% F	MBS	nein	ja	ja	
	KOMET Extrakt S	MBS	nein	ja	ja	
	EXPYROL Class A	ClassA	nein	ja	ja	
	EXPYROL Class A Royal	ClassA	nein	ja	ja	
	KOMET Extrakt A	ClassA	nein	ja	ja	
vsfocum	Silvara ZFK	S	nein	0,50%	ja	
	Silvara I	S	nein	1%	ja	ICAO Level B
	Silvara T3	S	nein	3%	ja	
	Silvara 3	S	nein	3%	ja	
	Silvara K1	S	nein	1%	nein	
	Silvara K3	S	nein	3%	nein	ICAO Level B
	Silvara K6	S	nein	6%	nein	
	BoldFoam M3	S	nein	ja	ja	Schaum besonders für Werfer geeignet
	BoldFoam A+	ClassA	nein	ja	ja	Weitere Varianten ohne Zertifizierung

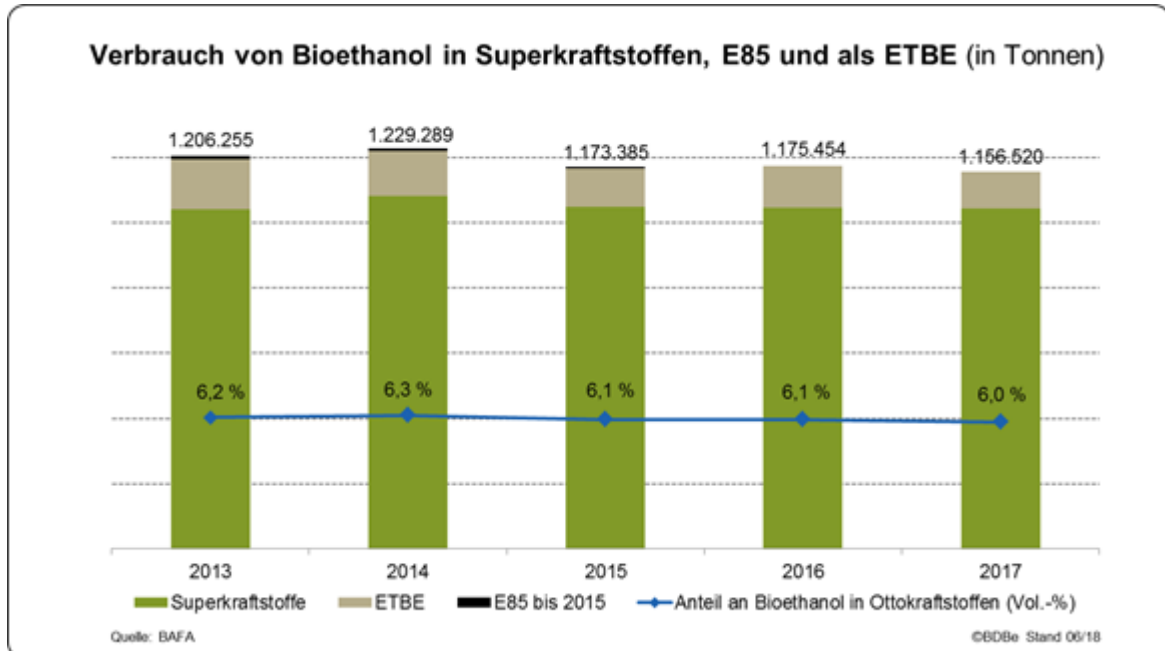
A2: Abfrageergebnis zur Vorhaltung von Schaumlöschmitteln (FFF) für unpolare Brennstoffe bei Freiwilligen Feuerwehren



Angaben in %

A3: Marktanalyse zum Bioethanol

Marktanalyse des BDBe Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V. zum Bioethanol [63]



A4: Spezifikation Isopropanol



SPEZIFIKATION

Produkt	003074 Isopropanol
Chem. Bezeichnung	2-Propanol
Chem. Formel	(CH ₃) ₂ CHOH
Synonyme	IPA; Alkohol C ₃ ; Dimethylcarbinol; Isopropylalkohol; sec.-Propylalkohol
CAS-Nr.	67-63-0
EINECS-Nr.	200-661-7
Molekulargewicht	60,09 g/mol
Zolltarif-Nr.	2905 12 00

Daten Spezifikation

<i>Prüfmerkmal</i>	<i>Einheit</i>	<i>Spezifikation</i>	<i>Prüfmethode</i>
Aussehen		klar, farblos, flüssig	
Geruch		charakteristisch	
Brechungsindex n_D²⁰		1,375 - 1,379	DIN 51 423
Wassergehalt	%	≤ 0,1	DIN 51 777-1
Farbzahl	Hazen	≤ 10	DIN EN 1557
Reinheit	%	≥ 99,8	
Säuregehalt als Essigsäure	%	≤ 0,002	DIN EN ISO 2114

Daten Durchschnittsanalyse

<i>Prüfmerkmal</i>	<i>Einheit</i>	<i>Spezifikation</i>	<i>Prüfmethode</i>
Dichte (20°C)	g/ml	0,784 - 0,787	DIN 51 757
Siedepunkt (1013 mbar)	°C	82,4	
Gefrierpunkt	°C	- 89,5	
Flammpunkt	°C	13,0	
Verdunstungszahl (Ether=1)		ca. 11	
Löslichkeit in Wasser		mischbar	

Diese Spezifikation wurde auf Basis der Angaben unseres Vorlieferanten erstellt und ersetzt alle vorherigen Ausgaben. Sie entbindet den Kunden nicht von der Wareingangskontrolle gemäß HGB 377/378. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung der Eignung des Produktes für einen bestimmten Einsatzzweck kann daraus nicht abgeleitet werden. This is a complete and true copy of the supplier's certificate of analysis / specification. We are not responsible for the correctness of the data contained herein. This certificate / specification does not release the customer from the obligation to carry out an inspection of the goods received. We shall not be liable for any consequential losses or damages whatsoever.

Vers.2.0 vom 07.08.2017 Erstellt: RP Geprüft: AP Freigabe: RP Seite 1 von 1
 Änderungsgrund: Aktualisierung
 Z:\Winword\Produkte\Spezifikationen\VERKAUF\G, H, I, J\ISOPROPANOL_CD003074_770153_Vers. 2.0.Doc

Carl Dicke GmbH & Co. KG * Postfach 30 01 51 * D-41191 Mönchengladbach * Wetschewell 15 * D-41199 Mönchengladbach
 Telefon: +49 (0)2166 915430 * Telefax: +49 (0)2166 915269 * eMail: info@carldicke.de * Homepage: www.carldicke.de * USt.-ID-Nr. DE 120 822 198
 Registergericht: AG Mönchengladbach * Handelsregister-Nr. A 24 85 * Geschäftsführer: Dr. Peter Hendricks * Regina Padberg-Hendricks * St.Nr. 121/5807/4779
 Stadtparkasse Mönchengladbach BLZ 31 05 0000 Konto-Nr. 30601 IBAN DE79310500000000030601 SWIFT/BIC MGLSDE33
 Deutsche Bank AG, Mönchengladbach BLZ 31 07 0001 Konto-Nr. 721 3325 IBAN DE27310700010721332500 SWIFT/BIC DEUTDE33
 Gladbacher Bank AG, Mönchengladbach BLZ 31 06 0181 Konto-Nr. 43536010 IBAN DE34310601810043536010 SWIFT/BIC GENODE33
 Commerzbank AG, Mönchengladbach BLZ 31 04 0015 Konto-Nr. 19901 9100 IBAN DE69310400150199019100 SWIFT/BIC COBADE33

A5: Spezifikation Aceton



SPEZIFIKATION

Produkt <i>Product</i>	003000	Aceton
Qualität <i>Quality</i>		chem. rein
Chem. Bezeichnung <i>chem. name</i>		Dimethylketon, Propanon-2
Chem. Formel <i>chem. formular</i>		C ₃ H ₆ O
CAS-Nr.		67-64-1
EINECS-Nr.		200-662-2
Molgewicht <i>molecular weight</i>		58,08
Verpackung <i>packaging</i>		in UN-geprüften Gebinden oder lose im Tankwagen <i>In Un-approved containers or bulk tanker</i>

Daten

<u>Prüfmerkmal</u>	<u>Einheit</u>	<u>Wert</u>	<u>Prüfmethode</u>
Aussehen der Lösung <i>Appearance</i>		klar und farblos	<i>clear, colourless</i>
Geruch <i>Odour</i>		charakteristisch	<i>characteristic</i>
Reinheit <i>Purity</i>	%	≥ 99,5	
Wassergehalt <i>Water content</i>	%	≤ 0,3	
Löslichkeit (in H ₂ O) <i>Solubility</i>		mischbar	<i>miscible</i>
Dichte (bei 20 °C) <i>Density</i>	g/cm ³	0,789 - 0,793	

Diese Spezifikation wurde auf Basis der Angaben unseres Vorlieferanten erstellt und ersetzt alle vorherigen Ausgaben. Sie entbindet den Kunden nicht von der Wareneingangskontrolle gemäß HGB 377/378. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung der Eignung des Produktes für einen bestimmten Einsatzzweck kann daraus nicht abgeleitet werden. *This is a complete and true copy of the supplier's certificate of analysis / specification. We are not responsible for the correctness of the data contained herein. This certificate / specification does not release the customer from the obligation to carry out an inspection of the goods received. We shall not be liable for any consequential losses or damages whatsoever.*

Vers. 1.0 vom 19.10.2016 Erstellt: AP
Änderungsgrund:

Geprüft: RP

Freigabe: RP

Seite 1 von 1

Carl Dicke GmbH & Co. KG * Postfach 30 01 51 * D-41191 Mönchengladbach * Wetschewell 15 * D-41199 Mönchengladbach

Telefon: +49 (0)2166 915430 * Telefax: +49 (0)2166 915269 * eMail: info@carldicke.de * Homepage: www.carldicke.de * USt.-ID-Nr. DE 120 822 198

Registernummer: AG Mönchengladbach * Handelsregister-Nr. A 24 85 * Geschäftsführer: Dr. Peter Hendriks * Regina Padberg-Hendriks * St.Nr. 12 1/5807/4779

Städtsparkasse Mönchengladbach

BLZ 31060000

Konto-Nr. 30601

IBAN DE793105000000030601

SWIFT/BIC

MGLSDE33

Deutsche Bank AG, Mönchengladbach

BLZ 31070001

Konto-Nr. 7213325

IBAN DE27310700010721332500

SWIFT/BIC

DEUTDEDD310

Gladbacher Bank AG, Mönchengladbach

BLZ 31060181

Konto-Nr. 43536010

IBAN DE34310601810043536010

SWIFT/BIC

GENODED1GBM

Commerzbank AG, Mönchengladbach

BLZ 31040015

Konto-Nr. 199019100

IBAN DE69310400150199019100

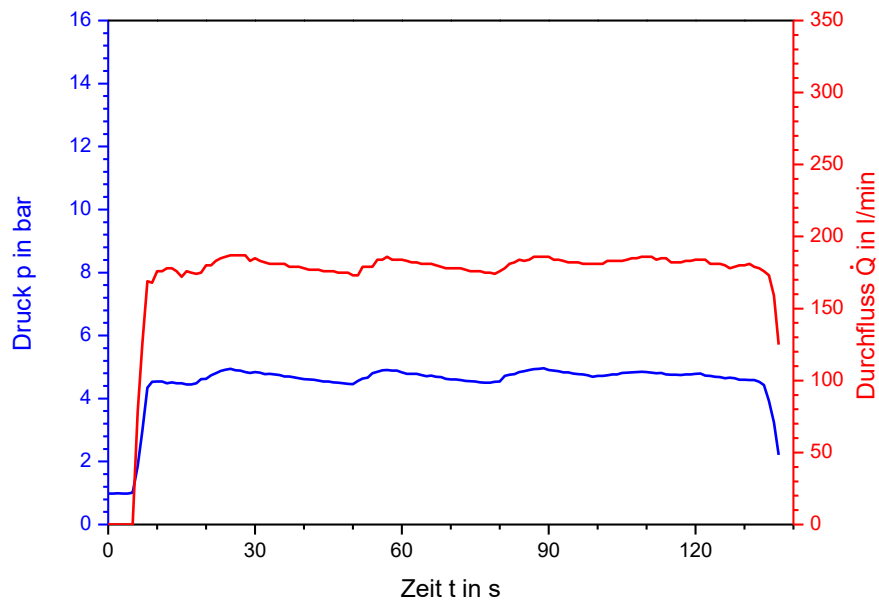
SWIFT/BIC

COBADEFFXXX

A6: Anordnung Thermoelemente in der Brandwanne



A7: Überprüfung der Parameter vor dem Schaumstrahlrohr S 2 mit Zumischer Z 2



Prüfung erfolgte mit Wasser als Zumischkonzentrat. Die gemittelten Werte betragen $\bar{p} = 4,73$ bar und $\bar{Q} = 181$ l/min. Die Abweichung vom Nenndurchfluss liegt im Bereich der Toleranzangaben nach DIN EN 16712-3 [61].

A8: Position der Schaumrutsche und Ausrichtung des Schaumstrahlrohrs



Schaumrutsche nach [9]

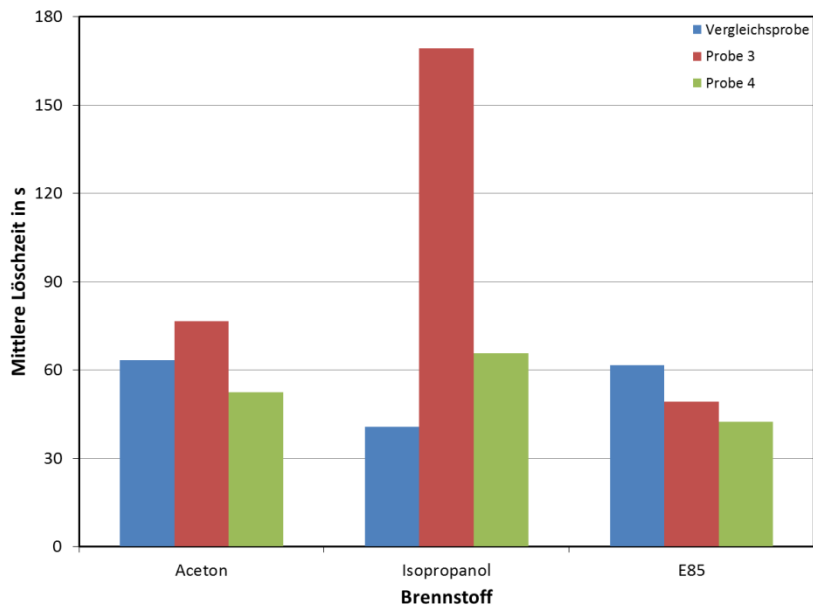


Um 90 ° gedrehtes Schaumstrahlrohr zum Anschäumen

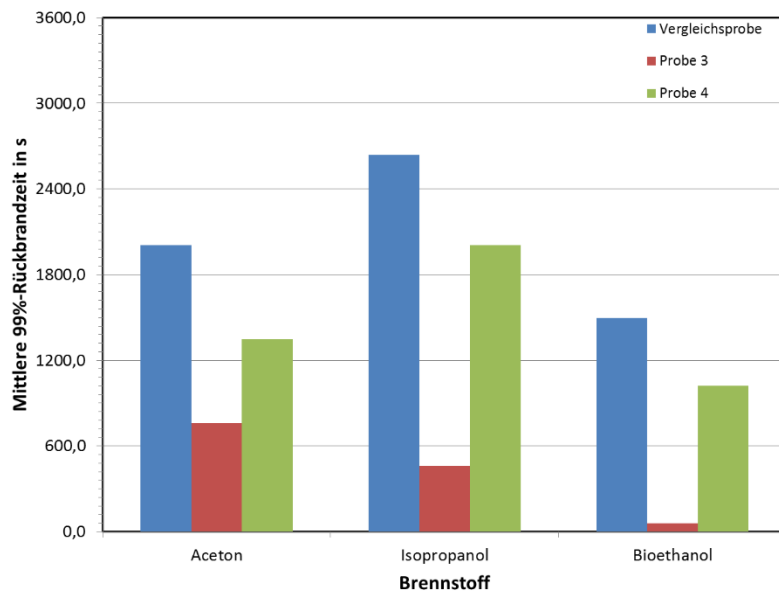
A9: Videodokumentation zur Bestimmung der Schaumeigenschaften



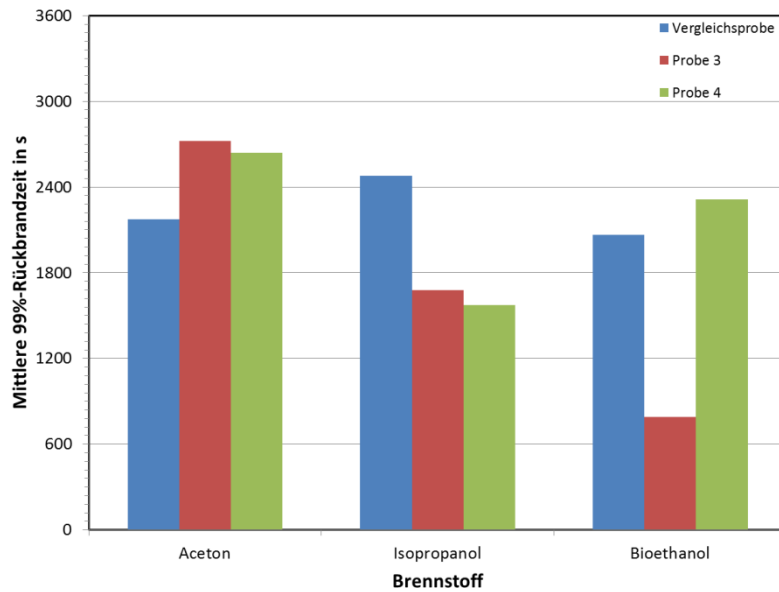
A10: Mittlere Löschzeiten für Kleinlöschversuche [5]



A11: 99 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_1 = 1,720 \text{ m}^2$



A12: 99 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_2 = 2,835 \text{ m}^2$



A13: 99 %-Rückbrandzeit verschiedener Schaumlöschmittel auf drei Brennstoffen bei einer Brandfläche $A_3 = 4,524 \text{ m}^2$

