

Verwendung von fluorhaltigen Schaumlöschmitteln in der Schweiz

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
Schlieren, 10. Dezember 2025



Impressum

Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmerin:

Econetta AG, Schlieren

Autoren:

Maximilian Schneider, Christian Braun, Nadia von Moos, Karina Urman

Begleitung BAFU:

Harold Bouchex-Bellomie, Andreas Buser, Juliane Glüge, Urs von Arx, Sektion Industriechemikalien

Daniel Bonomi, Michael Hösli, Sektion Störfall- & Erdbebenvorsorge

Hinweis:

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Der Inhalt wurde durch die Auftragnehmerin recherchiert und zusammengestellt. Die Auftragnehmerin hat diese Untersuchung unter Einsatz ihres besten professionellen Könnens und in Übereinstimmung mit allgemein anerkannten Grundsätzen ausgeführt. Die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen im Untersuchungsbericht stützen sich auf die Informationen, die der Auftragnehmerin zum Zeitpunkt der Berichtverfassung vorlagen. Diese Erkenntnisse und Schlussfolgerungen können nicht unüberprüft auf zukünftige Verhältnisse übertragen werden.

Econetta AG

T 044 732 92 97

Ifangstrasse 11

M 079 591 13 66

8952 Schlieren ZH

maximilian.schneider@econetta.com

Zusammenfassung

Schaumlöschenmittel (SLM) sind wichtig für die sichere und effiziente Bekämpfung von Flüssigkeitsbränden. Allerdings können sie per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) enthalten. Durch ihre Langlebigkeit können sich PFAS in der Umwelt anreichern und eine Gefahr für die Umwelt und die menschliche Gesundheit darstellen. Einige langkettige PFAS (C₈-C₁₄) und ihre Vorläuferverbindungen sowie PFHxA und deren Vorläuferverbindungen sind heute in der Schweiz und der EU bereits reguliert. Es gibt jedoch weiterhin Bedenken bezüglich anderer Verbindungen aus Löschenmitteln der neuesten fluorhaltigen Generation. In der EU wurde deshalb im Herbst 2025 eine Beschränkung aller PFAS in SLM-Anwendungen beschlossen. Der vorliegende Bericht beleuchtet die Situation in der Schweiz auch im Hinblick auf mögliche Implikationen einer Angleichung der schweizerischen chemikalienrechtlichen Vorschriften über SLM an die in der EU verabschiedete Regelung.

Schweizer Akteure sind sich der umwelt- und gesundheitsgefährdenden Problematik von PFAS bewusst. Fluorhaltige SLM wurden insbesondere bei mobilen Einsatzmitteln der Einsatzkräfte in den letzten Jahren kontinuierlich durch fluorfreie Alternativen ersetzt. Dieser Prozess dauert an. Für spezielle Anwendungsszenarien werden von einigen Akteuren noch Leistungsabstriche bei den fluorfreien SLM befürchtet, wodurch sie eine Umstellung als herausfordernd betrachten. Nichtsdestotrotz haben auch hier einige Akteure einen vollständigen Wechsel zu fluorfreien SLM bereits vollzogen.

Zum Einsatz kommen fluorhaltige SLM in der Schweiz heute überwiegend noch in stationären Löschanlagen der Industrie, des Gewerbes sowie der Tanklager von Brenn- und Treibstoffen sowie in bestimmten Anwendungsszenarien bei mobilen Einsatzmitteln der Einsatzkräfte. In stationären Löschanlagen (inkl. Reserve der Armee) werden schätzungsweise ca. 12'250 kg PFAS in Form von fluorhaltigen SLM vorrätig gehalten. Hinzu kommen ca. 4'300 kg PFAS in Schaumfeuerlöschen. Der jährliche Verbrauch fluorhaltiger SLM aus stationären Anlagen sowie Schaumfeuerlöschen wird auf rund 116 kg PFAS geschätzt. Aufgrund des laufenden Umstellungsprozesses bei den mobilen Einsatzmitteln der Einsatzkräfte können aktuell keine quantitativen Angaben zu Bestand und Verbrauch fluorhaltiger SLM gemacht werden.

Eine sichere Entsorgung von fluorhaltigen SLM ist nur über Hochtemperaturverbrennung in Sonderverbrennungsanlagen mit Temperaturen von 1'000 - 1'200 °C gewährleistet. Die Gewässerschutzverordnung regelt die sachgemäße Entsorgung PFAS-enthaltenden Löschwassers und bildet, ergänzt durch die Brandschutzrichtlinien und teilweise die Störfallverordnung, eine Grundlage für Massnahmen zum Löschwasserrückhalt bei stationären Anlagen. Über den Anteil des Verbrauchs von fluorhaltigen SLM, der in die Umwelt gelangt, kann keine verlässliche Schätzung gemacht werden.

Der Bericht hält fest, dass die Umstellung auf fluorfreie SLM für den Einsatz auf Schiene, Strasse und zivilen Flugplätzen weit fortgeschritten ist und ein Verbot fluorhaltiger SLM in diesen Verwendungen mit einer kurzen Übergangsfrist gut umgesetzt werden kann. Auch die Umstellung auf fluorfreie SLM auf Militärflugplätzen ist eingeleitet, und ein Verwendungsverbot fluorhaltiger SLM mit einer kurzen Übergangsfrist ist gut vertretbar. Bei den Schaumfeuerlöschen machen fluorfreie Feuerlöscher zurzeit nur einen geringen Marktanteil (< 1 %) aus. Da Alternativen verfügbar sind, ist es hier wichtig, das Inverkehrbringen neuer fluorhaltiger Schaumfeuerlöscher zeitnah zu regeln. Für die Verwendung der fluorhaltigen Schaumfeuerlöscher ergibt es jedoch Sinn, längere Übergangsfristen zu definieren, auch um einen gestaffelten Übergang zu ermöglichen. Die längsten Übergangsfristen werden für stationäre Anlagen benötigt. Die Umstellung auf fluorfreie SLM wird hier mit erheblichen Kosten und gegebenenfalls technischen Umbauten vonstattengehen. Allerdings ist auch im Ereignisfall die fachgerechte Entsorgung von rückgehaltenem fluorhaltigem Löschwasser sehr teuer. Diese Kosten würden bei fluorfreiem SLM entfallen.

Abstract

Firefighting foams (FFs) are important for the safe and efficient fight against flammable liquid fires. However, they can contain per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Due to their longevity, PFAS can accumulate in the environment and pose a risk to the environment and human health. Some long-chain PFAS (C₈-C₁₄) their precursors as well as PFHxA and its precursors are already regulated in Switzerland and the EU. However, concerns remain about other substances found in the latest generation of fluorinated firefighting agents. In autumn 2025, the EU therefore decided to regulate all PFAS in FFs. This report examines the situation in Switzerland, including the possible implications of aligning the Swiss chemical regulations on FF with the regulation adopted in the EU.

Swiss stakeholders are aware of the environmental and health-threatening problems of PFASs. Fluorine-containing FF have been continuously replaced by fluorine-free alternatives in recent years, especially in mobile equipment used by fire brigades. This process is ongoing. For specific application scenarios, some stakeholders still fear that fluorine-free FFs will offer reduced performance, which they consider to be a challenge. Despite this, other stakeholders have already completed the switch to fluorine-free FFs also in these applications.

In Switzerland, fluorine-containing FFs are still mainly used in stationary extinguishing systems in industry, commerce and fuel storage facilities, as well as in certain application scenarios for mobile equipment used by fire brigades. In stationary extinguishing systems (including the army reserve), it is estimated that about 12,250 kg of PFASs are kept in stock in the form of fluorine-containing FFs (assumption: fluorine-containing FFs contain about 1% PFASs in the form of fluorosurfactants). In addition, there are approx. 4,300 kg of PFASs in foam fire extinguishers. The annual consumption of fluorine-containing FFs from stationary systems and foam fire extinguishers is estimated at around 116 kg of PFASs. Due to the ongoing changeover process for the mobile equipment of the fire brigades, no quantitative information can be provided on the stock and consumption of fluorine-containing FFs.

Safe disposal of fluorine-containing FFs can only be guaranteed by high-temperature incineration in hazardous waste incineration plants with temperatures of 1,000 - 1,200 °C. The Water Protection Ordinance regulates the proper disposal of extinguishing water containing PFASs and supplemented by the fire protection guidelines and, in part, the Hazardous Incident Ordinance defines measures for extinguishing water retention in stationary systems. No reliable estimate can be made of the proportion of fluorine-containing FF consumption that ends up in the environment.

The report notes that the transition to fluorine-free FFs for application on railways, roads and civil airports is well advanced and that a ban on fluorinated FFs in these applications can be implemented effectively with a short transition period. The switch to fluorine-free FFs at military airfields has also been initiated, and a ban on the use of fluorine-containing FFs with a short transition period is well justifiable. Fluorine-free fire extinguishers currently account for only a small market share (< 1 %) of foam fire extinguishers. As alternatives are available, it is important to regulate the placing on the market of new fluorinated foam fire extinguishers in a timely manner. However, it makes sense to define longer transition periods for the use of fluorinated foam fire extinguishers, also to enable a phased transition. The longest transition periods are needed for stationary systems. The switch to fluorine-free FFs will involve considerable costs and, in some cases, technical modifications. However, in the event of an incident, the professional disposal of retained fluorine-containing firefighting water is also very expensive. These costs would be eliminated with fluorine-free FFs.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Gesetzgebung und regulatorischer Ausblick	2
3	Verwendung von Schaumlöschenmitteln in der Schweiz	3
3.1	Brandklassen und Feuerlöscheschäume	3
3.2	Anwendungsbereiche von Schaumlöschenmitteln in der Schweiz	4
3.2.1	Einsatzkräfte in den Kantonen	4
3.2.2	Flughäfen und Spitätslandeplätze	4
3.2.3	Eisenbahnanlagen	4
3.2.4	Armee: Einsatzkräfte und stationäre Anlagen	4
3.2.5	Industrie und Logistik: stationäre Anlagen	5
3.2.6	Mineralölwirtschaft (Tanklager): stationäre Anlagen	5
4	Lagerbestände fluorhaltiger Schaumlöschenmittel	6
4.1	Vorgehaltene Bestände bei Einsatzkräften	6
4.2	Vorgehaltene Bestände in Schaumfeuerlöschen	6
4.3	Vorgehaltene Bestände in stationären Anlagen	6
5	Verbrauch fluorhaltiger Schaumlöschenmittel	7
5.1	Verbrauch durch Einsatzkräfte	7
5.2	Verbrauch mit Schaumfeuerlöschen	8
5.3	Verbrauch in stationären Löschanlagen	8
6	Entsorgung	9
7	Umwelteinträge fluorhaltiger Mittel	10
8	Schlussfolgerungen	10
9	Literaturverzeichnis	13

Abkürzungsverzeichnis

AdF	Angehörige der Feuerwehr
AFFF	Aqueous Film Forming Foam (wasserfilmbildender Schaum)
ALC	Armeelogistikcenter
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
CARBURA	Pflichtlagerorganisation der schweizerischen Mineralölwirtschaft
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (SR 814.81)
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
ECHA	Europäische Chemikalienagentur
FKS	Feuerwehrkoordination Schweiz
6:2-FTAB	6:2-Fluortelomersulfonamidalkylbetaein
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
SLM	Schaumlöschenmittel
LBA	Logistikbasis der Armee
LGVS	Löschgeräte-Verband Schweiz
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen
PFCA	Perfluorcarbonsäuren
PFOA	Perfluoroctansäure
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
POP	Persistent organic pollutants (persistente organische Schadstoffe)
ppm	Ein Millionstel (parts per million, Faktor 10^{-6})
REACH	EU-Verordnung für die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien
StFV	Störfallverordnung (SR 814.012)
VKF	Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen
WELAB	Wechselladebehälter

1 Einleitung

Schaumlöschenmittel (SLM) sind wichtig für eine sichere und effiziente Bekämpfung von Flüssigkeitsbränden. Allerdings können sie Fluortenside, sogenannte per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (per- and polyfluoroalkyl substances), kurz PFAS enthalten, welche in der Umwelt extrem langlebig sind, teilweise eine hohe Mobilität in Böden und Gewässern aufweisen und langfristig für die Umwelt und Gesundheit des Menschen schädlich sein können [1, 2]. In einem vom BAFU finanzierten Projekt der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) wurden PFAS, welche u. a. auch in fluorhaltigen SLM der neuesten Generation eingesetzt werden, in Ein- und Abläufen der Kläranlagen sowie im Klärschlamm nachgewiesen. Die Messresultate zeigen, dass ein relevanter Anteil der PFAS die Kläranlagen durchläuft und anschliessend in Gewässer gelangt. Die PFAS werden in den Kläranlagen kaum eliminiert, sondern teilweise in persistente Endprodukte umgewandelt [3].

Chemisch gesehen bestehen Fluortenside aus Kohlenwasserstoffketten verschiedener Länge, bei denen die Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind. Die Art und Menge der PFAS in SLM hat sich im Laufe der Zeit mit der Verfahrenstechnik und Regulatorik verändert. Ältere SLM-Formulierungen, welche zwischen 1960 und 2002 durch elektrochemische Fluorierung hergestellt wurden, enthielten hauptsächlich C₈-basierte Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) und Derivate davon. Neben PFOS enthielten SLM damals auch kürzerkettige PFAS¹ wie C₆-basierte Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS). Zwischen 1970 und 2016 wurden durch die Fluortelomerisierung C₆-basierte Fluortenside für die Verwendung in SLM hergestellt, welche 6:2-Fluortelomeriodid mit einer längerkettigen Telomeriodidfraktion enthielten. Schliesslich enthalten SLM aus moderner Produktion nach der heute etablierten destillativen Abtrennung obengenannter langkettiger Fluortelomeriodid-Homologen, herstellungsbedingt überwiegend 6:2-Fluortelomere und nur noch Spuren von Perfluoroctansäure (PFOA) oder C₉-C₁₄-Perfluorcarbonsäuren (PFCA) sowie deren Vorläuferverbindungen. Es ist aber möglich, dass auch weitere, weniger bekannte PFAS eingesetzt werden [4]. Messungen von verschiedensten Forschungsgruppen zeigen ein sehr breites Spektrum an PFAS in SLM [4]. Gemäss einer Umfrage des Branchenverbands Eurofeu im Jahr 2018 verwendeten jedoch die fünf SLM-Herstellerinnen, die 60 - 70 % des Markts in der EU abdeckten, insgesamt nur zehn verschiedene Fluortenside, wobei die chemische Struktur der zwei meistverbrauchten nicht offengelegt wurde [5].

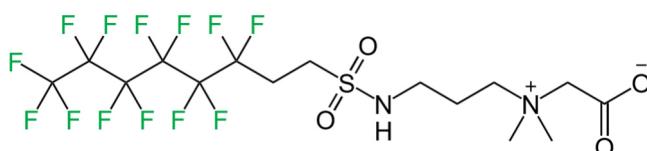
Aufgrund der steigenden Anzahl bekannter Fälle von grossflächigen Kontaminationen, verbunden mit ihren Risiken für die Gesundheit des Menschen und die Umwelt, haben PFAS in den letzten Jahren in Wissenschaft, Politik und den Medien eine wachsende Aufmerksamkeit erlangt. Die nach dem aktuellen Stand der Erkenntnisse für Mensch und Umwelt relevantesten Gruppen von PFAS einschliesslich ihrer Vorläuferverbindungen sind in der Schweizer Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, SR 814.81 [6]) bereits reguliert. Dies betrifft insbesondere längerkettige PFAS wie die Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) und ihre Derivate, Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) und ihre Vorläuferverbindungen sowie die Perfluoroctansäure (PFOA), Perfluorcarbonsäuren mit 8 bis 13 perfluorierten Kohlenstoffatomen (C₉-C₁₄-PFCA) und bestimmte Anwendungen der Perfluorhexansäure (PFHxA) und ihre jeweiligen Vorläuferverbindungen. Der Ausstieg aus der Verwendung der vier zuerst genannten PFAS-Gruppen ist fast abgeschlossen. Die Vorschriften über PFHxA treten ab 1. November 2026 in Kraft.

Ersatzstoffe für die bereits regulierten PFAS waren in vielen Fällen kürzerkettige PFAS. Was die chemische Identität der Fluorverbindungen in den damit ausgerüsteten Produkten betrifft, zeigen sich die Anbieter sehr bedeckt, so auch jene von SLM. Auch die Sicherheits- und Produktdatenblätter

¹ Vereinfachend wird hier von kürzerkettigen und längerkettigen «PFAS» geschrieben. Korrekterweise werden aber nur die Perfluoralkylsäuren in kurzketig und langketig eingeteilt, alle anderen PFAS nicht.

der SLM-Anbieter geben selten und nur vage Informationen über die Art und Menge der Fluortenside in ihren Produkten. Aufgrund verschiedener Veröffentlichungen in der wissenschaftlichen Literatur besteht Grund zur Annahme, dass heute verwendete SLM auf polyfluorinierten Tensiden der C₆-Technologie basieren. Es handelt sich um sog. 6:2-Fluortelomerverbindungen, die in der Umwelt unter anderem zur Perfluorhexansäure (PFHxA) abgebaut werden können.

A



B

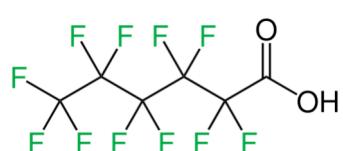


Abbildung 1 A Beispiel für eine 6:2-Fluortelomerverbindung (6:2-FTAB), die als Tensid in SLM dient.
B Perfluorhexansäure (PFHxA), ein Abbauprodukt von 6:2-FTAB in der Umwelt.

Die Toxizität und die Bioakkumulation von PFHxA ist geringer im Vergleich zu den bereits regulierten PFAS. Nichtsdestotrotz bestehen auch für PFHxA Bedenken, dass sie langfristig für die Umwelt und die Gesundheit des Menschen problematisch sein könnten, weil ihr Vorkommen in der Umwelt ohne emissionsmindernde Massnahmen stetig zunimmt. Das bedeutet, dass auch die in fluorhaltigen SLM der neuesten Generation verwendeten PFAS für die Zwecke der Risikobewertung als Stoffe ohne Schwellenwert behandelt werden sollten (d.h., es gibt keine Konzentration, die sicher ist und die man als akzeptabel annehmen kann).

Die Schweizer Akteure sind sich der umwelt- und gesundheitsgefährdenden Problematik von PFAS bewusst und fluorhaltige Mittel wurden insbesondere bei den mobilen Einsatzmitteln der Einsatzkräfte in den letzten Jahren kontinuierlich durch fluorfreie Alternativen ersetzt. Einige Einsatzkräfte in der Schweiz haben bereits heute fluorhaltige Mittel ganz abgeschafft, so beispielsweise die Einsatzkräfte der chemischen Industrie (BS, BL, VS), der Landesflughäfen Zürich und Genf sowie einiger Bahnbetriebe (SBB, BLS). Dieser Prozess dauert an. Der vorliegende Bericht zeigt den Stand der Umstellung auf und gibt Einblicke in die aktuellen Bestände und den Verbrauch von SLM.

2 Gesetzgebung und regulatorischer Ausblick

Regelungsgefäße von Vorschriften über PFAS in der EU sind die REACH-Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien [7] und die Verordnung über persistente organische Schadstoffe [8]. Bisher wurden PFOS und Derivate [9, 10], sowie PFOA [11, 12], PFHxS [13], C₉-C₁₄-PFCA [14] und die jeweiligen Vorläuferverbindungen in SLM reguliert. 2024 wurden zusätzlich das Inverkehrbringen und die Verwendung von PFHxA und PFHxA-Vorläuferverbindungen in bestimmten SLM-Anwendungen beschränkt [15]. Je nach Anwendung wurden Übergangsfristen von eineinhalb bis 4 Jahren definiert.

Die weitergehende Beschränkung für alle PFAS in Feuerlöschschäumen der Verordnung (EU) 2025/1988 [16] enthält Übergangsfristen zwischen eineinhalb Jahren (z. B. für Verwendung von SLM durch öffentliche Feuerwehren) bis 10 Jahren (für die Verwendung in Betrieben, die unter die Seveso-III-Richtlinie fallen) nach Inkrafttreten der Regulierung. Diese zusätzlichen Vorschriften über PFAS-haltige SLM sind parallel zu den bestehenden Verordnungen gültig.

In der Schweizer Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) sind die Regelungen zu PFAS im Anhang 1.16 enthalten [6]. Wie auch in der EU gibt es in der Schweiz bereits Regelungen zu PFOS und seinen Derivaten, sowie PFOA, PFHxS, C₉-C₁₄-PFCA und PFHxA sowie deren Vorläuferverbindungen. Verboten sind die Herstellung, das Inverkehrbringen und das Verwenden der Stoffe oder der Zubereitungen mit diesen Stoffen. Weiter dürfen Gegenstände, welche die Stoffe

enthalten, nicht in Verkehr gebracht werden. Für SLM gelten die Vorschriften über Zubereitungen. Das Inverkehrbringen und die Verwendung von SLM mit mehr als 10 ppm PFOS ist verboten, sowie das Inverkehrbringen und die Verwendung von SLM mit PFHxS, PFOA oder C₉-C₁₄-PFCA als unvermeidliche Verunreinigungen. Darüber hinaus werden die bei mobilen Einsatzkräften und in stationären Anlagen vorgehaltene SLM, die vor dem Inkrafttreten der Verbote beschafft wurden, gesondert adressiert [6].

Im Unterschied zur Beschränkung von PFHxA und ihren Vorläuferverbindungen in der EU, sind SLM, die für öffentliche Feuerwehren oder für stationäre Löschanlagen bestimmt sind, nicht Teil der Schweizer Regelung für PFHxA und ihre Vorläuferverbindungen. Diese werden in der Regelung für alle PFAS in Feuerlöschschäumen, die derzeit in Vorbereitung ist, abgedeckt werden.

3 Verwendung von Schaumlöschmitteln in der Schweiz

3.1 Brandklassen und Feuerlöschschäume

Es werden fünf verschiedene Brandklassen unterschieden, für die jeweils unterschiedliche Löschmittel geeignet sind. Reines Löschwasser erbringt nicht in allen Fällen eine gute Löschwirkung. Bei Flüssigkeitsbränden der Brandklasse B ist der Einsatz von SLM erforderlich [17, 18, 19]. Der Schaum besteht aus Wasser, SLM und Luft. Er schwimmt auf der Oberfläche des Brandgutes auf und bildet eine gleichmässige, geschlossene Schicht, welche u. a. die Sauerstoffzufuhr verhindert und die Bildung von weiteren Brandgasen unterdrückt. Das SLM wird dem Wasser mittels Zumischsystem in produktabhängigen Konzentrationen zwischen 1 % und 6 % zugemischt [19]. Das Wasser-Schaummittel-Gemisch wird bspw. im Schaumrohr mit Umgebungsluft verschäumt, womit eine Volumenvergrösserung eintritt. Der Luftanteil bestimmt die Art (Schwerschaum, Mittelschaum und Leichtschaum) und die Wirkungsweise des Schaums (z. B. Trenneffekt, Deckeffekt, Verdrängungseffekt und Kühleffekt als Haupt- oder Nebeneffekt).

Fluorhaltige SLM bilden aufgrund ihrer Eigenschaften auf apolaren Brennstoffen einen zusammenhängenden Wasserfilm aus und werden daher auch als wasserfilmbildende Schäume (engl. «Aqueous Film Forming Foam», AFFF) bezeichnet. Dieser sich beim Aufbringen von SLM auf brennbare Flüssigkeiten automatisch ausbildende Film verhindert die weitere Freisetzung von brennbaren Dämpfen und die Sauerstoffzufuhr, so dass Rückzündungen verhindert werden können. Für diesen Bericht wird angenommen, dass fluorhaltige SLM durchschnittlich 1 % PFAS in Form von Fluortensiden enthalten [20].

Im Gegensatz zu fluorhaltigen SLM bilden fluorfreie SLM keinen Wasserfilm, sondern wirken ausschliesslich durch die Schaumblasen des fertigen Löschaums. Diese müssen so stabil sein, dass sie das Durchkommen von Dampf verhindern können, was durch die Beimischung von Polymeren zur Erhöhung der Viskosität erreicht werden kann [21].

Obwohl bei der Entwicklung fluorfreier Alternativen in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt wurden, werden von einigen Akteuren Leistungseinbussen in Bezug auf Fließeigenschaften und Rückbrandverhinderung befürchtet. Löschaume ohne wasserfilmbildende Eigenschaften fliessen langsamer, wodurch sich der Schaumteppich, beispielsweise beim Begehen durch die Einsatzkräfte, nicht mehr selbständig schliesst und dadurch ein entsprechendes Rückzündungsrisiko besteht. Im Allgemeinen ist der Schaumteppich unregelmässiger ausgebildet und die Dichtigkeit für brennbare Dämpfe (Haltbarkeit) ist reduziert, was dazu führt, dass häufiger nachgeschäumt werden muss [17]. Um einen formfesten Schaum mit fluorfreien SLM zu erzeugen, benötigt man eine Zudosierung von 1 % und 6 % [17]. Da die fluorfreien SLM teilweise viskoser sind, insbesondere solche, die sich auch zum Löschen polarer Brennstoffe eignen, können sie oft nicht ohne weitere Anpassungen mit den bestehenden Anlagen zudosiert werden [21], wodurch eine Umrüstung und ein Austausch mehrerer Komponenten erforderlich sein kann.



3.2 Anwendungsbereiche von Schaumlöschenmitteln in der Schweiz

3.2.1 Einsatzkräfte in den Kantonen

Die Einsatzkräfte der öffentlichen Feuerwehren mit ihren mobilen Einsatzmitteln unterstehen den Kantonen sowie Gemeinden und sind zuständig für Wohnungs- und Industriebrände, sowie für Ereignisse im Strassen- und Schienenverkehr, einschliesslich des Transports von Gefahrgut.

Hinsichtlich der Verwendung von (fluorhaltigen und fluorfreien) SLM stützen sich die kantonalen Feuerwehrinspektorate und die Feuerwehren u. a. auf entsprechende Leitlinien der Feuerwehrkoordination Schweiz (FKS), wie auf das Informationsblatt ABC-01 Feuerlöschschäume [17], das Reglement Basiswissen [19], das Handbuch für ABC-Einsätze [18] und das Handbuch Materialdienst [22]. Schätzungsweise 95 % aller Brandereignisse sind der Brandklasse A (Feststoffbrände) zuzuordnen, bei welchen die Verwendung von fluorhaltigen SLM keine Vorteile bietet [23]. In diesen Fällen soll – wenn überhaupt – ein fluorfreies SLM eingesetzt werden. Bei Übungen sollen fluorhaltige SLM grundsätzlich nicht oder nur ausnahmsweise (z. B. durch Flughafenfeuerwehren oder beim Testen von Zumischanlagen etc.) verwendet werden [17].

Kantonsbehörden machen auch Vorgaben zur Rückhaltung bei Einsätzen und zur Entsorgung von SLM [24]. Oft konkretisieren sie die Vorgaben der FKS zur Rückhaltung von Löschwasser, die beispielsweise im «Handbuch für ABC-Einsätze» [18] und im Informationsblatt ABC-01 Feuerlöschschäume [17] definiert sind. Generell wird in vielen Dokumenten der zuständigen Stellen darauf hingewiesen, dass eine Einleitung von fluorhaltigen SLM in die Kanalisation, z. B. nach einem Einsatz, vermieden werden sollte und bei geplanten Einsätzen im Rahmen von Übungen untersagt ist [17, 25, 26, 27, 18]. Wann immer möglich sollen gebrauchte SLM in Rückhaltevorrichtungen gesammelt und nach Rücksprache mit dem zuständigen kantonalen Umweltamt fachgerecht entsorgt werden.

3.2.2 Flughäfen und Spitallandeplätze

In der Schweiz zählt man drei Landes- und elf Regionalflughäfen sowie 45 Flugfelder. An 17 Flugplätzen und -feldern ist eine Feuerwehr vor Ort stationiert, welche auch für die Beschaffung von SLM zuständig ist. Die Landesflughäfen in Zürich und Genf wurden vollständig auf fluorfreie SLM umgestellt (Stand 2025). Auch kleinere Flugplätze haben bereits auf fluorfreie SLM umgestellt (z. B. Altenrhein und St. Stephan). Fluorhaltige SLM werden demnach hauptsächlich noch auf einigen Regionalflughäfen erwartet. Bei Einsätzen wird verbrauchtes SLM nach Möglichkeit gesammelt und als Sonderabfall entsorgt. Die Übungsplätze an den Flughäfen verfügen über Auffangvorrichtungen, in denen verbrauchte SLM gesammelt und anschliessend fachgerecht entsorgt werden [28, 29].

3.2.3 Eisenbahnanlagen

Die Schweizer Bundesbahnen (SBB) verfügen in jeder ihrer 15 Kasernen über Lösch- und Rettungszüge, mit denen Geräte transportiert, Brände bekämpft, Personen evakuiert und Schienenfahrzeuge abgeschleppt werden können. Hinzu kommen zwei Reservefahrzeuge. Über einen weiteren, in Frutigen im Berner Oberland stationierten Lösch- und Rettungszug verfügt die Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn (BLS). Die 18 Lösch- und Rettungszüge der SBB-Feuerwehr - Intervention und BLS wurden bis Ende 2024 auf fluorfreie SLM umgestellt.

3.2.4 Armee: Einsatzkräfte und stationäre Anlagen

Die Logistikbasis der Armee (LBA) stellt den Truppen das Material und die Infrastruktur für die Ausbildung und Einsätze bereit und sorgt für die Instandhaltung. Eingebettet in die LBA sind fünf Armeelogistikcenter (ALC), die an verschiedenen Standorten in der Schweiz zum Schutz der militärischen Objekte über Betriebsfeuerwehren verfügen. Die «Schadenwehr Gotthard» ist eine Berufsfeuerwehr, die der LBA angegliedert ist und im Auftrag des Bundesamts für Strassen (ASTRA) arbeitet. Die Luftwaffe unterhält ausserdem auf den Militärflugplätzen, inkl. Aussenstandorte mit militärischem Flugbetrieb, sogenannte Flugunfallpikette (Flugplatzfeuerwehren) mit grossen Flugfeldlöschfahrzeugen. Die Rettungstruppen unterstützen die zivilen Behörden, wenn deren Mittel

nicht mehr ausreichen. Sie umfassen das Katastrophenhilfe Bereitschaftsbataillon und die Katastrophenhilfebataillone.

Mit fluorhaltigen SLM ausgestattet waren im Jahr 2022 die Löschfahrzeuge der Betriebsfeuerwehren und der Schadenwehr Gotthard (3% der total vorgehaltenen SLM-Menge einschliesslich Reserven), die stationären Löschanlagen der Brenn- und Treibstofflager und anderer Infrastrukturen (57 %), die Wechselleadebehälter (WELAB) des Katastrophenhilfebereitschaftsbataillons (24 %) und die Flugfeldlöschfahrzeuge der Luftwaffe (16 %) [30].

Nach Informationen des Armeestabs haben die Rettungstruppen inzwischen die Verwendung fluorhaltiger SLM eingestellt. Weiter ist die Umstellung auf fluorfreie SLM bei den Betriebsfeuerwehren und der Luftwaffe sowie der Ersatz fluorhaltiger Feuerlöscher eingeleitet.

3.2.5 Industrie und Logistik: stationäre Anlagen

Gemäss Erhebungen der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) sind 215 stationäre Anlagen in der Schweiz vorhanden, wovon ein Grossteil mit fluorhaltigen SLM befüllt ist (ca. 190 Anlagen). Im Brandfall werden stationäre Anlagen meist automatisch ausgelöst und SLM freigesetzt. Bei der Auslösung einer stationären Anlage können freigesetzte SLM in der Regel gut aufgefangen werden.

Die Errichterfirma muss nach einem Ereignis die Anlage wieder instand stellen und mit SLM gleichen Typs befüllen. Auch die Entsorgung wird durch die Errichterfirma organisiert. Rückhaltemassnahmen werden vom Kanton durch den Brandschutzplaner definiert und sind meistens bereits durch die gelagerten Stoffe vorgegeben [31, 26]. Aufgefangene sowie altersbedingt ausgetauschte SLM müssen ordnungsgemäss entsorgt werden. Hinweise zur fachgerechten Entsorgung sind beispielsweise im Merkblatt für Dienstleister und Betreiber von stationären Löschanlagen hinsichtlich des Ersatzes PFOS-haltiger Feuerlöschenmittel enthalten, welches 2018 in Zusammenarbeit mit dem BAFU erstellt wurde [32].

Auch bei jährlichen Funktionstests wird SLM freigesetzt. Dabei hängt es von der Anlagenart ab, ob das SLM im Kreislauf geführt werden kann (z. B. bei Anlagen mit Wassermotor) oder ob bei diesen Tests SLM freigesetzt wird (z. B. bei Blasentanks). Weiterhin fallen ungebrauchte SLM zur Entsorgung an, wenn diese altersbedingt ausgetauscht werden müssen. In der Regel werden SLM nach ca. 20 - 30 Jahren altersbedingt ausgetauscht. Die Funktionsfähigkeit der in den Anlagen vorhandenen SLM wird durch den Hersteller erstmals nach drei Jahren und anschliessend jährlich überprüft.

3.2.6 Mineralölwirtschaft (Tanklager): stationäre Anlagen

In der Schweiz gibt es 27 Tanklagerstandorte mit insgesamt 36 installierten Löschanlagen (Stand 2023). Hinzu kommen weitere Tanklager ohne stationäre Löschanlagen, die beispielsweise ausschliesslich Heizöl/Diesel lagern. Für die Beschaffung der SLM sind die Tanklagerhalter zuständig. Dabei sind die Richtlinien der Pflichtlagerorganisation der schweizerischen Mineralölwirtschaft (CARBURA) massgebend, welche sich explizit auf die Verwendung von AFFF beziehen. Grundsätzlich sind gemäss Richtlinien auch alternative SLM möglich, sofern Nachweise vorliegen, dass «sie dieselbe Löschwirkung wie AFFF erzielen und Rückzündungen ebenso wirkungsvoll verhindern». Laut Angaben der CARBURA werden in der Praxis aktuell nahezu ausschliesslich AFFF vorgehalten [33]. Die Funktionsfähigkeit der in den Anlagen vorhandenen SLM ist gemäss CARBURA-Richtlinie erstmals spätestens nach fünf Jahren und anschliessend mindestens alle zwei Jahre zu überprüfen. Funktionstests mit Schaumproduktion unter Beteiligung der Feuerwehr werden gemäss den Vorgaben der CARBURA alle 10 Jahre durchgeführt.

Bei der Auslösung einer stationären Anlage in einem Tanklager können freigesetzte SLM in der Regel gut aufgefangen werden. Rückhaltemassnahmen werden durch die Richtlinien der CARBURA definiert [33]. Die Entsorgung eines freigesetzten Schaumes und des Spülwassers (Auffangen und Entsorgung als Sonderabfall) ist Aufgabe der Tanklagerbetreiber [34]. Weiterhin fallen ungebrauchte SLM zur Entsorgung an, wenn diese altersbedingt ausgetauscht werden.

4 Lagerbestände fluorhaltiger Schaumlöschenmittel

4.1 Vorgehaltene Bestände bei Einsatzkräften

Basierend auf Erhebungen in den Jahren 2023-2024 kann davon ausgegangen werden, dass sich alle mobilen Einsatzmittel der Einsatzkräfte in einem Umstellungsprozess auf fluorfreie SLM befinden. In den letzten Jahren wurde ein steter und anhaltender Rückgang bei fluorhaltigen SLM der Einsatzkräfte festgestellt. Aufgrund der Dynamik des Umstellungsprozesses ist es schwierig, quantitative Angaben zum Bestand fluorhaltiger SLM bei den Einsatzkräften zu machen. Insgesamt sind ca. 650 t (fluorhaltige und fluorfreie) SLM bei den Einsatzkräften in der Schweiz vorhanden (Stand Ende 2024). Basierend auf den erhaltenen Rückmeldungen der Akteure wird davon ausgegangen, dass ein grosser Teil davon inzwischen fluorfreie SLM sind.

4.2 Vorgehaltene Bestände in Schaumfeuerlöschern

Nach Angaben des Löschgeräte-Verband Schweiz (LGVS) wird der Bestand an fluorhaltigen Schaumfeuerlöschern in der Schweiz auf ca. 3 Mio. geschätzt [35]. Fluorfreie Schaumfeuerlöschner haben zurzeit nur einen geringen Marktanteil (< 1 %). Unter Annahme eines durchschnittlichen Inhalts eines Löschers von 6 L und einem mittleren Fluortensid-Gehalt von 0.024 % in gebrauchsfertiger Form, errechnet anhand Analysen von vier Kartuschen, drei Konzentraten sowie einem Premix für Feuerlöscher [36], lässt sich schätzen, dass in den vorhandenen Schaumfeuerlöschern insgesamt ca. 4'300 kg PFAS in Form von Fluortensiden enthalten sind (Tabelle 1).

4.3 Vorgehaltene Bestände in stationären Anlagen

Die in stationären Anlagen vorgehaltene Menge an PFAS in Form von Fluortensidkonzentraten ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Basierend auf Daten für 218 Anlagen aus Industrie und Gewerbe, operieren 196 Löschanlagen mit einer totalen Füllmenge von rund 6'400 kg PFAS, in 22 Anlagen werden fluorfreie SLM vorgehalten. In Löschanlagen der Industrie und des Gewerbes beträgt somit der Anteil an fluorfreien SLM ungefähr 10 % bezogen auf die Anzahl der Anlagen.

Die Auswertung der Daten der in der Industrie und dem Gewerbe installierten und mit fluorhaltigen SLM operierenden Löschanlagen ergibt, dass sich 27 % der Anlagen (mit 35 % der SLM-Menge) in Betrieben der chemischen und pharmazeutischen Industrie befinden. Der grösste Teil dieser Anlagen fällt aufgrund von Art und Menge der gelagerten Stoffe und Zubereitungen in den Geltungsbereich der Störfallverordnung (StFV) [37]. In anderen Industriebetrieben, wo Produkte wie Farben und Lacke, Klebstoffe, Kosmetika, Verpackungsmaterialien, alkoholische Getränke oder Medizinprodukte hergestellt werden, befinden sich 28 % der Löschanlagen mit einem Anteil von 25 % der SLM-Menge. Der Anteil Betriebsstandorte im Geltungsbereich der StFV ist kleiner als in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Gleiches gilt für den Sektor «Lager / Transporte / Logistik», zusammengefasst unter «Lagerung». Auf diese entfallen je rund 35 % der Anlagen und der in industriellen und gewerblichen Betrieben vorgehaltenen SLM-Menge. Zu diesem Sektor werden Löschanlagen in Lagern von Logistikunternehmen und Distributionszentren sowie von in Industrieparks tätigen Dienstleistern gezählt. Bei ca. 50 % handelt es sich hier um «Störfallbetriebe». Auf die im Bereich der Entsorgung tätigen Unternehmen, darunter Betreiber von Kehrichtverbrennungsanlagen² und Entsorger von Sonderabfällen, entfallen schlussendlich rund 5 % der SLM-Menge.

² Einige Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) fallen aufgrund der gelagerten Betriebsmittel wie Säuren und Laugen unter die StFV.

Tabelle 1 Total aktuell vorgehaltene PFAS-Menge (in kg) in Form von Fluortensiden in stationären Löschanlagen und Schaumfeuerlöschen mit Verwendung in Betrieben im Geltungsbereich der Störfallverordnung (StFV)

Verwendung	Vorgehaltene PFAS in SLM (kg)	davon im Geltungsbereich der StFV (kg)	Kommentare
Industrie und Gewerbe, davon:			Erhebung der VKF
- Chemie- und Pharma	2'100	2'050	52 Anlagen, davon 49 im Geltungsbereich der StFV
- andere Industrie	1'500	1'000	55 Anlagen, davon 37 im Geltungsbereich der StFV
- Lagerung	2'250	1'400	64 Anlagen, davon 31 im Geltungsbereich der StFV
- Entsorgung	550	4.5	25 Anlagen, davon 19 im Geltungsbereich der StFV
Tanklager für Brenn- und Treibstoffe	5'000	5'000	Erhebung der CARBURA bei 27 Anlagenbetreibern
Lager für Brenn- und Treibstoffe der Armee, inkl. Reserve	850	850	Erhebung LBA, darin enthalten sind 450 kg PFAS aus zentraler Reserve
Spitallandeplätze	<10	...	Mitgeteilte Daten von 4 Landeplätzen, für 8 weitere Annahme von 75 L Vorrat
Schaumfeuerlöscher	4'300	...	Schätzung LGVS; ein Drittel in Industriegebäuden, zwei Drittel in anderen Gebäuden
Total	16'550	10'750	

Die Daten zur Löschenmittelmenge, die in Löschanlagen zum Schutz der Tanklager von Brenn- und Treibstoffen vorgehalten wird, stammen aus einer Erhebung der CARBURA. Danach werden in diesen Lagern insgesamt 5'000 kg PFAS vorgehalten. Die StFV gilt für alle Betreiber der Tanklager. Dies trifft auch für die Tankanlagen mit Brenn- und Treibstoffen der Armee zu. Die vorgehaltene Menge von 850 kg PFAS (einschliesslich der zentralen Reserve) wurden von der Logistikbasis der Armee (LBA) mitgeteilt. Kleinere Anlagen mit kleineren Mengen an SLM sind schliesslich an den Landeplätzen der Spitäler installiert.

5 Verbrauch fluorhaltiger Schaumlöschenmittel

5.1 Verbrauch durch Einsatzkräfte

Der jährliche Verbrauch fluorhaltiger SLM durch Einsatzkräfte der kommunalen Feuerwehren, Betriebsfeuerwehren, Flughafenfeuerwehren sowie Feuerwehren in Betrieben, der SBB und der Armee geht kontinuierlich zurück, da derzeit die Umstellung derer mobilen Einsatzmittel auf fluorfreie SLM erfolgt. Darüber hinaus finden Übungen mit fluorhaltigen SLM, im Einklang mit den Empfehlungen der FKS [17], wenn überhaupt, nur noch selten statt. Aufgrund des laufenden Umstellungsprozesses ist es nicht möglich, aktuelle quantitative Angaben zum Verbrauch fluorhaltiger SLM durch die Einsatzkräfte zu machen. Stattdessen soll der Verbrauch von SLM im Ereignisfall anhand von zwei Beispielen illustriert werden.

Beispiel 1

Beispielhaft für den Verbrauch von fluorhaltigen SLM bei einem Brandereignis sei der Fall eines mit Acrylnitril gefüllten Tankes mit einer Oberfläche von 250 m² auf einem Chemiegelände in

Deutschland erwähnt, welches im Jahr 2008 in Brand geriet [38, 39]. Für den Löschangriff standen rund 100'000 L AFFF bereit. Der 20 Minuten dauernde Löschangriff erfolgte mit 31'000 L pro Minute Schaummittel-Wasser-Gemisch. Bei einer Zumischarte von 3 % AFFF errechnet sich die verbrauchte AFFF-Menge auf 18'600 L, darin waren schätzungsweise 200 kg PFAS enthalten. Weiteres AFFF wurde zur Sicherung für die Aufrechterhaltung der Schaumdecke auf dem Tankinhalt verbraucht, wobei zusätzlich 180'000 Kunststoffbälle die Ausgasung von Acrylnitril verringerten.

Beispiel 2

Als zweites Beispiel [17] wird der Bedarf an SLM zum Löschen von einem typischen Brandereignis auf der Strasse berechnet. Hierfür wird angenommen, dass Brennstoff aus einem verunfallten Tanklastwagen ausgelaufen und in Brand geraten ist. Für solche Ereignisse wird von einer Fläche von maximal 400 m² des austretenden Brennstoffes ausgegangen. Um diesen Brand zu löschen, werden schätzungsweise 69'840 L Wasser und 2'160 L Schaummittel (3%) benötigt [17], worin ca. 22 kg PFAS enthalten sind. Die tatsächlich benötigte Menge kann dabei sehr stark zwischen verschiedenen Ereignissen variieren.

5.2 Verbrauch mit Schaumfeuerlöschen

Nach Angaben in der EU beträgt der Verbrauch von SLM mit Schaumfeuerlöschen 17.5 % bezogen auf den jährlichen Verkauf [5]. In der Schweiz werden jährlich rund 132'000 Schaumfeuerlöscher verkauft. Nimmt man den Wert von 17.5 % auch für die Schweiz an, bedeutet dies, dass jährlich 23'100 Schaumfeuerlöscher verbraucht werden. Bezogen auf einen Bestand von 3'000'000 Stück ergibt dies eine Verbrauchsrate von 0.77 %. Ausgehend von den 23'100 Schaumfeuerlöschen, einem PFAS-Gehalt von 0.024% und einer Füllmenge von 6 L pro Schaumfeuerlöscher ausgegangen (siehe oben), ergibt sich ein jährlicher Verbrauch von rund 33 kg PFAS mit Schaumfeuerlöschen (Tabelle 2).

5.3 Verbrauch in stationären Löschanlagen

Tabelle 2 zeigt die errechnete Menge an PFAS in SLM, welche bei Auslösungen und Funktionstests stationärer Löschanlagen verbraucht werden.

Im Brandfall werden stationäre Anlagen automatisch ausgelöst. Statistisch gesehen werden etwa 3.5 mit fluorhaltigem SLM befüllte Anlagen pro Jahr ausgelöst. Bezogen auf 218 stationäre Anlagen in der Schweiz errechnet sich die Auslöserate auf 0.016 Auslösungen pro Anlage und Jahr³. Mit den Annahmen, dass eine Auslösung auf einen Ernstfall mit einem AFFF-Verbrauch von ca. 3'100 L (mittlere Füllmenge einer Anlage) und 2.5 Auslösungen auf Fehlauslösungen mit einem AFFF-Verbrauch von insgesamt 1'250 L entfallen, ergibt sich eine Verbrauchsrate durch Auslösungen von ca. 0.7 % bezogen auf die vorgehaltene AFFF-Menge von 6400 kg ausgedrückt als PFAS (Annahme: 1 % PFAS-Gehalt)⁴.

Zu rund 155 der in Industrie und Gewerbe installierten Anlagen mit fluorhaltigen SLM liegen Angaben zum Bauarttyp vor. Von allen Anlagen sind 95 mit Wassermotor ausgerüstet, bei denen die jährlichen Funktionstests ohne Freisetzung von SLM durchgeführt werden können, bei 60 Anlagen wird bauartbedingt SLM bei Funktionstests freigesetzt. Beim verbleibenden Viertel der Anlagen

³ Zum Vergleich kann eine Untersuchung im Vereinigten Königreich von 2004 dienen [111]: Dort betrug die Auslöserate in Anlagen, die der Störfallverordnung unterliegen (COMAH) für grosse Störfälle (d.h. min. 24 Stunden Arbeitsunterbruch und ca. 1'000 L SLM Einsatz) 0.015 pro Jahr.

⁴ Abweichend davon wurden für zwei Standorte, in denen Ethanol gelagert wird und SLM-Mittel im Umfang von insgesamt ca. 40'000 L vorgehalten werden, von einer Verbrauchsrate von ca. 0.2 % und Auslöserate von 0.1 % wie für Löschanlagen in Brenn- und Treibstofflagern ausgegangen.

liegen keine Angaben zum Bauarttyp vor (ca. 40). Für die 60 Anlagen, bei denen beim Funktionstest SLM freigesetzt werden, ergibt sich bei einem Verbrauch von 50 L SLM je Funktionstest eine jährliche Verbrauchsrate von 0.4 - 0.9 %. Für die Berechnung in Tabelle 2 wurde eine mittlere Verbrauchsrate für Funktionstests von 0.5 % angenommen. Hinzu kommen SLM, welche durch Auslösungen der Anlagen verbraucht werden.

Tabelle 2 Angaben zum jährlichen Verbrauch von PFAS in Form von Fluortensiden für Funktionstests und bei Auslösungen stationärer Anlagen sowie mit Schaumfeuerlöschen (in kg)

Verwendung	Verbrauch (kg PFAS/a)		
	Funktionstests	Auslösungen	Total
Industrie- und Gewerbe, davon:	32	44	76
- <i>Chemie- und Pharmaindustrie</i>	11	15	26
- <i>andere Industrie</i>	8	11	19
- <i>Lagerung</i>	10	14	24
- <i>Entsorgung</i>	3	4	7
Lager für Brenn- und Treibstoffe:	11	5	16
- <i>Tanklager (CARBURA)</i>	10	5	15
- <i>Lager der Armee</i>	1	< 1	1
Spitallandeplätze	0.01	< 0.01	≈ 0.02
Schaumfeuerlöscher	0	33	33
Total	43	82	125

Bei den stationären Anlagen in Mineralöl- und Treibstofflagern werden alle 10 Jahre Funktionstests mit Freisetzung von SLM durchgeführt. Bei 36 installierten Anlagen und einem Verbrauch von ca. 200 L pro Funktionstest ergibt sich eine Verbrauchsrate von ca. 0.2 % des Gesamtbestands. Auslösungen bei diesen Anlagen sind selten (Annahme: 0.1 % inkl. kleinerer Zwischenfälle wie Brände elektrischer Anlagen. Dies entspricht einer jährlichen Auslöserate von 0.027 pro Anlage und Jahr). Für die Anlagen der Armee und der Spitallandeplätze werden dieselben Verbrauchsrationen angenommen. Insgesamt werden für die Anlagen der Mineralöl- und Treibstofflager somit jährlich 16 kg PFAS in Form von Fluortensiden verbraucht.

6 Entsorgung

Zur Entsorgung gelangen SLM nach Gebrauch und anschliessender Sammlung bei Einsätzen und Übungen sowie in Form von ungebrauchten Konzentratoren, beispielsweise beim altersbedingten Austausch oder aufgrund von geänderten gesetzlichen Vorgaben. Weiterhin können verdünnte wässrige Abfälle zur Entsorgung anfallen, welche SLM enthalten, z. B. Spülwässer. Löschenmittel bei Auslösung von stationären Löschanlagen können in der Regel gut aufgefangen und der Entsorgung zugeführt werden. Die Akteure geben an, für die Entsorgung mit spezialisierten Entsorgungsunternehmen zusammenzuarbeiten.

Die Entsorgungsunternehmen nehmen löschenmittelhaltige Abfälle unter verschiedenen Abfallcodes entgegen, jedoch sind diese Codes nicht spezifisch für SLM und ermöglichen deshalb keine spezifische Auswertung. In Abfällen unbekannter Zusammensetzung werden in der Regel Laboranalysen durchgeführt, um den Gehalt an organischem Fluor zu bestimmen. Fluorfreie Abfälle können einer gewöhnlichen KVA zugeführt werden.

Das empfohlene Entsorgungsverfahren für fluorhaltige SLM ist die Hochtemperaturverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen bei Temperaturen von 1'000 bis 1'200 °C. Die verfügbaren Kapazitäten zur Hochtemperaturverbrennung von fluorhaltigen SLM liegen bei mindestens 1'000 t pro Jahr. Dabei kann auch auf Kapazitäten im benachbarten Ausland zurückgegriffen werden. Daher sollten die Entsorgungskapazitäten auch bei einer zügigen Umstellung auf fluorfreie SLM innerhalb weniger Jahre ausreichend sein.

7 Umwelteinträge fluorhaltiger Mittel

Umwelteinträge von PFAS aus SLM können über unsachgemäße Entsorgung ungebrauchter SLM erfolgen oder bei SLM-Einsätzen, z. B. durch Versickerung über unversiegelte Flächen oder bei unvollständiger Rückhaltung. Zum Verbleib der verbrauchten SLM aus Feuerlöschern liegen keine spezifischen Informationen vor. Insbesondere ausserhalb industrieller Kontexte (gewerbliche und private Verwendungen) besteht die Möglichkeit, dass verwendete SLM keiner fachgerechten Entsorgung zugeführt werden. Auch Unfälle beim Transport von SLM oder Havarien bei deren Umschlag in Betrieben könnten zu Freisetzungen führen.

Über das Ausmass der Umwelteinträge fluorhaltiger SLM kann keine verlässliche Schätzung angestellt werden. Bei Ereignissen in Betrieben sind Vorkehrungen zu deren Rückhaltung etabliert: Nach den Vorschriften der Gewässerschutzverordnung sind Betriebe verpflichtet, Löschwasser zurückzuhalten. Auch über die Störfallverordnung ergeben sich Anforderungen für Betriebe, welche aufgrund deren Lagermenge an gefährlichen Stoffen und Zubereitungen die Mengenschwellen der StFV überschreiten. Dazu haben die für den Vollzug dieser Vorschriften zuständigen Fachstellen einen Leitfaden «Löschwasser-Rückhaltung» erarbeitet [26].

Die EAWAG hat eine Studie zum Vorkommen von PFAS in Ein- und Abläufen von Kläranlagen sowie im Klärschlamm durchgeführt. In der Massenbilanz waren dabei die hauptsächlich nachgewiesenen PFAS das Fluortensid 6:2-FTAB (CAS-Nr. 34455-29-3), welches typischerweise in SLM eingesetzt wird, sowie PFOS (obwohl bereits 2011-2024 schrittweise ersetzt). Die Studie kommt zum Schluss, dass ungefähr 90% der PFAS (Massenbilanz) die Kläranlage durchlaufen und in Gewässer gelangen. Die PFAS werden in den Kläranlagen teilweise in sehr persistente Endprodukte umgewandelt. Ausschliesslich längerkettige PFAS (≥ 10 CF) akkumulieren im Klärschlamm (10%), welcher anschliessend der Verbrennung zugeführt wird [3].

Wo fluorhaltige SLM in die Umwelt gelangen, können Sanierungskosten für die betroffenen Umweltkompartimente anfallen. Aufgrund der bereits verfügbaren Informationen muss davon ausgegangen werden, dass Grundwasser- und Untergrundsanierungen von mit PFAS belastetem Material sehr aufwendig und die Kosten entsprechend hoch sind [40]. Dies lässt sich anhand diverser Beispiele aus den Kantonen illustrieren: Bei verschiedenen Brandübungsplätzen oder Feuerwehrübungsgeländen ist von einer Belastung mit PFAS aus allen Generationen fluorhaltiger SLM auszugehen, welche PFOS-haltige SLM, Fluortelomere enthaltende SLM aus früher und Fluortelomere enthaltende SLM aus moderner Produktion umfassen. Bereits durchgeführt oder anstehende Aushubsanierungen verursachen Kostenfolgen im 2-stelligen Millionenbereich [41, 42, 43].

8 Schlussfolgerungen

Stand der Umsetzung beim Austausch fluorhaltiger Mittel bei verschiedenen Akteuren

Das Bewusstsein für die Problematik der fluorhaltigen SLM ist bei den befragten Akteuren generell hoch und in der Vergangenheit wurden verschiedene freiwillige Massnahmen ergriffen, um die Beschaffung, Verwendung und Entsorgung dieser Mittel zu optimieren und neu zu organisieren. Es wird davon ausgegangen, dass alle mobilen Einsatzmittel der Einsatzkräfte zurzeit im Umstellungsprozess sind. Eine neu durchgeführte Erhebung bei den zivilen Feuerwehren wäre daher schnell überholt. In vielen Bereichen werden bereits heute ausschliesslich fluorfreie SLM eingesetzt

(bspw. mobile Einsatzmittel der Feuerwehr in mehreren Kantonen). In anderen Kantonen sehen die Einsatzkonzepte vor, dass fluorhaltige SLM nur noch durch Stützpunkt- und Betriebsfeuerwehren vorgehalten werden. Vereinzelt sind für spezifische Anwendungsszenarien nach Einschätzung einiger Akteure gegenwärtig fluorhaltige SLM erforderlich, vor allem in Bereichen, welche ein höchstes Mass an Sicherheit erfordern. Dies betrifft Brenn- und Treibstofflager und Chemiestandorte. Nichtsdestotrotz haben auch hier einige Akteure einen vollständigen Wechsel zu fluorfreien SLM vollzogen oder sind in einem Umstellungsprozess mit dem Ziel, fluorhaltige SLM innerhalb einiger Jahre vollständig zu ersetzen (bspw. die Raffinerie in Cressier).

In stationären Löschanlagen hingegen stehen heute fast ausschliesslich fluorhaltige SLM bereit. Gemäss Erhebung der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen stehen in der Industrie und im Gewerbe 22 Löschanlagen mit einer Füllmenge von insgesamt ca. 65 Tonnen fluorfreien Mitteln für den Einsatz im Ereignisfall bereit. Davon befinden sich neun Anlagen an Standorten der chemischen und pharmazeutischen Industrie und sieben Anlagen an Standorten anderer Industrie. Aufgrund der Mengen der gelagerten Stoffe fallen etwa die Hälfte dieser Standorte unter die Vorschriften der Störfallverordnung. Die für die Sicherheit an diesen Standorten Verantwortlichen vertreten die Ansicht, dass sich im Lichte des Gefahrenpotentials (Stoffmengen und Stoffeigenschaften) sowie der sicherheitstechnischen Gegebenheiten ihres Betriebes Auswirkungen von Störfällen mit den heute verfügbaren fluorfreien Schaumlöschenmitteln begrenzen lassen. Zudem ist bereits heute die Verfügbarkeit von einigen fluorhaltigen SLM nicht mehr gewährleistet, sodass eine Wiederbefüllung nach Auslösung einer Anlage problematisch sein kann. In diesen Fällen müssen entweder alternative Lieferanten bspw. aus dem Nicht-EU-Raum gefunden werden oder es muss eine Umrüstung der Anlage auf fluorfreie SLM erfolgen.

Eine Umstellung auf fluorfreie SLM kann auch im Rahmen des altersbedingten Austauschs von SLM erfolgen. Die Lebensdauer von SLM hängt stark von den Lagerbedingungen ab. Konstante Lagerbedingungen und kühle Temperaturen wie im Fall von stationären Anlagen können die Haltbarkeit auf bis zu 30 Jahre verlängern [31]. Bei der Lagerung in Fahrzeugen der Einsatzkräfte verkürzt sich die durchschnittliche Lebensdauer der SLM aufgrund der schlechteren Lagerbedingungen wie höherer und schwankender Temperaturen [44]. Hier werden SLM spätestens meist nach ca. 10 Jahren altersbedingt ausgetauscht.

Neueinstufung ausgewählter Gefahrstoffe hinsichtlich der für den Brandfall empfohlenen Löschschaume

Aufgrund der beschlossenen umfassenden Beschränkung für fluorhaltige SLM [16] ist es dringlich, eine Neubewertung der bisherigen, auf AFFF basierenden Empfehlungen für SLM im Fall von Flüssigkeitsbränden vorzunehmen. Es müssen geeignete fluorfreie SLM gefunden und die entsprechenden Informationen den Feuerwehren zugänglich gemacht werden. Im Rahmen einer vom deutschen Umweltbundesamt beauftragten Studie von 2024 [45] wurde auf Basis von experimentellen Untersuchungen und einer Literaturrecherche ein Bewertungsschema für die Auswahl alternativer SLM erarbeitet. Anschliessend wurde eine Gruppierung von über 500 Gefahrstoffen der Brandklasse B anhand ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften und die Zuordnung eines geeigneten, fluorfreien SLM vorgenommen. Die Ergebnisse in Form von stoffspezifischen Informationen zu geeigneten Löschenmitteln im Rahmen der Brandbekämpfung wurden im Chemikalien-Informationssystem ChemInfo öffentlich zugänglich gemacht [46].

Herausforderungen beim Austausch fluorhaltiger Mittel

Von den Verwendern der SLM wurden hauptsächlich folgende Punkte genannt, welche bei einer Umstellung auf fluorfreie Alternativen zu beachten sind:

- Sicherheit in der Anwendung für die Angehörigen der Feuerwehr (AdF)
- Wirksamkeit bei der Brandbekämpfung
- Kosten für Neubeschaffung, Reinigung und Entsorgung
- Kompatibilität mit vorhandener Ausrüstung (z. B. aufgrund unterschiedlicher Viskosität und Zumischraten)
- Reinigung vorhandener Ausrüstung von PFAS
- Handhabung der Alternativen und Training AdF

Dabei bedingen sich die erstgenannten Punkte Sicherheit und Wirksamkeit gegenseitig, da beispielsweise durch eine hohe Rückbrandsicherheit und gute Fließeigenschaften auch die Sicherheit für die Anwender verbessert wird.

Bei den stationären Anlagen kommt erschwerend hinzu, dass Alternativen nicht im Rahmen von Übungen getestet werden könnten. Vor einem Ersatz der SLM müsste daher sorgfältig abgeklärt werden, ob eine Sicherheitsanlage mit der Alternative kompatibel sei, um im Ernstfall ein Feuer wirksam bekämpfen zu können [33]. Aufgrund der Erfahrungen aus der mobilen Brandbekämpfung mit fluorfreien Alternativen wird bei der Umstellung stationärer Löschanlagen von einer Erhöhung der Aufbringraten um einen Faktor 2 ausgegangen, was massgebliche Investitions- und Anpassungskosten verursache. Zudem wurde auf die Kosten für die Neubeschaffung, Entsorgung und Reinigung, sowie die teils erforderlichen Anpassungen der Ausrüstung (z. B. bei Zumischsystemen) hingewiesen, welche den Ersatz der fluorhaltigen SLM verzögern oder verhindern können [21]. Weil die organischen Fluorverbindungen sehr gut an Oberflächen haften und so von kontaminierten Kunststoffoberflächen über lange Zeit abgegeben werden können, sei ferner eine sorgfältige Reinigung vor der Wiederbefüllung mit fluorfreien SLM erforderlich. Weiterhin sei der Zeitaufwand für die Planung und Organisation der Reinigung und Umrüstung entsprechend zu berücksichtigen. Der Umgang mit den fluorfreien SLM schliesslich erfordere Trainings und Nachschulungen, da sich das Verhalten der neuen SLM von den herkömmlichen fluorhaltigen SLM (AFFF) unterscheide.

Für halbstationäre Anlagen oder für Betriebe, in welchen ausschliesslich eine mobile Wannenbeschäumung vorgesehen ist, wird der Austausch fluorhaltiger Mittel voraussichtlich mit zusätzlichen Investitionskosten verbunden sein, weil ein Umstieg auf vollstationäre Anlagen notwendig sein könnte, um ein vergleichbares Sicherheitsniveau weiterhin gewährleisten zu können.

Die Herausforderungen bei der Umstellung von fluorhaltigen Feuerlöschschäumen auf fluorfreie Alternativen werden in den Leitlinien der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) [47] und im Hintergrunddokument des deutschen Umweltbundesamtes [48] thematisiert, Lösungsvorschläge dazu unterbreitet und Praxisbeispiele dokumentiert. Inzwischen gibt es zahlreiche Beispiele aus der Schweiz und dem europäischen Ausland für den erfolgreichen Umstieg auf fluorfreie SLM.

Fazit

Die Umstellung auf fluorfreie SLM für den Einsatz auf Schiene, Strasse und zivilen Flugplätzen ist weit fortgeschritten und ein Verwendungsverbot fluorhaltiger SLM kann mit einer kurzen Übergangsfrist gut umgesetzt werden. Auch die Umstellung auf fluorfreie SLM auf Militärflugplätzen ist eingeleitet, und ein Verwendungsverbot fluorhaltiger SLM mit einer kurzen Übergangsfrist ist gut vertretbar. Bei den Schaumfeuerlöschern machen fluorfreie Feuerlöscher zurzeit nur einen geringen Marktanteil (< 1 %) aus. Da Alternativen verfügbar sind, ist es hier wichtig, das Inverkehrbringen neuer fluorhaltiger Schaumfeuerlöscher zeitnah zu regeln. Für die Verwendung der fluorhaltigen Schaumfeuerlöscher ergibt es jedoch Sinn, längere Übergangsfristen zu definieren, auch um einen gestaffelten Übergang zu ermöglichen. Die längsten Übergangsfristen werden für stationäre Anlagen benötigt. Die Umstellung auf fluorfreie SLM wird hier mit erheblichen Kosten und gegebenenfalls technischen Umbauten vonstattengehen. Auch die Entsorgung der vorgehaltenen Bestände der SLM in den stationären Anlagen wird eine Herausforderung darstellen. Allerdings ist auch im Ereignisfall die fachgerechte Entsorgung von rückgehaltenem fluorhaltigem Löschwasser sehr teuer. Diese Kosten würden bei fluorfreiem SLM entfallen.

9 Literaturverzeichnis

- [1] European Chemicals Agency (ECHA), «Registry of restriction intentions until outcome,» [Online]. Available: <https://echa.europa.eu/de/registry-of-restriction-intentions>. [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [2] European Chemicals Agency (ECHA), «Background Document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs),» European Chemicals Agency (ECHA), 2025.
- [3] S. Chow, H. Singer, J. Hollender und C. McArdell, «Occurrence of PFASs in Swiss Wastewater Treatment Plants,» Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), 2025. [Online]. Available: <https://www.eawag.ch/en/department/uchem/projects/occurrence-of-pfass-in-swiss-wastewater-treatment-plants/>. [Zugriff am 24.11.2025 November 2025].
- [4] J. Glüge, M. Scheringer, I. T. Cousins, J. C. DeWitt, G. Goldenman, D. Herzke, R. Lohmann, C. A. Ng, X. Trier und Z. Wang, «An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS),» *Environmental Science Processes & Impacts*, Bd. 22, p. pp. 2345, 2020.
- [5] Wood., RAMBOLL und COWI, «The use of PFAS and fluorine-free alternatives in fire-fighting foams,» European Commission DG Environment / European Chemicals Agency (ECHA), 2020.
- [6] Schweizerische Eidgenossenschaft, *Chemikalien-Riskikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, 814.81)*, Fedlex, 2005.
- [7] Europ. Parlament und Rat der Europ. Union, *Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2006.
- [8] Europ. Parlament und Rat der Europ. Union, *Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe.*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2019.
- [9] Die Europäische Kommission, *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*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2010.
- [10] Die Europäische Kommission, *Delegierte Verordnung (EU) 2020/1203 der Kommission vom 9. Juni 2020 zur Änderung des Anhangs I der Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich des Eintrags für PFOS und ihre Derivate*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2020.
- [11] Die Europäische Kommission, *Delegierte Verordnung (EU) 2020/784 der Kommission vom 8. April 2020 zur Änderung des Anhangs I der Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Aufnahme von PFOA, ihrer Salze und von PFOA Vorläuferverbindungen*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2020.
- [12] Die Europäische Kommission, *Delegierte Verordnung (EU) 2023/866 der Kommission vom 24. Februar 2023 zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments*



und des Rates hinsichtlich PFOA, ihrer Salze und PFOA-verwandter Verbindungen, Amtsblatt der Europäischen Union, 2023.

- [13] Die Europäische Kommission, *Delegierte Verordnung (EU) 2023/1608 der Kommission vom 30. Mai 2023 zur Änderung des Anhangs I der Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Aufnahme von PFHxS, ihrer Salze und von PFHxS-verwandten Verbindungen*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2023.
- [14] Die Europäische Kommission, *Verordnung (EU) 2021/1297 der Kommission vom 4. August 2021 zur Änderung des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich C9-C14-PFCA, ihrer Salze und C9-C14-PFCA-verwandter Stoffe*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2021.
- [15] Die Europäische Kommission, *Verordnung (EU) 2024/2462 der Kommission vom 19. September 2024 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Undecafluorhexansäure (PFHxA), ihrer Salze und PFHxA-verwandter Stoffe*, Amtsblatt der Europäischen Union, 2024.
- [16] Europ. Parlament und Rat der Europ. Union, *Verordnung (EU) 2025/1988 der Kommission vom 2. Oktober 2025 zur Änderung des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich per- und polyfluorierter Alkylsubstanzen in Feuerlöscheschäumen*, EUR-Lex, Amtsblatt der Europäischen Union, 2025.
- [17] Feuerwehrkoordination Schweiz (FKS), «ABC-01 Feuerlöscheschäume,» 2021. [Online].
 -] Available: [> Unterlagen > Informationsblätter > Ausbildung ABC](https://www.feukos.ch/de). [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [18] Feuerwehrkoordination Schweiz (FKS), «Handbuch für ABC-Einsätze,» Feuerwehrkoordination Schweiz; 2019.
- [19] Feuerwehrkoordination Schweiz (FKS), «Reglement Basiswissen,» Feuerwehrkoordination Schweiz, 2013.
- [20] F. Dubocq, T. Wang, L. Yeung, L. W. Y. Sjöberg und V. Kärrman, «Characterization of the Chemical Contents of Fluorinated and Fluorine-Free Firefighting Foams Using a Novel Workflow Combining Nontarget Screening and Total Fluorine Analysis,» *Environmental Science & Technology* 54 (1), pp. 245-254, 2020.
- [21] B. Sallé, Interviewee, *Interview mit Business Development Manager Europe von Angus Fire*.
 -] [Interview]. 06 Jul 2022.
- [22] Feuerwehrkoordination Schweiz (FKS), «Handbuch Materialdienst,» Feuerwehrkoordination Schweiz, 2020.
- [23] Basellandschaftliche Gebäudeversicherung, «Kommandoakten des Feuerwehr-Inspektorats beider Basel,» 2024. [Online]. Available: [> Feuerwehr > Kommandoakten des Feuerwehr-Inspektorats beider Basel](https://bgv.ch). [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [24] M. Rumo, Interviewee, *Interview mit Bereichsleiter Technischer Brandschutz der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)*. [Interview]. 08 Dez 2021.
- [25] Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, «Merkblatt PFC- bzw. fluorhaltige Schaumlöschenmittel,» Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), 2018.



- [26] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), «Löschwasser-Rückhaltung - Leitfaden für die Praxis,» 2016.
- [27] Solothurnische Gebäudeversicherung SGV, «Kommandoakten,» 2021. [Online]. Available: <https://www.sgvso.ch> > Feuerwehr > Quellen > Kommandoakten. [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [28] A. Lochmeier, Interviewee, *Interview mit Abteilungsleiter BF Flughafen Zürich*. [Interview]. 07 Nov 2022.
- [29] Y. Kreutzer, Interviewee, *Commandant Service de Sauvetage et de Lutte contre les Incendies Aéroportuaires (SSLIA) Flughafen Genf*. [Interview]. 14 Nov 2022.
- [30] M. Leuthold, Interviewee, *Interview VBS - Fachstelle Brandschutz, Fachstelle Brandschutz und Ter Infra*. [Interview]. 04 08 2022.
- [31] F. Maissen und R. Fitze, Interviewees, *Interview des Verband Schweizerischer Errichter von Sicherheitsanlagen SES mit F. Maissen (Zentex Brandschutz AG) und R. Fitze (Siemens Schweiz AG)*. [Interview]. 09 Dez 2021.
- [32] Schweizerische Errichter von Sicherheitsanlagen, «Merkblatt für den Ersatz PFOS-haltiger Feuerlöschmittel in stationären Löschanlagen mit Frist per 30. November 2018,» Verband Schweizerischer Errichter von Sicherheitsanlagen (SES), 2018.
- [33] M. Rahn, Interviewee, *Interview mit Stv. Direktor und Leitung Technische Abteilung CARBURA*. [Interview]. 07 Dez 2021.
- [34] T. Kamermans und M. Rahn, Interviewees, *Protokoll der Begehung Tanklager Mellingen mit T. Kamermans (Geschäftsführer Tankanlage Mellingen AG) und M. Rahn (CARBURA)*. [Interview]. 31 Aug 2022.
- [35] Löschgeräte-Verband Schweiz LGVS, *Mitteilung an das BAFU*, Okt: 02, 2024.
- [36] C. Bleuler und P. Favreau, «Substances Poly- et Per-Fluorées (PFAS) dans des émulseurs d'extincteurs.» Office cantonal de l'environnement (OCEV), Genève, 2025.
- [37] Schweizerische Eidgenossenschaft, *Störfallverordnung (StF, SR 814.012) - Verordnung über den Schutz vor Störfällen vom 27 Februar 1991 (Stand am 1. Juli 2024)*, Fedlex, 1991.
- [38] Berufsfeuerwehr Köln und Amt für Feuerschutz, Rettungsdienst und Bevölkerung, «Bericht über den INEOS-Störfall am 17.03 2008 - V.09-05-15,» Amt für Feuerschutz, Rettungsdienst und Bevölkerungsschutz, 2008.
- [39] T. Rosenthal, «Bestimmung der Einsatzgrenzen von Löschmittelzusätzen bei Klasse B-Bränden (Bachelorarbeit).» Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät Life Science, Hamburg, 2004.
- [40] Arcadis Schweiz AG, «Entscheidungsgrundlagen für den Vollzug bei PFAS-belasteten Standorten in der Schweiz (Expertenbericht im Auftrag des BAFU),» 2021.
- [41] Kanton Wallis, «<https://www.vs.ch>,» [Online]. Available: <https://www.vs.ch/> > Schalter > Umwelt, Energie und Landwirtschaft > Abfälle und belastete Standorte > Altlasten-Einleitung > PFAS.
- [42] Kanton St. Gallen, «Altlastensanierung in Altstätten startet,» 25 Aug 2022. [Online]. Available: https://www.sg.ch/news/sgch_allgemein/2022/08/altlastensanierung-in-altstaetten-startet.html. [Zugriff am 30 Sep 2025].

- [43] Kanton St. Gallen, «Giftiger Löschschaum auch in St. Galler Böden? Interpellation SP-Fraktion] vom 7. Juni 2021,» 2021.
- [44] M. Bleuler, Interviewee, *Interview Feuerwehrkoordination Schweiz mit M. Bleuler,] Abteilungsleiter/Dienststoffizier, Fachexperte ABC, Major Feuerwehr Koordination Schweiz.* [Interview]. 02 Dez 2021.
- [45] J. Backhaus, D. Schmitz, M. Wachsmuth und R. Goertz, «Neueinstufung ausgewählter] Gefahrstoffe hinsichtlich der für den Brandfall empfohlenen Löschsäume,» *Tagungsband Umweltinformationssystem 2024*, 2024.
- [46] «Chemikalieninfo,» Chemikalieninformationssystem des Bundes und der Länder Deutschland,] [Online]. Available: <https://www.chemikalieninfo.de/>. [Zugriff am 25 11 2025].
- [47] European Commission, «EU Guidance for transitioning to Fluorine-Free Firefighting Foams,»] European Union, 2025.
- [48] E. Peltzer, E. Fire und M. Schroeter, «Hintergrund - Austausch von PFAS-haltigen] Feuerlöschsäumen - Was ist zu beachten?,» Umweltbundesamt, Dessau- Rosslau, Deutschland, 2024.
- [49] Stockholm Convention, «www.pops.int,» [Online]. Available:] <https://www.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFAS/Overview/tabcid/5221/Default.aspx>. [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [50] European Chemicals Agency (ECHA), «Register für Beschränkungsvorschläge bis zum] Ergebnis der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA): Beschränkungsvorschlag Dänemarks, Deutschlands, der Niederlande, Norwegens und Schwedens für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung v,» [Online]. Available: <https://echa.europa.eu/de/restrictions-under-consideration/-/substance-rev/72301/term>. [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [51] European Chemicals Agency (ECHA), «Register für Beschränkungsvorschläge bis zum] Ergebnis der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA),» [Online]. Available: <https://echa.europa.eu/de/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e1856e8ce6>. [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [52] Dr. Sthamer, «<https://www.sthamer.com>,» [Online]. Available: <https://www.sthamer.com>.] [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [53] Angus Fire, «<https://www.angusfire.co.uk/>,» [Online]. Available: <https://www.angusfire.co.uk/>.] [Zugriff am 30 Sep 2025].
- [54] The European Commission, *Commission Regulation (EU) 2025/1988 of 2 October 2025 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council as regards per- and polyfluoroalkyl substances in firefighting foams*, 2025: Official Journal of the European Union.