

## Auswahl von Schaummitteln bei Werkfeuerwehren der chemischen Industrie

Facharbeit im Rahmen der Ausbildung für das  
zweite Einstiegsamt der Laufbahngruppe 2 des  
höheren feuerwehrtechnischen Dienstes

### AUFGABENSTELLUNG

Werkfeuerwehren der chemischen Industrie sind auf leistungsfähige Schaummittel angewiesen, um Brandereignisse in deren Zuständigkeitsbereich, z.B. Tankbrände wirksam bekämpfen zu können. Hierzu werden immer mehr fluorfreie Alternativen zu den üblichen AFFF-(AR) Schaummitteln angeboten. Zur Bestimmung des Löschvermögens von Schaumlöschmitteln existieren verschiedene Methoden, z.B. DIN EN 1568, NFPA 11, UL 162 und LASTFIRE. Daneben verwenden Werkfeuerwehren der chemischen Industrie zum Teil selbst entwickelte Testmethoden. Ermitteln und bewerten Sie im Hinblick auf die regulatorische Situation von perfluorierten Chemikalien und die Neuerung der DIN EN 1568:2018 die Auswahlkriterien, nach denen die Werkfeuerwehren der chemischen Industrie Schaummittel, insbesondere fluorfreie Schaummittel als Ersatz für AFFF-(AR), beschafft werden. Sind die Ergebnisse normierter Tests und technischen Datenblätter der Hersteller ausreichend aussagekräftig? Erstellen Sie auf dieser Basis ein Ablaufschema zur Auswahl von fluorfreien Schaummitteln als Ersatz für AFFF-(AR) bei Werkfeuerwehren der chemischen Industrie

**Dr. Robert F. H. Walter**

Brandreferendar der Berliner Feuerwehr, BRef  
2017

## Inhalt

Auswahl von Schaummitteln bei Werkfeuerwehren der chemischen Industrie .....	0
Einleitung .....	2
Material und Methoden .....	4
Literaturrecherche .....	4
Befragung von Entscheidungsträgern deutscher Werkfeuerwehren .....	4
Messergebnisse von Schaumtests .....	4
Ergebnisse .....	6
Ergebnisse der Literaturrecherche .....	6
Versuche im Labormaßstab zur Beurteilung von AFFF und fluorfreien Schaummitteln bezogen auf Löscherfolg und thermische Stabilität .....	11
Löschzeiten – polare Flüssigkeit (Ethanol) .....	11
Löschzeiten – unpolare Flüssigkeit (Kerosin) .....	12
Thermische Einflüsse auf Mittel- und Schwerschäum .....	13
Auswertung der telefonischen Befragung .....	15
Diskussion .....	17
Ausblick .....	21
Literaturverzeichnis .....	23
Eigenständigkeitserklärung .....	24

## Einleitung

Fluorhaltige Löschschäume werden von Feuerwehren in der ganzen Welt eingesetzt. Eine Art fluorhaltiger Löschschäume ist AFFF(-AR) (Aqueous Film Forming Foam(-Alcohol Resistant)). Dieser nimmt in der chemischen Industrie und anderen Bereichen die vorherrschende Rolle, seit dessen Einführung um 1970, beim Löschen von brennbaren Flüssigkeiten ein. AFFF enthalten per-/polyfluorierte Chemikalien (PFC), welche oberflächenaktive Eigenschaften wie Tenside besitzen und werden deswegen als per-/polyfluorierte Tenside (PFT) bezeichnet [1-3]. Die häufigsten Vertreter dieser Klasse sind die nachfolgend genannten Leitsubstanzen, welche auf einer Kette von acht Kohlenstoffatomen (C8) basieren: (Perfluoroktansulfonsäure (PFOS, perfluorooctanesulfonic acid) und Perfluoroktansäure (PFOA, perfluorooctanoic acid) sowie deren Derivate und Salze [1-3]. Zwischen 2006 und 2011 wurde der Inhaltsstoff PFOS von der Europäischen Union in ihrem Gebiet stark eingeschränkt und 2011 verboten (EU-Richtlinie 2006/122/EG und 20/12/2006) [2, 4, 5]. Festzustellen ist, dass bisher nur PFOS verboten worden sind ( $<10\text{mg/l}$  respektive  $<0,001\text{Gew\%}$ , Grenzwerte laut GefStoffV, EU-Richtlinie 757/2010) [2] und dieses Verbot nicht generell AFFF oder PFT betrifft [2]. Andere PFT weisen eine Kohlenstoffkettenlänge ungleich 8 auf und können ebenso für die Herstellung von Löschschäumen genutzt werden [6]. Gerade die kurzkettigen Varianten mit sechs Kohlenstoffatomen (C6) werden als Alternative betrachtet [6]. Doch auch diese stehen im Verdacht krebserregend, gesundheitsgefährdend und persistierend zu sein [4]. Eine Tonne aktuellen AFFF soll ca. 10kg PFT enthalten, welche ca.  $2 \times 10^6 \text{m}^3$  Wasser persistent kontaminieren können [4]. Diverse Studien belegen, dass Perfluorverbindungen, welche nicht in der Natur vorkommen, sondern durch den Menschen in die Umwelt gelangt sind, mittlerweile im Blut (fast) aller Tierarten nachzuweisen sind [4]. Diese Verbindungen werden nicht ausschließlich in AFFF eingesetzt, sondern kommen auch zur Imprägnierung von Bekleidung, Halbleiterindustrie, Hydraulikölen und Metallbeschichtung zum Einsatz [5, 7]. Auch zur Beschichtung von Wachspapier oder Butterbrotpapier werden diese Stoffe in der Verpackungsindustrie eingesetzt [7]. Die Aufnahme der Stoffe kann direkt über die genannten Produkte erfolgen, allerdings auch durch die Aufnahme durch Wasser und die Biotransformation von Vorläuferchemikalien oder PFOS und PFOA selbst [7]. Noch bevor gesetzliche Regelungen ein Verbot von PFOS durchsetzten, führte der größte Hersteller dieser Produkte einen freiwilligen Ausstieg aus der Produktion in 2000 durch [5, 7]. In 2006

wurde von der United States Environmental Protection Agency (EPA), zur gleichen Zeit in der EU und 2011 eine kanadische Regelung getroffen, welche eine Einschränkung oder das Verbot dieser Stoffe zur Folge hatte [7]. Eine Untersuchung von fast 2.500 Blutproben über die Jahre 2001, 2006, 2010 und 2015 von Blutspendern in den USA zeigte einen signifikanten Rückgang von PFOS, PFOA und kurzkettiger Varianten [7], was nahelegt, dass die eingeführten Beschränkungen Wirkung zeigen.

Die Wirksamkeit von Löschschäumen und Schaummitteln wird mittels normierter Tests ermittelt. Als brennbare Flüssigkeiten werden dabei beispielsweise polare Flüssigkeiten wie Propan-2-on (Aceton) oder Propan-2-ol (Isopropanol) und unpolare Flüssigkeiten wie Gemische aliphatischer Kohlenwasserstoffe (Heptan, Kraftstoffe) eingesetzt [8-11]. Ziel der Tests ist es die nachfolgenden Testkriterien für jedes einzelne Schaummittel/Schaum zu evaluieren: A) Löschzeit, B) Zerstörungsrate des Schaums, C) Rückzündbarkeit des durch Schaum abgedeckten Brennstoffes und D) damit verbundene Beständigkeit des Schaums, E) Fließfähigkeit des Schaums (Bestimmung der Oberflächenspannung), F) Wasserabscheidung (25% und/oder 50% Rate), G) Lagerparameter und etwaiger weiterer Parameter [8-11]. Die Aufbringung des Schaums bei normierten Tests beschränkt sich meist auf sehr geringe Mengen von Brennstoff und sehr kleine Oberflächen ( $<10\text{m}^2$  und  $<400\text{l}$  Brennstoff) [8-11]. Ein Zusammenschluss von Unternehmen der chemischen Industrie (LASTFIRE – Large Atmospheric Storage Tank Fires) beschäftigt sich mit sehr vergleichbaren Testkriterien [12]. Allerdings kommen hier sehr große Volumina und Oberflächen von brennbaren Flüssigkeiten zum Einsatz, wodurch diese Teste an reale Brände und die Bedürfnisse der Unternehmen der chemischen Industrie herankommen [12]. Es wurden Tests an Tanks durchgeführt, welche 11m Durchmesser aufwiesen (ca.  $100\text{m}^2$ ) und mit Benzin gefüllt waren [12]. Ebenso wurden Jet A FlugKerosin in Tanks von entweder 8m X 30m Ausmaß oder 8m X 40m Ausmaß entzündet und mit Schaum gelöscht ( $240\text{m}^2$  respektive  $320\text{m}^2$  Oberfläche) [12]. Das Aufbringen von Schaummittel kann in der chemischen Industrie durch die Kräfte und Geräte der Werkfeuerwehr geschehen, allerdings auch durch stationäre Anlagen [9]. Die Art der Schaumaufgabe scheint von großer Bedeutung zu sein [13]. Das Löschmittel kann dabei direkt oder indirekt auf den Brennstoff aufgegeben werden [13]. Die Geräte zur Schaumabgabe scheinen nach aktuellen Ergebnisse einen starken Einfluss auf die Qualität, Haltbarkeit, Fließfähigkeit und Applikationsrate von Schaum zu haben [10, 12], worüber heterogene Aussagen und Ergebnisse vorliegen.

## **Material und Methoden**

### **Literaturrecherche**

Es wurde eine Analyse gültiger Normen zur Testung von Schaummitteln, Schäumen und Geräten zur Schaumabgabe analysiert (UL162, NFPA11, DIN EN 1568-3 und 1568-4). Weitere zugängliche Literatur, welche dem Autor relevant für die Erstellung der These erschien, wurde analysiert.

### **Befragung von Entscheidungsträgern deutscher Werkfeuerwehren**

Eine Befragung von Herrn Michael Krabbes (BASF Schwarzheide GmbH, Deutschland), Herrn Martin Kaller (BASF SE, Ludwigshafen, Deutschland), Herrn Eike Peltzer (LyondellBasell Industries N.V., Wesseling, Deutschland), Herrn Max Schmid (LyondellBasell Industries N.V., Wesseling, Deutschland), Herrn Tim Kirschner (Institut der Feuerwehren Nordrhein-Westfalen, Deutschland), Herrn Martin Neuhaus (BP Gelsenkirchen GmbH), Herrn Peter Funke (Currenta GmbH & Co. OHG, Marl, Deutschland) und Herrn Dr. Niall Ramsden (Resource Protection International Ltd., Aylesbury Vereinigtes Königreich Großbritannien) zur aktuellen Trends und Entwicklung zum Thema Schaum in der chemischen Industrie wurde durchgeführt.

### **Messergebnisse von Schaumtests**

Von der Herrn Michael Krabbes (BASF Schwarzheide GmbH, Deutschland) wurde Testmaterial eigener Schaummitteltests zur Verfügung gestellt und durch den Autor dieser Arbeit ausgewertet. Die Tests wurden im September 2016 in Antwerpen durchgeführt. Als unpolare Flüssigkeit wurden 20l Kerosin auf 180l Brackwasser aufgebracht und nach der Entzündung für 60s brennen gelassen (Erhitzung auf ca. 650 bis 750°C). Schaum wurde zum Löschen direkt aufgetragen. Als polare Flüssigkeit wurden 200l Ethanol genutzt, entzündet und für 60s brennen gelassen (Erhitzung auf ca. 650 bis 750°C). Auf Ethanol wurde der Schaum für 2min direkt aufgetragen, danach 2min indirekt. Für diese Arbeit wurden die Prüfkriterien 90%iger und 100%iger Löscherfolg ausgewertet. Bei der unpolaren Flüssigkeit wurden sieben, bei der polaren Flüssigkeit sechs verschiedene Schaummittel/Schäume zum Löschen eingesetzt. Es wurden die in Tabelle 1 dargestellten Schaummittel genutzt. Messungen wurden als Duplikate erhoben und es wurde der Mittelwert berechnet. Herr Tim Kirschner (Institut der Feuerwehren Nordrhein-Westfalen, Deutschland) stellte Messergebnisse aus seiner Bachelorarbeit zur Verfügung, welche durch den Autor dieser Arbeit ausgewertet wurden. Herr Kirschner erhob die Daten an der Bergischen Universität

Wuppertal im Studiengang Sicherheitstechnik zwischen 2016 und 2017. Messungen wurden als Duplikate erhoben und es wurde der Mittelwert berechnet. In den Grafiken und Tabellen sind ausschließlich die Mittelwerte dargestellt. Fehlerbalken konnten nicht in die Grafiken eingefügt werden, da bei Duplikaten keine Standardabweichung berechnet werden kann. Die getesteten Schaummittel und weitere Parameter sind in Tabelle 1 dargestellt. Eine Besonderheit stellt das Schaummittel M51+ dar. Dieses ist laut Herstellerangaben nur zur Brandbekämpfung der Brandklasse A bestimmt. Die Auswertung der Messdaten erfolgt mittels Microsoft Excel 2016.

**Tabelle 1 Eingesetzte Schaummittel, deren Parameter und durch den Versuchsaufbau bedingte Parameter**

<b>Produkt &amp; Hersteller</b>	<b>Verschäumungszahl</b>	<b>Zumischrate</b>	<b>Fluorhaltig</b>	<b>Zugesetztes Wasser</b>
Finiflam AFFF/AR 3x3	8	3%	Ja	Brackwasser
Fomtec Enviro 3x3 Ultra	8	3%	Nein	Brackwasser
Angus Respondol 3/3	8	3%	Nein	Brackwasser
Orchidex BlueFoam 3x3	8	3%	Nein	Brackwasser
Sthamer Moussol FF 3/6	8	3% bei Kerosin, 6% bei Ethanol	Nein	Brackwasser
Fomtec Enviro 6x6 Plus	6,5	3% bei Kerosin, 6% bei Ethanol	Nein	Brackwasser
Fomtec LS xMAX	8	3%	Nein	Brackwasser
Sthamer Moussol APS F-15	10	3%	Ja	Trinkwasser
Sthamer Moussol APS 1/3	9	3%	Ja	Trinkwasser
Eau & Feu M51+	27	1%	Nein	Trinkwasser
	9	1%	Nein	Trinkwasser
Solberg RE-HEALING FOAM CONCENTRATE RF3 3%	63	3%	Nein	Trinkwasser
	10	3%	Nein	Trinkwasser

**Brackwasser ist die Bezeichnung für das Wasser in den Niederlanden, welches von der Feuerwehr aus dem Ringleitungsnetz entnommen und zum Löschen eingesetzt wird.**

## **Ergebnisse**

### **Ergebnisse der Literaturrecherche**

Die Normen NFPA 11, UL 162, DIN EN 1568-3 und 1568-4 wurden verglichen und ausgewählte Parameter in Tabelle 2 gegenübergestellt. Außerdem wurde ein Vergleich mit den im Nachfolgenden dargestellten Tests und den Versuchen am Institut für Brand- und Katastrophenschutz (IBK) Heyrothsberge gezogen und in der Tabelle inkludiert. Es ist wichtig zu unterscheiden, dass das IBK die Versuche nicht nach DIN EN 1568-4 H.3 Löschprüfung (Anhang H (normativ)) durchgeführt hat, sondern die Untersuchung nach der im Anhang I (informativ) befindlichen Kleinlöschprüfung durchführte. Die Zulassung von Schaummitteln erfolgt aber regulär nach H.3 Löschprüfung (Anhang H (normativ)). Anhang I (informativ) dient zu Zwecken der Qualitätssicherung. Um einen Vergleich für den Leser zu ermöglichen sind beide Prüfungen in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Die Literaturrecherche ergab, dass bereits Entscheidungsbäume zur Auswahl von Schaummitteln und –arten bestehen. Abbildung 1 zeigt exemplarische eine dieser Matrizen. Laut dieses Leitfadens des Hessischen Ministeriums des Innern und für Sport zur Auswahl synthetischer Schaummittel [14] kommt für die chemische Industrie der jeweils rechte Entscheidungsbaum für Flüssigkeitsbrände zur Anwendung, sobald das Schadensereignis über einen räumlich limitierten Lachenbrand hinausgeht (großflächige Brände;  $\geq 25\text{mm}$  Flüssigkeitstiefe; z.B. Tankbrände). AFFF(-AR) wird bei diesem Entscheidungsbaum als erste Möglichkeit genannt. Als Alternative können MBS mit den Löschleistungsstufen IA/IB und IIA/IIB genutzt werden. Als Schaumart werden Mittel- und Schwertschaum empfohlen.

**Tabelle 2 Vergleich der Normen NFPA 11, UL 162, DIN EN 1568-3 und 1568-4, Versuchen des IBK und hier in der Arbeit dargestellten Untersuchungen**

Quelle	Fläche	Form	Brennstoff	Volumen des Brennstoffs	Beginn Löschmaßnahmen	Löschdauer
DIN EN 1568-3	4,52m <sup>2</sup>	Rund	Heptan, auf Wasser aufschwimmend	144l Brennstoff, 90l Wasser	60s nach vollständiger Durchzündung	300s
DIN EN 1568-4 Löschprüfung Punkt H.3 Anhang H (normativ)	1,72m <sup>2</sup>	Rund	Aceton, Isopropanol	125l	120s nach vollständiger Durchzündung	180s für Klasse 1 Schaummitte I, 300s für Klasse 2 Schaummitte I
DIN EN 1568-4 Kleinlöschprüfung Anhang I (informativ)	0,25 m <sup>2</sup>	Rund	Aceton, Isopropanol	9l	120s nach vollständiger Durchzündung	120s, wenn kein Lösch Erfolg, dann weitere 120s
UL 162	4,65m <sup>2</sup>	Eckig	Heptan, auf Wasser aufschwimmend Aceton, Essigsäure—n-butylester, Essigsäure (rein), Ethylendiamin, Propanal, Diisopropylether	Wird für jeden Stoff individuell berechnet	15s nach Entzündung	300s, Besonderheit Heptan: erst 300s Schaum, dann 300s Wasser
NFPA 11 Annex F Seite 11-87	9,29m <sup>2</sup>	Eckig	Kraftstoff mit Oktanzahl zw. 83 und 92	284l	60s nach vollständiger Durchzündung	300s
Versuche IBK	1,00m <sup>2</sup>	Rund	Isopropanol, Aceton, N-Methyl-2-Pyrrolidon, Kraftstoff E10 und E85	9l	120s nach Entzündung	120s, wenn kein Lösch Erfolg, dann weitere 120s
Hier dargestellte Versuche	ca. 5m <sup>2</sup>	Rund	Kerosin, Ethanol	20l Kerosin plus 180l Brackwasser, 200l Ethanol	Mind. 60s, die Temperatur musste zw. 650°C und 750°C erreicht haben	Bis zum Lösch Erfolg

**Aceton laut IUPAC=Propan-2-on, Isopropanol laut IUPAC=Propan-2-ol. Brackwasser ist die Bezeichnung für das Wasser in den Niederlanden, welches von der Feuerwehr aus dem Ringleitungsnetz entnommen und zum Löschen eingesetzt wird.**



# Leitfaden zur Auswahl von synthetischen Schaummitteln

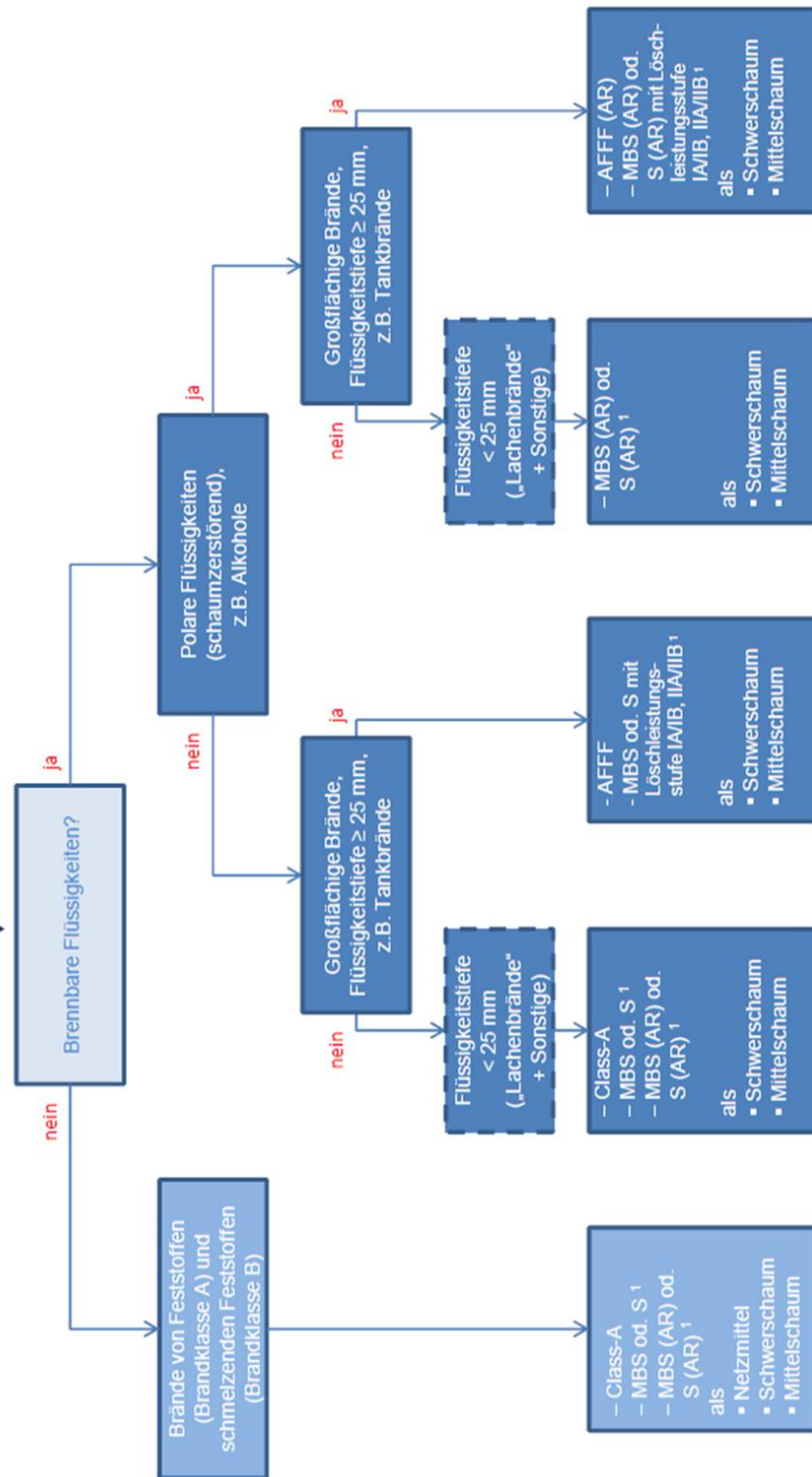


Abbildung 1 Leitfaden zur Auswahl von synthetischen Schaummitteln des Hessischen Ministeriums des Innern und für Sport [14]

Der Entscheidungsbaum trennt zuerst nach der Art des brennenden Stoffes. Bei Flüssigkeitsbränden wird nachfolgend nach polar und unpolar unterschieden. Die Weitere Untergliederung erfolgt anhand der Größe des Ereignisses. Für die chemische Industrie kommt bei Einsätzen, welche über einen limitierten Brand hinausgehen (bspw. Lachenbrand), der jeweils rechte, dunkelblaue Entscheidungsbaum zum Tragen, welcher für Flüssigkeitsbrände mit  $\geq 25\text{mm}$  Flüssigkeitstiefe (bspw. Tankbrand) entsprechende Schaummittel und –arten vorschlägt. Als oberste Empfehlung wird AFFF(-AR) angegeben, gefolgt von MBS(-AR), welche Löschleistungsstufe IA/IB, IIA/IIB erfüllen sollten.

In 2015 veröffentlichte die Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland (AGBF) Bund, der Werkfeuerwehrverband (WFV) Deutschland und Deutscher Feuerwehrverband (DFV) eine fast identische Auswahlmatrix für synthetische Schaummittel [15]. Allerdings wurde keine Flüssigkeitstiefe definiert. Auf eine Darstellung der Matrix wird aufgrund der Redundanz zu der bereits gezeigten verzichtet. Eine weitere, sehr vergleichbare Auswahlmatrix wurde vom Landesfeuerwehrverband Bayern e.V., WFV Bayern e.V., AGBF Bayern, Versicherungskammer Bayern, staatlichen Feuerweherschulen Bayern Geretsried, Regensburg, Würzburg und des Bayerischen Staatsministeriums des Innern, Bau und Verkehr in 2018 veröffentlicht [16]. Ein Entscheidungsarm deklariert AFFF-(AR) sogar als einzige Alternative, sofern folgende Kriterien erfüllt sind: Wenn die brennende Flüssigkeit eine nicht näher definierte (mehrere Zentimeter) Flüssigkeitstiefe hat, nicht mit Wasser mischbar ist und unpolar ist [16]. Allerdings mit dem Hinweis, dass dies nur gerechtfertigt sei, wenn die Anwendung von MBS aufgrund der Brandintensität nicht erfolgsversprechend erscheint und das Löschmittel aufgefangen werden kann [16]. Da die Grafik redundant zu der bereits gezeigten Version ist, wird auf die Darstellung verzichtet. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass auf Bundesebene, Länderebene und im privaten Sektor (Werkfeuerwehren) eine vergleichbare Auswahlmatrix von den beteiligten Behörden, Verbänden und Vereinen generiert wurde. In den Matrizen wird das Kriterium der räumlichen Ausdehnung der brennbaren (polaren) Flüssigkeit herangezogen, obgleich es nur in der oben gezeigten Abbildung 1 zumindest mit einer Höhenangabe versehen ist. Damit wird nicht näher definiert, ab welcher Ausdehnung die Anwendung AFFF gerechtfertigt wäre.

Da die oben angegebenen Normen nur Kleinlöschversuche betrachten, wurde in der Literatur recherchiert, ob diese Versuche auf Brände im realen Maßstab skalierbar sind. Die Skalierbarkeit wurde von Scheffey et al. in 2002 bezogen auf verschiedene Richtlinien und Normen untersucht [17]. Es wurden verschiedene Kraftstoffe entzündet und mittels drei verschiedener fluorhaltiger Löschmittel gelöscht. Der 90%ige Löscherfolg wurde als Kriterium angelegt. Dabei wurden brennende Oberflächen von ca. 2,5m<sup>2</sup> bis hin zu ca. 1100m<sup>2</sup> untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt.

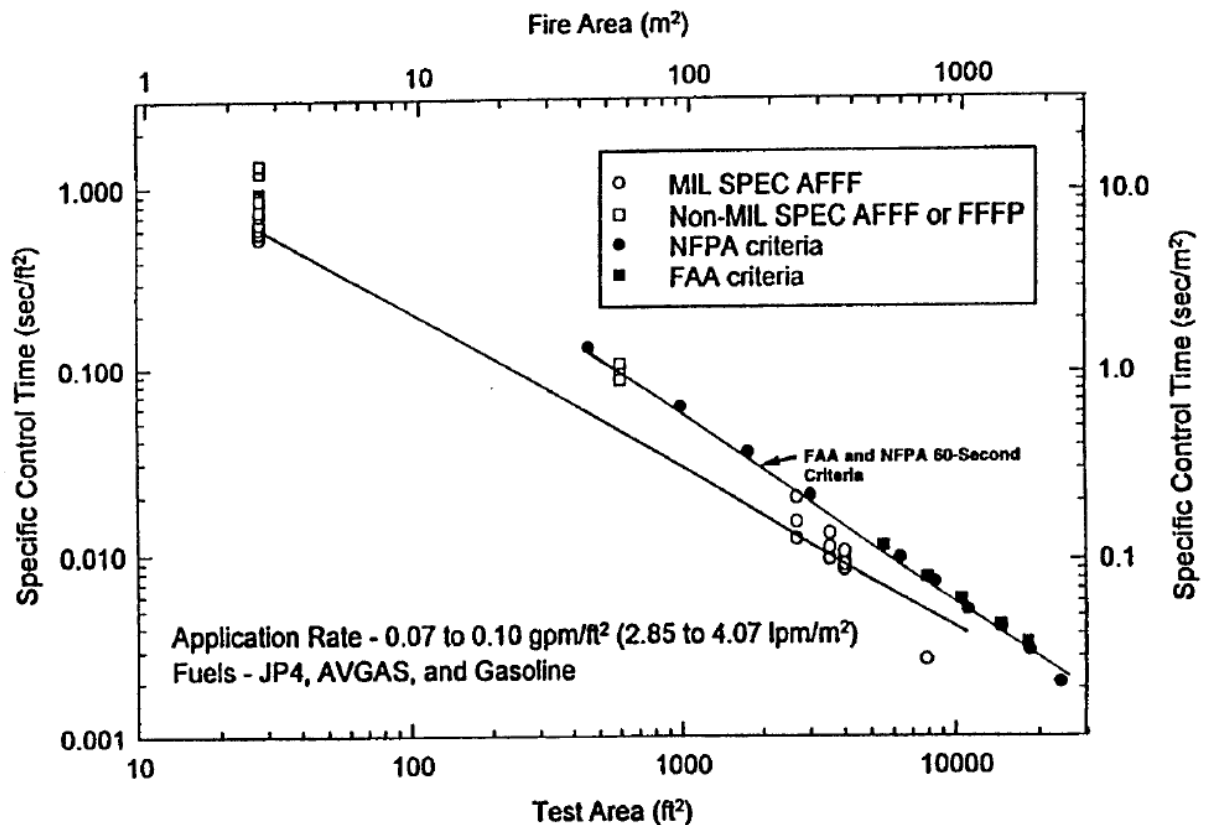


Figure 4. Specific Control Times for AFFF at Intermediate Application Rates [18]

**Abbildung 2. Korrelation zwischen Bränden im Klein- bzw. Großversuch [17].**

In der Grafik wird der Zusammenhang zwischen der Zeit bis zur Kontrolle des Brandes (90%iger Löscherfolg) in Abhängigkeit der brennenden Fläche auf der y-Achse gegenüber der Oberfläche der brennenden Flüssigkeit dargestellt auf der x-Achse. Die Abgaberate des Schaums wurde untersucht und lag zwischen 0.07-0.10g/(min\*ft²) (2,85-4,07l/(min\*m²)), wobei die imperiale Gallone mit g bezeichnet wird. Die Abgabemenge wird von Scheffey als mittlere Abgaberate deklariert. Als wichtigstes Kriterium wurde der 90%ige Löscherfolg bewertet. Es wurden verschiedene Kraftstoffe mit niedrigem Flammpunkt untersucht, welche im Flugverkehr und für Ottomotoren eingesetzt werden. Den Tests liegen die United States Military Standard (MIL-SPEC) und NFPA 403 zugrunde. Die getesteten, fluorhaltigen Schaummittel scheinen die Anforderungen an die Normen zu erfüllen.

Scheffey stellt dar, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen Löschezit einer bestimmten Fläche in Abhängigkeit der Gesamtfläche gibt. Eine Skalierbarkeit scheint somit zwischen Klein- und Großlöschversuch zu bestehen. Wichtig zu beachten ist, dass beide Achsen logarithmisch dargestellt sind.

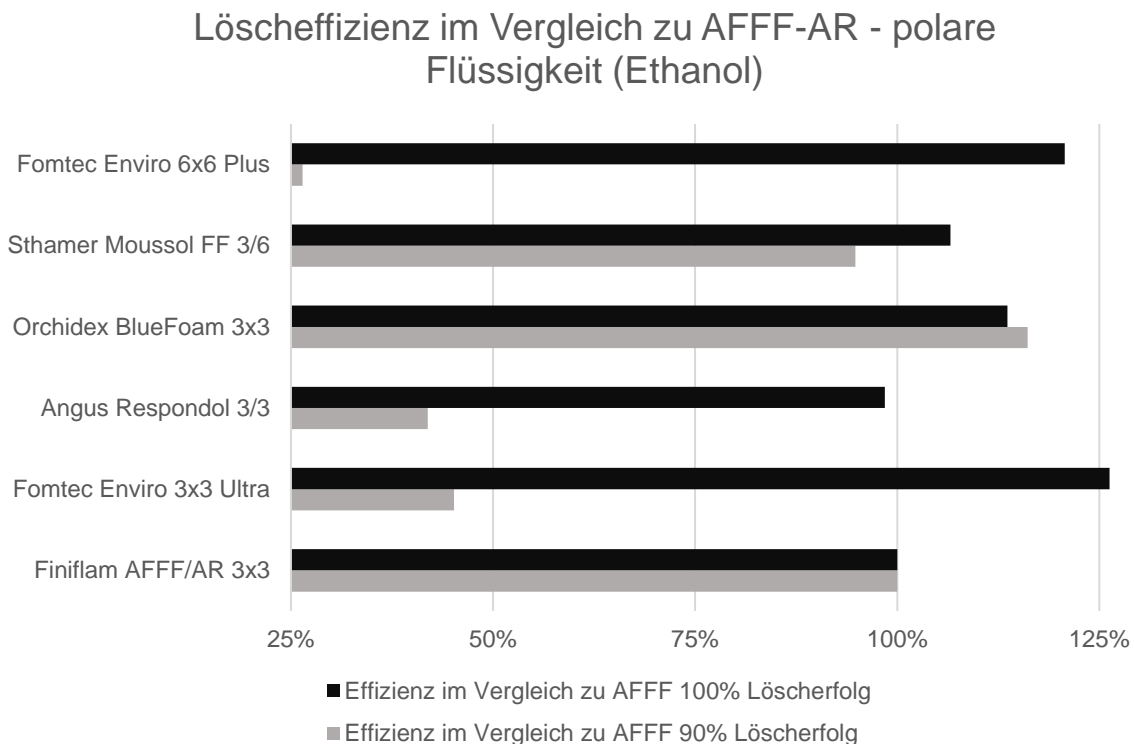
Eine negative Korrelation zwischen Löschezit einer Teilfläche und der Gesamtfläche zum Erreichen des 90%igen Löscherfolgs wird von Scheffey aufgezeigt. Es scheint einen direkten Zusammenhang zwischen Klein- und Großlöschversuch zu geben. Alle getesteten, fluorhaltigen Schaummittel scheinen die geforderten zwei Parameter annähernd zu erfüllen und kommen somit den geforderten Kriterien der beiden zugrundeliegenden Normen nach.

## Versuche im Labormaßstab zur Beurteilung von AFFF und fluorfreien Schaummitteln bezogen auf Löscherfolg und thermische Stabilität

Die Ergebnisse zum Löscherfolg mit sechs Schaummitteln bei Ethanol (polare Flüssigkeit) und sieben Schaummitteln bei Kerosin (unpolare Flüssigkeit) sind in Abbildung 3 und 4 dargestellt. Als Referenz wurde ein AFFF Schaummittel mitgeführt, welches in der jeweiligen Grafik an unterster Stelle zu finden ist.

### Löschzeiten – polare Flüssigkeit (Ethanol)

Im Vergleich zum Standard AFFF-AR (Finiflam AFFF/AR 3x3) erreichen vier von fünf Schäumen das Ziel 90% Löscherfolg schneller, nur Orchidex BlueFoam 3x3 benötigt deutlich länger. Drei Schäume benötigen sogar unter der Hälfte der Zeit im Vergleich zur Referenz (Angus Respondol 3/3, Fomtec Environment 3x3 Ultra und 6x6 Plus). Das Hauptziel stellt allerdings der 100%ige Löscherfolge dar. Hier ist Angus Respondol 3x3 gleichauf mit AFFF, gefolgt von Sthamer Moussol FF 3/6 und Orchidex BlueFoam 3x3. Alle weiteren Schäume benötigen >15% an Zeit um den Löscherfolg zu garantieren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3 Löscheffizienz von fünf fluorfreien Schaummitteln im Vergleich zu einem AFFF-AR bei Ethanol als brennbare Flüssigkeit (polare Flüssigkeit)**

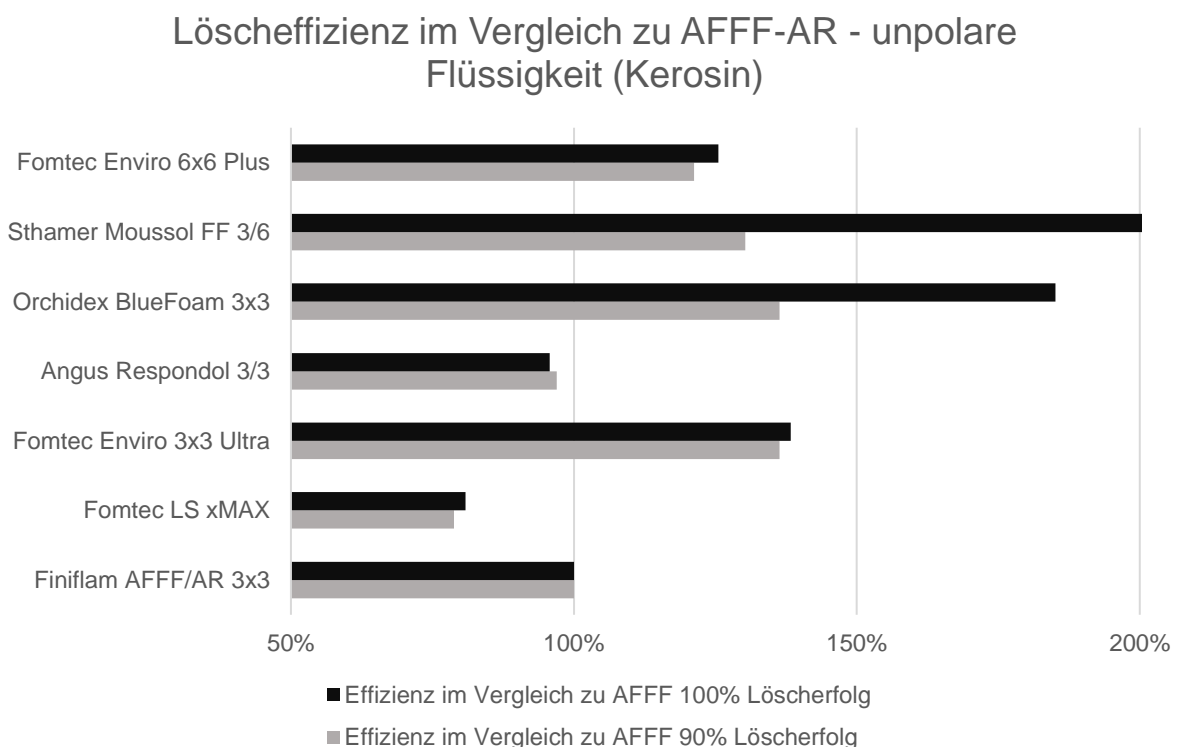
Die Löseffizienz von AFFF-AR (Finiflam AFFF/ARF 3x3) wurde als Referenz für die übrigen fluorfreien Schäume mitgeführt. Auf der x-Achse ist die prozentuale Effizienz dargestellt. Schwarze Balken kennzeichnen das Kriterium 100% Löscherfolg, graue Balken das Kriterium 90% Löscherfolg. Auf der y-Achse sind die einzelnen Schaummittel aufgelistet, zu welchen Brackwasser und Luft zugemischt wurden. Fomtec Enviro 6x6 Plus und Sthamer Moussol FF 3/6 wurden mit 6% zugemischt, alle übrigen mit 3%. Die Verschäumungszahl wurde auf 8 eingestellt. Es wurde mit 5bar Nennförderdruck gearbeitet. Die Schäume wurden auf 200l Ethanol aufgegeben, welche bereits 60s brannten und ca. 650 bis 750°C Oberflächentemperatur erreicht hatten. 2min lang wurde der Schaum direkt aufgetragen, danach indirekt.

Das Kriterium 90% Löscherfolg erzielten drei Schaummittel deutlich schneller und benötigten unter 50% der Zeit im Vergleich zu AFFF-AR (Fomtec Enviro 6x6 Plus, Angus Respondol 3/3 und Fomtec Enviro 3x3 Ultra). Ähnlich viel Zeit wie AFFF-AR benötigte Sthamer Moussol FF 3/6. Ochidex BlueFoam 3x3 benötigte über 10% mehr Zeit als die Referenz AFFF-AR.

Der 100%ige Löscherfolg wurde von Angus Respondol 3/3 und Sthamer Moussol FFF 3/6 in vergleichbarer Zeit zum AFFF-AR erreicht. Alle anderen Löschmittel benötigten über 10% mehr Zeit.

### Löschzeiten – unpolare Flüssigkeit (Kerosin)

Erneut wurde Finiflam AFFF/AR 3x3 als Referenz verwendet. Eine deutlich schnellere Löschwirkung erzielte Fomtec LS xMAX, wobei jeweils 20% weniger Zeit zum Erreichen der 90%igen und 100%igen Löschwirkung benötigt wurden. Angus Respondol 3x3 erreichte vergleichbare Werte wie AFFF, wobei die vier übrigen Schäume teils deutlich längere Löschzeiten benötigten (Abbildung 4).



**Abbildung 4 Löseffizienz von sechs fluorfreien Schaummitteln im Vergleich zu einem AFFF-AR bei Kerosin als brennbare Flüssigkeit (unpolare Flüssigkeit)**

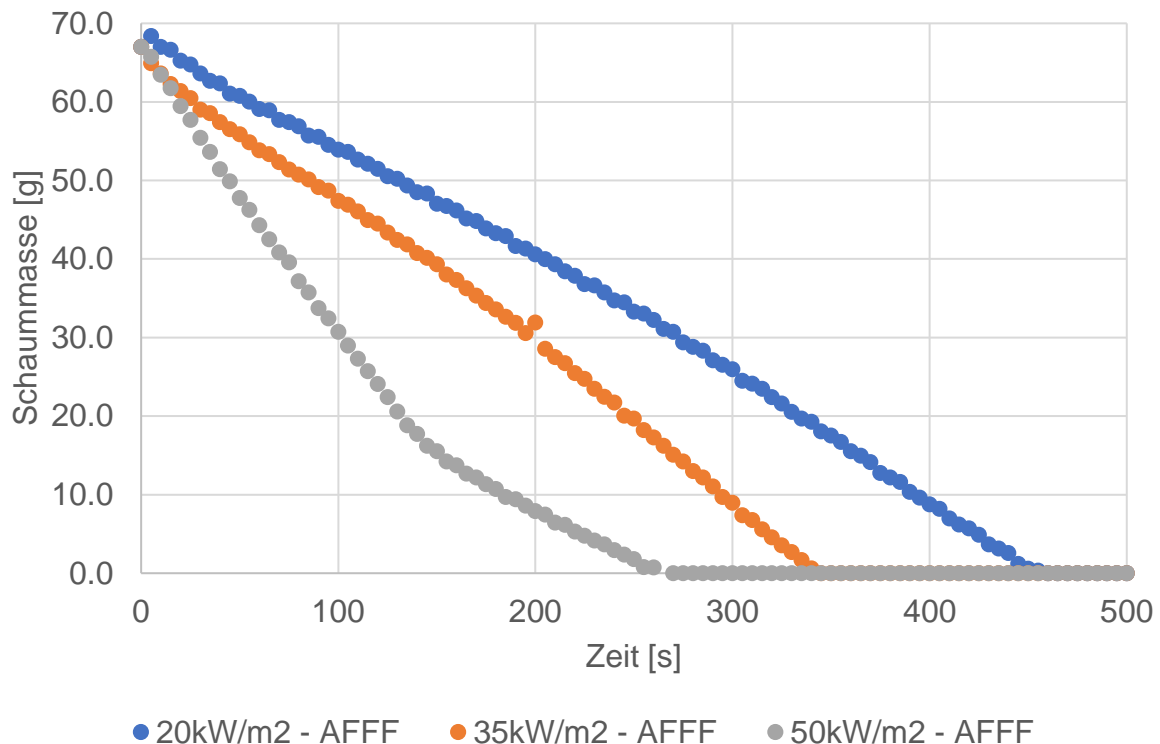
Die Löseffizienz von AFFF-AR (Finiflam AFFF/ARF 3x3) wurde als Referenz für die übrigen Schäume verwendet. Auf der x-Achse ist die prozentuale Effizienz dargestellt. Schwarze Balken kennzeichnen das Kriterium 100% Löscherfolg, graue Balken das Kriterium 90% Löscherfolg. Auf der y-Achse sind die

einzelnen Schaummittel aufgelistet, zu welchen Brackwasser und Luft zugemischt wurden. Alle Schaummittel wurden mit 3% zugemischt. Die Verschäumungszahl wurde auf 8 eingestellt. Es wurde mit 5bar Nennförderdruck gearbeitet. Die Schäume wurden auf 20l Kerosin aufgegeben, welche auf 180l Brackwasser aufschwammen. Der Brand durfte sich für ca. 60s auf ca. 650 bis 750°C Oberflächentemperatur entwickeln. Der Schaum wurde direkt aufgetragen.

Einen deutlich schnelleren Löscherfolg erzielte Fomtec LS xMAX im Vergleich zur Referenz mit ca. 20% Zeitvorsprung. Ähnlichen Löscherfolg wie die Referenz erzielte Angus Respondol 3/3. Beide Fomtec Enviro Schäume benötigten über 20% mehr zum Erreichen der beiden Prüfkriterien. Deutlich länger benötigten Sthamer Moussol FF 3/6 und Orchidex BlueFoam 3x3 für das Erreichen des 100%igen Löscherfolgs.

### Thermische Einflüsse auf Mittel- und Schwerschaum

Die hier dargestellten Ergebnisse beruhen auf der oben angeführten Bachelorarbeit von Tim Kirschner (Bergischen Universität Wuppertal im Studiengang Sicherheitstechnik). Unter anderem wurde die Stabilität von Schäumen unter thermischer Belastung betrachtet. Die Abnahme der Schaummenge wurde während der thermischen Belastung mit einem Mass Loss – Cone Calorimeter ermittelt. Es wurden dafür drei verschiedene Wärmefreisetzungsraten (auch bekannt als heat release rate – HRR, in  $\text{kW/m}^2$  angegeben) angenommen. Als Referenz wurden ein AFFF und eine alkoholresistente Variante untersucht (Moussol APS F-15 und Moussol APS 1/3). Im Vergleich wurden zwei fluorfreie Schaummittel untersucht. Alle Schäume wurden als Schwerschaum und die fluorfreien auch als Mittelschaum getestet. Jeder Schaum wurde dann  $20\text{kW/m}^2$ ,  $35\text{kW/m}^2$  und  $50\text{kW/m}^2$  ausgesetzt und dessen Masseverlust erfasst. In Abbildung 5 ist der thermische Einfluss auf die Stabilität von AFFF Schwerschaum dargestellt. Die niedrige und mittlere Wärmefreisetzungsrate führten zu einem annähernd linearen Zerfall des Schaums. 50% Zerstörung des Schaums wurden nach 250s bei  $20\text{kW/m}^2$  und 180s bei  $35\text{kW/m}^2$  festgestellt. Bei  $50\text{kW/m}^2$  waren nach 90s 50% des Schaums zerstört. Bei dieser Wärmefreisetzungsrate war der lineare Zusammenhang nicht mehr festzustellen.



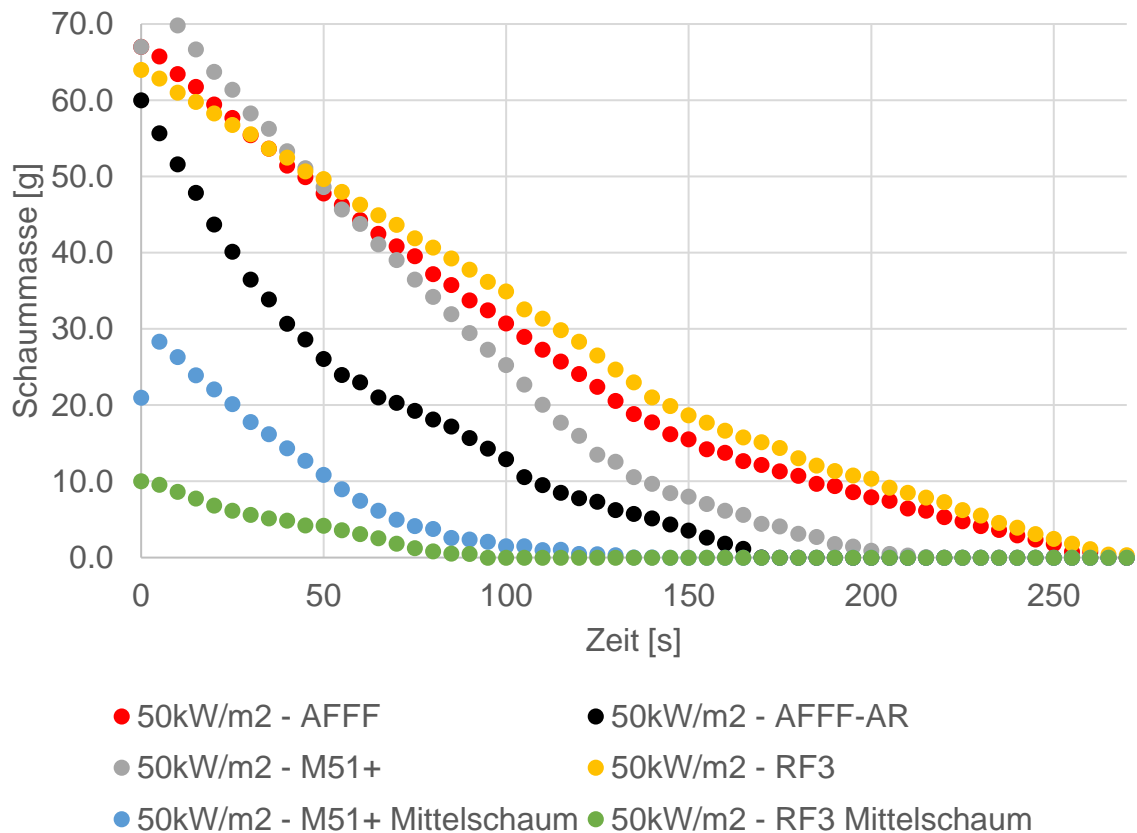
**Abbildung 5 Messung der Abnahme der Schaummenge eines AFFF Schwerschaums bei 20kW/m<sup>2</sup>, 35kW/m<sup>2</sup>, 50kW/m<sup>2</sup>**

Mittels eines Mass Loss – Cone Calorimeters wurden die Gewichtsabnahme von AFFF Schwerschaum bei drei verschiedenen Wärmefreisetzungsraten ermittelt. Die Messungen fanden als Duplikat statt. In der Grafik sind die Mittelwerte der Messung dargestellt. Fehlerbalken konnten nicht eingetragen werden, da bei Duplikaten keine Standardabweichung berechnet werden kann.

Auf der x-Achse ist die Zeit in Sekunden aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Masse des Schwerschaums dargestellt. In blau ist die Abnahme der Schaummenge bei 20kW/m<sup>2</sup>, in orange bei 35kW/m<sup>2</sup> und in grau bei 50kW/m<sup>2</sup> dargestellt. Bei 20kW/m<sup>2</sup> sind 50% des Schaums nach 250s zerstört. Bei 35kW/m<sup>2</sup> sind nach 180s 50% des Schaums zerstört. Bei 50kW/m<sup>2</sup> ist nach 90s die Hälfte des Schaums zerstört. Je stärker die thermische Belastung des Schwerschaums wird, desto schneller kommt es zu einem Zerfall und damit verbundener Gewichtsabnahme. Eine lineare Zerstörungsrate ist bei der niedrigen und mittleren Wärmefreisetzungsrate festzustellen. Bei der hohen Wärmefreisetzungsrate scheint der lineare Zusammenhang verloren zu gehen.

In der Abbildung 6 sind die Mittel- und Schwertschäume unter thermischer Belastung von 50kW/m<sup>2</sup> dargestellt. MB51+ wurde mit 1% zugemischt, alle übrigen Schaummittel wurden mit 3% zugemischt. Auf die Darstellung der Grafen für die geringeren Wärmefreisetzungsraten wird aufgrund der repetitiven Natur der Ergebnisse verzichtet. Es wird deutlich, dass Schwertschäume deutlich länger standhalten als Mittelschäume. Schwerschaum RF3 und AFFF zeigen einen vergleichbaren Kurvenverlauf und weisen die höchste Stabilität gegenüber der thermischen Belastung auf. 50% des Schaums sind nach 105s (RF3) beziehungsweise 90s (AFFF) noch erhalten. Schwerschaum M51+ verhält sich innerhalb der ersten 75s vergleichbar mit RF3 und AFFF, zerfällt dann allerdings wesentlich schneller. 50% des Schaums sind

nach 80s bereits zerstört. AFFF-AR ist unter den Schwerschäumen der am wenigsten stabile Schaum und hat nach 40s die Hälfte seiner Masse verloren. Die Mittelschäume zerfallen deutlich schneller (50% zerstört: RF3 40s und M51+ 50s).



**Abbildung 6 Messung der Abnahme der Schaummenge bei 50kW/m² an zwei Mittel- und vier Schwerschäumen**

Mittels eines Mass Loss – Cone Calorimeters wurden die Gewichtsabnahme von zwei Mittel- und vier Schwerschäumen bei 50kW/m² Wärmefreisetzungsraten ermittelt. Die Messungen fanden als Duplikat statt. In der Grafik sind die Mittelwerte der Messung dargestellt. Fehlerbalken konnten nicht eingetragen werden, da bei Duplikaten keine Standardabweichung berechnet werden kann.

Auf der x-Achse ist die Zeit in Sekunden aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Masse des Schwertschaums dargestellt. Sofern in der Legende und im Text nicht anders gekennzeichnet handelt es sich um Schwertschaum.

Der geringste Zerfall des Schaums ist bei AFFF (nach 90s 50% zerfallen) und RF3 (nach 105s 50% zerfallen) festzustellen. Innerhalb der ersten 75s verhält sich M51+ vergleichbar zu AFFF und RF3, allerdings zerfällt der Schaum danach deutlich schneller (50% nach 80s zerfallen). AFFF-AR zerfällt deutlich schneller als die nicht alkoholresistente Variante (50% Zerstörung nach 40s). Die beiden Mittelschäume zerfallen deutlich schneller (50% Zerfall RF3 nach 40s und M51+ nach 50s).

### Auswertung der telefonischen Befragung

Die telefonische Befragung von den oben genannten Entscheidungsträgern bei der Auswahl von Schaummitteln an Standorten der chemischen Industrie ergab fast einheitlich das nachfolgende Ergebnis:



1. Es wird nach fluorfreien Schaummitteln gesucht, welche über vergleichbare Eigenschaften wie AFFF(-AR) verfügen sollen.
2. Derzeit findet fast an jedem Standort eine Doppelbevorratung statt, da ein Versagen der fluorfreien Schaummittel nicht ausgeschlossen werden kann oder sogar erwartet wird.
3. Es wird ein Verbot von AFFF(-AR) in Deutschland erwartet.
4. Ein Großteil der Befragten testet alternativen Schaummittel am eigenen Standort. Dies erfolgt im kleinen Maßstab (<10m<sup>2</sup> Oberfläche der brennbaren Flüssigkeit) und meist an einem Kraftstoff (reiner Ottokraftstoff oder mit Bioethanol versetztes Produkt, Heptan) und an Alkohol (Isopropanol) oder Aceton. Kaum ein Standort testet die Schaummittel an tatsächlich vor Ort vorkommenden chemischen Stoffen aus, welche über die genannten Testbrennstoffe hinausgehen. Das liegt daran, dass es beispielsweise zu viele Stoffe vor Ort gibt (Currenta müsste an ca. 8.000 Stoffen diese Versuche durchführen) oder die Stoffe gesundheits- und umweltgefährdend sind (als Beispiele wurden Blausäure genannt). Allerdings können Versuche mit den genannten Beispielen auch ausreichend sein, da diese die im Betrieb vorkommenden Stoffe ausreichend repräsentieren.
5. Die Experimente werden nicht nach wissenschaftlichen Standards durchgeführt. Es werden kaum Variablen ausgetestet. Mehrfachmessungen gehen meist nicht über Duplikate hinaus.
6. Es herrscht kein Konsens über fluorfreie Schaummittel. Jeder Standort wählt anhand der eigenen Test oder auf Empfehlung eines Schaummittelherstellers ein fluorfreies Schaummittel aus.
7. Einsatzerfahrung von realen Großbränden und deren Bekämpfung mit fluorfreien Schaummitteln und einem Löscherfolg mit diesem sind in Deutschland scheinbar nicht vorhanden.
8. Die Erwartung an eine fluorfreie Alternative ist, dass dieses Schaummittel ebenso wie AFFF(-AR) für alle am Standort vorkommenden Stoffe als universelles Löschmittel funktionieren muss. Eine Bevorratung mit einer Vielzahl von fluorfreien Schaummitteln und einer auf das jeweilige Produkt abgestimmten Auswahlmatrix ist nicht gewünscht.

## Diskussion

Die telefonische Befragung von Entscheidungsträgern bei der Auswahl von Schaummitteln in der chemischen Industrie ergab, dass es scheinbar keine Alternative zu AFFF(-AR) für den Einsatz bei Großbränden bekannt ist. AFFF beruhen auf der Verwendung von per-/polyfluorierten Chemikalien wie PFOS und PFOA [1, 2, 5, 8, 10, 11, 18, 19]. PFOS und deren Derivate wurden 2006 und 2011 durch EU-weite Rechtsnormen reguliert und abschließend für viele Anwendungsbereiche, inklusive Feuerwehrlöschschäume verboten [1, 5, 18, 19]. Dennoch werden allein in Deutschland weiterhin 9t/a produziert und teilweise exportiert [1]. Bei diesen zulässigen Ausnahmen wird angenommen, dass ein Eintritt in die Umwelt nahezu ausgeschlossen oder äußerst gering ist [1]. PFOA und deren Derivate dürfen weiterhin in Verkehr gebracht werden und unter anderem in Löschschäumen eingesetzt werden. Dennoch stufte die EU, das Umweltbundesamt und die äquivalente norwegische Behörde PFOA als kritisch ein und wird diese Stoffe voraussichtlich ab 2020 verbieten [1, 19]. Für Feuerlöschschäume sieht die Regelung vor, dass nach dem 04.07.2020 PFOA in konzentrierten Feuerlöschschaumgemischen nicht mehr in den Verkehr gebracht werden dürfen [19]. PFOS und PFOA besitzen acht Kohlenstoffatome, bisherige nationale und internationale Verbote und Prüfungen auf Verbote bezogen sich bisher auf per-/polyfluorierte Substanzen mit dieser Kettenlänge. Kurzkettige Varianten wurden bereits in AFFF verarbeitet [6]. Allerdings laufen Untersuchungen zum Verbot von länger- als auch kurzkettigen Varianten. Abschließende Ergebnisse der Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals (REACH) for Substances of Very High Concern (SVHC), European Chemicals Agency (ECHA), Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POP-Liste) und vergleichbarer EU-fremden Regelungen liegen noch nicht vor. Entgegen der hier festgestellten rechtlichen Grundlagen, wurde am 14.06.2018 ein Urteil des Bundesgerichtshofs rechtskräftig, welches den Einsatz eines PFOS-haltigen Löschschaums in 2010 als ermessensfehlerhaft und daher amtspflichtwidrig deklariert [20]. Das Urteil stellt fest, dass die Verwendung des Schaums nicht verhältnismäßig war und dass mildere Mittel einen vergleichbaren Löscherfolg/Nachbarschaftsschutz hätten sicherstellen können [20]. Durch den Einsatz des Schaums kam es zu einer Kontamination des Erdreichs und Grundwassers [20] auf dem Grundstück eines Bio-Großhändlers in Baden-Baden. Bei dem Brand handelte es sich um eine in Flammen stehende Lagerhalle, welche von der Feuerwehr bereits beim Eintreffen als nicht mehr

haltbar eingestuft wurde [20]. Ziel war es ein Übergreifen auf ein Verwaltungsgebäude zu verhindern [20]. Der Bundesgerichtshof hält nicht generell den Schaumeinsatz für ermessensfehlerhaft sondern nur, dass ein PFOS-haltiger Schaum zum Einsatz kam und die damit einhergehende Umweltgefahr hätte vermieden werden können [20]. Ein Einsatz von Mehrbereichsschaummittel wäre laut Gericht sogar vertretbar gewesen, eventuell hätte aber auch reines Löschwasser ausgereicht [20]. Die oben beschriebenen Auswahlmatrizen hätten aufgezeigt, dass es sich um einen Brand von (zum Großteil) Feststoffen der Brandklasse A handelt und Mehrbereichsschaummittel [14-16] einsetzbar gewesen wäre. Ein Verbot von fluorhaltigen Schäumen kann aus dem Gerichtsurteil auf keinen Fall abgeleitet werden. Der Einsatz von AFFF ist weiterhin akzeptabel, wenn die gezeigten Auswahlmatrizen zugrunde gelegt werden (Vergleich Abbildung 1). Auch die NFPA 11 Richtlinie kommt zu dem Schluss, dass bei Bränden von polare Flüssigkeiten aus Kohlenwasserstoffen und großen Volumina fluorhaltige Schäume einzusetzen sind [9]. Es werden AFFF und Film Forming FluoroProtein Schäume als Äquivalent betrachtet und keine Alternativen vorgeschlagen [9]. Bei übrigen brennbaren Flüssigkeiten aus Kohlenwasserstoffen werden neben den fluorhaltigen Schäumen auch fluorfreie Alternativen in Betracht gezogen [9], was in der UL 162 vergleichbar dargestellt wird [10]. Beide Richtlinien zielen Großteils auf stationäre Löschanlagen ab und geben dafür genaue Auskunft über die minimal aufzutragende Schaummenge, damit verbundene Anzahl von Abgabegeräten, Durchmesser der zu kontrollierenden Fläche und Dauer der Schaumabgabe [9, 10]. Bei stationären Löschanlagen ist davon auszugehen, dass auch ein Rückhalt des Löschwassers durchgeführt und somit die Umweltgefährdung durch PFT sehr gering gehalten werden kann. Die DIN EN 1568-3 und -4 geben keine detaillierte Auskunft wie die anderen Normen und geben stattdessen in einer Tabelle eine generelle Auskunft über Löschleistungsklasse, dafür empfohlene Schaummittel, ob diese filmbildend sind, wie sie aufgetragen werden sollen und wie die 25% Rückbrandbeständigkeitsstufe ist [8, 11]. Letztere ist die Ermessensgrundlage für die Löschleistungsklasse [8, 11], was eine Auswahl des Schaummittels nicht gerade intuitiv gestaltet. Dennoch können diese Normen zur Beurteilung der Leistung von aktuell auf dem Markt befindlichen Schaummitteln herangezogen werden. Das IBK hat in Anlehnung an die DIN EN 1568-4 eigene Untersuchungen zu alkoholresistentne, fluorfreien Schaummitteln im Vergleich zu einem AFFF-AR durchgeführt [21]. Allerdings erfolgte die Untersuchung nicht nach dem normativen Test der DIN, sondern

lediglich nach dem informativen Test, welcher zur Qualitätssicherung in der DIN empfohlen wird [11, 21]. Somit sind die vom IBK ermittelten Werte nicht mit den Auskünften aus den Datenblättern der Schaummittelhersteller vergleichbar, welche ihre Schaummittel nach der normativen Löschrprüfung zertifizieren lassen. Dennoch zeigte sich in den Versuchen des IBK, dass fluorfreie Schaummittel in vielen Bereichen mit fluorhaltigen Schaummitteln mithalten können [21]. Vergleichbare Ergebnisse konnten auch in den hier dargestellten Untersuchungen, bezogen auf den Löscherfolg, dokumentiert werden. Je nachdem welcher Löscherfolg (90%, 99%, 100%) betrachtet wurde und je nach brennbarer Flüssigkeiten erzielten die eingesetzten Schäume teilweise einen schnelleren Löscherfolg als AFFF(-AR) [21]. Vier der fluorfreien Schaummittel, welche am IBK getestet wurden, kamen auch in den hier präsentierten Untersuchungen zum Einsatz. Wie im Ergebnisteil dargestellt gab es auch hier fluorfreie Schaummittel, welche mit AFFF(-AR) vergleichbare Löscherfolge erzielten (Abbildung 3 und 4). Die Ergebnisse des IBK wurden allerdings pseudonymisiert, daher ist kein Vergleich der Ergebnisse möglich.

Die vom Untersucher oder einer Norm festgelegten Kriterien für solche Untersuchungen können einen großen Einfluss auf die zu erwartenden Ergebnisse haben. Bei Scheffey et al. wird in den Versuchen der 90%ige Löscherfolg allein betrachtet [17]. Die durchgeführten Tests beruhen dabei auf zwei amerikanischen Richtlinien. In anderen Richtlinien wird teilweise die Kombination von 90%igem, 99%igem und 100%igem Löscherfolg oder nur einer davon evaluiert. Auch die Oberflächen reichen je nach Norm von  $<2\text{m}^2$  bis hin zu fast  $10\text{m}^2$  [8-11]. Bei LASTFIRE und Scheffey et al. wurden sogar mehrere hundert bis sogar über tausend Quadratmeter Oberfläche untersucht [12, 17]. Eine Skalierbarkeit vom Kleinschversuch zum Großbrand wird von Scheffey et al. für fluorhaltige Schaummittel dargestellt (Vergleich Abbildung 2) [17]. Ein weiterer einflussreicher Parameter ist die Zeit zwischen Entzündung des Feuers und dem Beginn der Löschrmaßnahme. Hier fordern die Richtlinien zwischen 15s (UL 162) und 120s Branddauer (DIN EN 1568) ehe die Löschrmaßnahmen durchgeführt werden sollen [8-11]. Es ist offensichtlich, dass eine längere Branddauer zu höheren Temperaturen führen wird. Zum einen wird mit längerer Dauer die Flüssigkeit stärker erwärmt und es wird verstärkt Brennstoff aus der flüssigen Phase in die gasförmige Phase übertreten, zum anderen wird auch der Brandbehälter stärker erwärmt werden. Die oben durchgeführten Versuche im Rahmen der Bachelorarbeit zeigen einen deutlichen

Einfluss von Wärmestrahlung auf die Beständigkeit von Schaum (siehe Abbildung 5 und 6). Davon kann abgeleitet werden, dass Schaum bei sehr großer Hitze sich weniger schnell ausbreiten und etablieren wird, da ein prozentualer Anteil thermisch zersetzt wird. In den hier präsentierten Versuchen wurde anstelle der reinen Zeit bis zur Löschmaßnahme auch die Temperatur am Behälter dokumentiert. Die Temperatur befand sich bei den Messungen zwischen ca. 650°C und 750°C. Die Kerntemperatur bei Flächenbränden von Kerosin liegt hingegen bei ca. 800°C bis 1.300°C [22], was erneut zeigt, dass die Kleinlöschversuche nicht direkt mit Großbränden korrelieren dürften. Persson kritisiert die Anwendbarkeit von UL162 und DIN EN 1568 auf große Tankbrände und spricht direkt die Branddauer bis zum Ergreifen der Löschmaßnahmen an, was ihm als nicht realitätsnah erscheint [13]. Seiner Meinung nach sind die Tests dieser Normen eher zur Bekämpfung von Leckagebränden ausgelegt [13]. Auf Großversuche skaliert, wird der Temperaturunterschied in Abhängigkeit der Branddauer bis zum Einsetzen der Löschmaßnahmen sowie das Material der „Brandwanne“ möglicherweise einen dramatischen Einfluss auf den Löscherfolg haben. Die Form der Brandwanne ist auch in den Normen unterschiedlich geregelt. In den DIN EN 1568 Normen wird eine runde Brandwanne evaluiert, wohingegen UL 162 und NFPA 11 eine eckige Brandwanne fordern [8-11]. In der Begründung der NFPA 11 steht, dass diese Form die Brandbekämpfung erschwert und somit realer abbildet [9]. Eine Anleitung für diesen Kleintest kann im Annex F Seite 11-87 gefunden werden [9] und ist in Tabelle 2 dargestellt. Dieser Anhang ist nicht Teil der Anforderungen der NFPA und wurde aus einer amerikanischen Norm zur Brandbekämpfung auf Schiffen entnommen, welche nicht mehr gültig ist [9]. Für den Test sollen 284l einer „sehr herausfordernde“ brennbaren Flüssigkeit (Kraftstoff mit einer Oktanzahl zwischen 82 und 93) genutzt werden [9]. Volumen und Oberfläche der brennbaren Flüssigkeit sind in diesem Test mehr  $\geq$ doppelt so groß verglichen mit den anderen Normen [8-11]. Dennoch ist auch die hier geforderte Oberfläche und Volumen nicht realitätsnah. Um Großbrände zu simulieren, können Tests nach LASTFIRE und die Norm NFPA 11 (nicht der Test in Annex F) als Richtlinie dienen, da sie für (große) Tankbrandszenarien ausgelegt sind [9, 12]. Es ist außerdem bekannt, dass die Temperatur und das Brandverhalten sehr stark von der brennbaren Flüssigkeit abhängen. Die Wärmefreisetzung von fossilen Kraftstoffen ist deutlich geringer, dafür mit mehr Rauch verbunden als es bei bspw. Aceton und Ethanol der Fall ist, welche fast rauchfrei verbrennen, aber deutlich höhere Wärmefreisetzungsraten erzeugen

[13]. Hier wird es in naher Zukunft zu einem höheren Gefahrenpotential kommen, denn ein Ziel der EU ist es, dass 20% aller Fahrzeugkraftstoffe bis 2020 aus erneuerbaren Ressourcen stammen sollen, was zum Großteil vermutlich durch die Verwendung von Ethanol erreicht werden soll [13]. Ethanol wird dabei nicht unbedingt als alleiniger Kraftstoff genutzt, sondern den fossilen Brennstoffen beigemischt (bspw. E85). Aus diesem Grund wachsen EU-weit die transportierten Mengen von Ethanol auf öffentlichen Straßen und die Lagerkapazitäten in der chemischen Industrie an [13]. Gerade hier werden temperaturbeständige und alkoholresistente Alternativen zu AFFF-AR dringend benötigt werden, wenn auf PFT verzichtet werden muss. In schwedischen

In 2004 brannten in Port Kembla (Australien) 4.000m<sup>3</sup> Ethanol in einem Tank mit 32m Durchmesser [13]. Innerhalb der ersten 30min nach Brandausbruch wurde 6% AFFF-AR über zwei Plattformmonitore und einen mobilen Werfer abgegeben [13]. Im weiteren Verlauf wurde dann Schaum aus einem Hubschrauber auf den Tank abgeworfen [13]. Es wurden im gesamten Einsatzverlauf 45.000m<sup>3</sup> Wasser und 50.000l AFFF-AR Konzentrat abgegeben, dennoch blieben alle Versuche erfolglos und so wurde entschieden, den Tank kontrolliert über 20 Stunden hinweg ausbrennen zu lassen und Nachbarschaftsschutz sicherzustellen [13]. Hier zeigte sich, dass auch AFFF-AR an Grenzen stößt und nicht generell als ultimative Löschmittel angesehen werden kann. Selbst wenn keine erfolgreichen oder adäquaten Löschmaßnahmen eingeleitet werden können und ein Ausbrennen als unumgänglich angesehen wird, werden dennoch immer Löschversuche unternommen werden. Auch wenn die von AFFF(-AR) ausgehenden Umweltgefahr, die hohen Entsorgungskosten von kontaminiertem Boden und/oder daraus folgender Grundwassersanierung, der fraglichen Weiterverwendbarkeit der in Brand geratenen und dadurch kontaminierten Flüssigkeit daraus erwachsen. Denn für Unternehmen der chemischen Industrie ist es bei einem so medial brisanten Großbrand wichtig einen Gesichtsverlust zu vermeiden und Imageschaden für das Unternehmen so gering wie möglich zu halten.

## **Ausblick**

Abschließend kann festgehalten werden, dass jede Norm und darin enthaltene Empfehlungen, in Abhängigkeit der tatsächlichen Anwendung, wertvolle Grundlagen

für die Beplanung von Ereignissen sind. Welche die „richtige“ Norm ist, muss jeder Anwender für sich, die am Standort vorhandenen Gefahren, trainierten Taktiken, Kräfte und Mittel entscheiden. Diese individuelle Abschätzung muss auch bei der Auswahl der Schaummittel selbst getroffen werden, da die am Standort vorkommenden brennbaren polaren oder unpolaren Stoffe, Volumina, Vorhandensein von stationären Löschanlagen, An-/Abwesenheit von Löschwasserrückhaltung und Ziel der Löschmaßnahmen über dessen Anforderungen entscheiden. AFFF(-AR) kann ebenso wenig einen Lösch Erfolg garantieren wie fluorfreie Schaummittel und ein Verbot von poly-/perfluorierten Tensiden in Löschschäumen ist nach 2020 zu erwarten. Bis dahin scheint an vielen Standorten der chemischen Industrie eine Doppel-/Mehrfachbevorratung verschiedener Schaummittel der Königsweg zu sein. Der Zusammenschluss einiger dieser Unternehmen unter LASTFIRE verspricht zukunftsweisende Erfahrungen mit fluorfreien Schaummitteln zu generieren und das an realitätsnahen Großbränden. Wichtig ist, dass Versuche reproduzierbar, als Mehrfachbestimmung unter verschiedenen Parametern (Art der brennbaren Flüssigkeit, Wind, Regen, verschiedene Strahlrohre, CAFS versus Schaum durch Injektion) durchgeführt und solide ausgewertet werden. Ebenso kann die Aufarbeitung realer Großbrände und Kommunikation der Ergebnisse wichtige Erfahrungen liefern. In den Kleinlöschversuchen zeigen fluorfreie Schaummittel vergleichbare Ergebnisse zum Goldstandard AFFF, daher sollte in Hauptaugenmerk auf deren Entwicklung und der optimalen Art der Schaumabgabe weiter erforscht und optimiert werden. Gerade die Art der Schaumerzeugung gelangt aktuell erneut in den Fokus, wird aber stark diskutiert. Bis verlässliche Neuerungen etabliert sind, können die publizierten Auswahlmatrizen für den Einsatz und die Wahl des entsprechenden Schaummittels herangezogen werden.

## Literaturverzeichnis

1. Umweltbundesamt - Fachgebiet IV 1.1 Internationales Chemikalienmanagement, Nationaler Durchführungsplan der Bundesrepublik Deutschland zum Stockholmer Übereinkommen. Texte 84/2017. 2017.
2. VdS Schadenverhütung GmbH, VdS 3141 : 2011-12 (01) Schaummittel in ortsfesten Löschanlagen. VdS-Merkblatt. 2011.
3. Olsen GW, Mair DC, Lange CC, Harrington LM, Church TR, Goldberg CL, et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in American Red Cross adult blood donors, 2000-2015. Environ Res. 2017;157:87-95. Epub 2017/05/22. doi: 10.1016/j.envres.2017.05.013. PubMed PMID: 28528142.
4. Ecopol, BIOex Alkoholbeständiges Synthetikschaummittel ohne Fluor - 100% biologisch abbaubar, Sicherheitsdatenblatt nach 1907/2006/EG, Artikel 31, 29/04/10.
5. Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, Verordnung (EG) Nr. 850/2004, Richtlinie, 30. September. 2016.
6. Mitch Hubert and Chang Jho, The primary weapon. Industrial Fire Journal. 2010.
7. Olsen GW, Church TR, Miller JP, Burris JM, Hansen KJ, Lundberg JK, et al. Perfluorooctanesulfonate and other fluorochemicals in the serum of American Red Cross adult blood donors. Environ Health Perspect. 2003;111(16):1892-901. Epub 2003/12/04. doi: 10.1289/ehp.6316. PubMed PMID: 14644663; PubMed Central PMCID: PMC1241763.
8. Europäisches Komitee für Normung, Feuerlöschmittel - Schaummittel - Teil 3: Anforderung and Schaummittel zur Erzeugung von Schwerschaum zum Aufgeben auf mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeiten, EN 1568-3:2018. 2018.
9. National Fire Protection Association, NFPA 11: Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam. NFPA 11. 2016.
10. Inc. UL. UL Standard for Safety for Foam Equipment and Liquid Concentrates. ANSI/UL 162 23. February 2018;(Eight Edition).
11. DIN-Normenausschuss Feuerwehrwesen (FNFW) Feuerlöschmittel - Schaummittel - Teil 4: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Schwerschaum zum Aufgeben auf mit Wasser mischbare Flüssigkeiten; Deutsche Fassung EN 1568-4:2018. 2018.
12. LASTFIRE - Large Atmospheric Storage Tank Fires, LASTFIRE Foam Application Tests, Dallas Fort Worth Airport [Internet]. LASTFIRE DFW Press Release; 2018
13. Persson H. Are we prepared for the challenges associated with the broad introduction of ethanol? Industrial Fire Journal. 2010.
14. Hessisches Ministerium des Innern und für Sport, Leitfaden "Auswahl von Schaummitteln" [cited 2018 06.12.]. Available from: <https://innen.hessen.de/sites/default/files/media/hmdis/schaummittel-auswahleitfaden.pdf>.
15. Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland, Werkfeuerwehrverband Deutschland, Deutscher Feuerwehrverband, Fachempfehlung Nr. 1 vom 12. März 2015 Sach- und umweltgerechter Einsatz von Schaummitteln Hinweise zur Auswahl und Vorhaltung. 2015.
16. Lebold M. Mitwirkung beim Leitfaden Umweltschonender Einsatz von Feuerlöschschäumen, Landesfeuerwehrverband Bayern e.V. 2018 10.03.2018. Report No.



17. J. L. Scheffey RLD, W. Leach, S. Fallis, F. W. Williams. Performance Analysis of Foam Agents Required to Combat Liquid Fuel Hazards. Naval Research Laboratory, Memorandum Report. March 21, 2002.
18. Die Europäische Kommission, Verordnung (EU) 2006/1907 der Kommission, Amtsblatt der Europäischen Union. 2006.
19. Die Europäische Kommission, Verordnung (EU) 2017/1000 der Kommission, Amtsblatt der Europäischen Union, Rechtsvorschriften, ISSN 1977-0642. 2017;(60. Jahrgang).
20. BGH 14.06.2018 - III ZR 54/17, ECLI:DE:BGH:2018:140618UIIIZR54.17.0, Urteil des Bundesgerichtshof vom 14.06.2018.
21. Karola Keutel und Mario Koch, Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Lösungsverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d.h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten. Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr -. 2016.
22. Rudlof A. Umstellung auf fluorfreie Lössschäume an Flughäfen. 2013-2018.

## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Fremde Arbeiten wurden gekennzeichnet und als Quellen zitiert. Die Grafik des Titelbildes wurde durch den Autor selbst erstellt und unterliegt keinem Nutzungsrecht Dritter. Die Daten der Versuche wurden von den Urhebern freiwillig und in diesem Umfang nutzbar zur Verfügung gestellt.

Dr. Robert F. H. Walter

Berlin, den 13.12.2018