

1 Einleitung

Ein gutes Verständnis und in der Folge die richtige Auswahl und eine effiziente Anwendung von Löschmitteln kann die Brandbekämpfung deutlich erleichtern. Manche Brände lassen sich nur mit bestimmten Löschmitteln löschen oder die Nutzung eines ungeeigneten Löschmittels kann zu schweren Unfällen führen. Klassische Beispiele für solche Brände, bei denen die falsche Wahl eines Löschmittels zu mangelndem Löscherfolg oder zu mitunter katastrophalen Unfällen führen kann, sind Flüssigkeits-, Fett- und Metallbrände.

Neben einer ungenügenden Löschwirkung oder Unfällen können bei der Anwendung eines ungeeigneten Löschmittels auch schwere Umweltschäden auftreten. Das prominenteste Beispiel für solche Umweltprobleme nach Löschmitteleinsätzen sind die Schäden, die durch spezielle Löschsäume mit polyfluorierten Verbindungen, den inzwischen berüchtigten per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)¹, verursacht wurden. In der Presse werden diese Verbindungen aufgrund ihrer Langlebigkeit häufig auch als Ewigkeitschemikalien bezeichnet.

Solche Umweltschäden sind die Ursache, dass verschiedene Löschmittel, insbesondere Löschsäume, in der Öffentlichkeit heute kritisch gesehen werden, und dies obwohl Löschmittel zweifellos einen bedeutenden Teil zu unserer aller Sicherheit beitragen. Die negative Konnotation dieser Löschmittel begründet sich darin, wie Löschmittel in der Berichterstattung der Medien aufgenommen werden. Einerseits enthalten Pressemeldungen über Feuerwehreinätze zumeist nur eine kurze Randnotiz über die Verwendung eines Löschmittels, beispielsweise: »Der Brand wurde mit Hilfe von Löschschaum unter Kontrolle gebracht.« Warum dieses Löschmittel genutzt wurde oder vielleicht sogar genutzt werden musste, wird sehr selten erwähnt. Andererseits gibt es zu Schadensfällen mit Löschmitteln regelmäßig eine massive Berichterstattung. Diese Berichterstattung begründet sich in den schweren Umweltschäden, welche durch PFAS-haltige Löschsäume verursacht wurden. Häufig sind zur Gefahrenabwehr und Sanierung dieser Schäden mehrstellige Millionenbeträge notwendig, die natürlich ein hohes öffentliches Interesse verursachen.

Diese Schäden durch PFAS-haltige Löschsäume gehen zwar zumeist auf Einsätze und Übungen zurück, die bereits vor Jahrzehnten stattfanden. Sie fließen

1 Die perfluorierten Verbindungen sind in diesem Zusammenhang eine Teilmenge der polyfluorierten Verbindungen, daher wird nachfolgend nur von polyfluorierten Verbindungen gesprochen, wenn eine getrennte Nennung nicht erforderlich ist.

aber in die aktuelle Berichterstattung ein, da sie zum Teil erst heute entdeckt werden oder aufgrund ihrer anhaltenden Umweltschädigung eine anhaltende Gefährdung der Trinkwasserversorgung und/oder hohe Sanierungskosten verursachen.

Zur Ehrenrettung des Brandschutzes muss aber erwähnt werden, dass zum Zeitpunkt des Einsatzes dieser Löschschäume der Wissensstand zu ihren Umweltfolgen noch deutlich geringer war als heute, weshalb sie damals anders bewertet und bedenkenloser eingesetzt wurden. Der Fakt, dass nur wenige spezielle Löschschäume PFAS enthielten und enthalten, bleibt in der Berichterstattung meist unerwähnt (► Kapitel 7). Dies hat zur Folge, dass Schaummitteleinsätze der Feuerwehren grundsätzlich mit Argwohn von der Bevölkerung betrachtet werden, auch wenn viele Feuerwehren solche PFAS-haltigen Schaummittel nicht mehr bevorraten oder auch nie besaßen.

Auf der anderen Seite wurden und werden aber Feuerlöscher und insbesondere Feuerlöschsprays mit Löschschäumen, die zum Teil eben auch diese PFAS enthalten (► Bild 1), in den letzten Jahren gerne auch für Privathaushalte beworben und auch in den Medien positiv dargestellt. Aufgrund der kleinen Gebindegrößen sind hier große Umweltschäden zwar unwahrscheinlich. Es darf aber stark bezweifelt werden, ob es sinnvoll ist, solche Verbindungen im eigenen häuslichen Umfeld zu verteilen.



Bild 1: Feuerlöschspray mit einem höchstwahrscheinlich PFAS-haltigen Löschschaum. Dass es sich um einen höchstwahrscheinlich PFAS-haltigen Schaum handelt, geht nur aus der Bezeichnung AR-AFFF hervor.

Aufgrund des sehr bedenklichen Umweltverhaltens der PFAS sind zurzeit weitgehende gesetzliche Maßnahmen zu ihrer Beschränkung im Allgemeinen und ihres Verbots in Löschschäumen im Speziellen in Vorbereitung. Nichtsdestotrotz werden PFAS-haltige Löschmittel in diesem Handbuch weiterhin und sehr bewusst behandelt. Zum einen wird die PFAS-Problematik, wie bereits zuvor beschrieben, heute

stark in den Medien diskutiert. Zum anderen sind die gesetzlichen Regelungen noch nicht verabschiedet und diese werden Übergangsregelungen und -zeiten beinhalten, so dass es noch Jahre dauern kann, bis PFAS-haltige Löschschäume oder Löschmittel allgemein nicht mehr genutzt werden dürfen. Des Weiteren werden erfahrungsgemäß noch in Jahrzehnten Reste dieser Löschmittel in irgendwelchen Ecken von Lagerräumen auftauchen, die es dann richtig zu entsorgen gilt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein grundlegendes Verständnis der Löschmittel für jeden potenziellen Nutzer wichtig ist, um Brände effizient zu bekämpfen und Unfälle, Umweltschäden und andere unerwünschte Effekte zu vermeiden.

2 Geschichte der Löschmittel

2.1 Die ersten Löschmittel

Bei vielen technischen Entwicklungen können der Zeitpunkt und Ort der Erfindung benannt werden. Häufig ist auch der Erfinder namentlich bekannt oder die Erfindung sogar nach ihm benannt. Bei Erfindungen aus den letzten Jahrhunderten findet man sehr häufig auch schriftliche Belege, wie beispielsweise urkundliche Erwähnungen, wissenschaftliche Veröffentlichungen oder sogar Patentschriften. Für die ersten Löschmittel sind diese Daten aber nicht erhalten. Wenn bedacht wird, wann die Erfindung der Löschmittel in der Menschheitsgeschichte gewesen sein muss, sollte dies auch nicht verwundern.

Häufig wird die Beherrschung des Feuers als eine entscheidende Grundlage für die Entwicklung des modernen Menschen betrachtet. Zur Beherrschung des Feuers zählt auch die Kenntnis und Nutzung von Löschmitteln, da diese benötigt wurden und werden, um das (kultur-)geschichtlich so wichtige Feuer zu kontrollieren, seine potenziell gefährlichen Auswirkungen zu begrenzen und seine negativen Auswirkungen im Falle eines Brandes eindämmen zu können. Folglich muss die Erfindung des ersten Löschmittels weit vor der Erfindung der Schrift liegen. Daraus resultiert natürlich auch, dass es keine Chance gibt, zur Erfindung des ersten Löschmittels schriftliche Aufzeichnungen zu finden.

Während Ort, Zeitpunkt und Erfinder der ersten Löschmittel in den Nebeln der Geschichte verloren gegangen sind, kommen als das erste Löschmittel aber nur wenige Stoffe in Frage. Das erste Löschmittel war höchstwahrscheinlich Wasser oder ein mehr oder weniger sandiger Boden. Der interessierte Leser könnte nun einwenden: »Einen Moment bitte, wir nutzen diese einfachen Löschmittel, Sand und Wasser, doch auch heute noch. Hat denn in den vergangenen Tausenden von Jahren keine Entwicklung stattgefunden?« Natürlich hat eine Entwicklung in dieser Zeit stattgefunden, aber diese beiden Löschmittel haben bis heute ihre Bedeutung nicht verloren.

Wenn man Menschen mit unterschiedlichsten Hintergründen nach einem Löschmittel fragt, fällt den meisten Menschen automatisch Wasser als erstes ein. Dies liegt daran, dass es auch heute noch das am meisten genutzte Löschmittel ist. Neben seiner stark kühlenden Wirkung besitzt es den Vorteil, dass es bei den meisten menschlichen Siedlungen in größeren Mengen vorhanden ist und sich relativ einfach fördern und transportieren lässt.

Humusarmer Boden oder Sand wird heute noch z. B. bei Vegetationsbränden als Behelfslöschmittel eingesetzt, wenn keine anderen Löschmittel in ausreichendem Maß zur Verfügung stehen. Sand wird zudem bei besonders schwierig zu löschenden Bränden eingesetzt. Dies können zum Beispiel kleinere anspruchsvolle Brände in chemischen Laboren sein, aber auch bei einer der größten technischen Katastrophen des 20. Jahrhunderts, der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl, wurde versucht, den brennenden Kernreaktor mit dem »alten« Löschmittel Sand abzudecken und so zu löschen. Für den Einsatz dieser »einfachen« Löschmittel Wasser und Sand spricht unter anderem auch heute noch derselbe Grund, der sie wahrscheinlich auch zu den ersten Löschmitteln gemacht hat: ihre nahezu allgegenwärtige Verfügbarkeit in den für Menschen bewohnbaren Regionen der Erde.

2.2 Weitere Entwicklung der Löschmittel

Natürlich hat es in den letzten Jahrtausenden Neuigkeiten auf dem Gebiet der Löschmittel gegeben, wobei insbesondere die letzten Jahrhunderte herausstechen. In dieser Zeit gab es eine dynamische Entwicklung bzgl. der Löschmittel. Es wurde beispielsweise immer wieder von verschiedensten Erfindern an Löschpulvern gearbeitet. Diese Löschpulver waren damals häufig komplexe Gemische. Die Tabelle 1 zeigt einige historische Löschpulver aus dem ausgehenden 19. Jahrhundert im Vergleich zu modernen Mischungen.

Tabelle 1: *Beispielhafte Zusammensetzungen von historischen Löschpulvern gemäß David 1889 und zwei moderne Löschpulver*

Name des Löschpulvers	Inhaltsstoffe	Anteile/%
Munich Fire-Extinguishing Powder	Common Salt (Kochsalz, Natriumchlorid)	43
	Alum (Alaun, Doppelsalz der Schwefelsäure mit der Summenformel $M'IM'''(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$)	19,5
	Glauber's Salt (Natriumsulfat)	5,1
	Soda (Natriumcarbonat)	3,5
	Water Glass (Wasserglas, Natriumsilikat)	6,6
	Water (Wasser)	22,3
Richardson's Fire-Extinguishing Powder	Alum (Alaun)	25
	Common Salt (Kochsalz, Natriumchlorid)	55,6
	Glauber's Salt (Natriumsulfat)	5,6
	Soda (Natriumcarbonat)	5,5
	Water Glass (Wasserglas, Natriumsilikat)	8,3

Tabelle 1: *Beispielhafte Zusammensetzungen von historischen Löschpulvern gemäß David 1889 und zwei moderne Löschpulver – Fortsetzung*

Name des Löschpulvers	Inhaltsstoffe	Anteile/%
Vienna Fire-Extinguishing Powder	Green Vitriol (Eisen(II)-sulfat)	3,3
	Ammonium sulphate (Ammoniumsulfat)	13,3
	Water (Wasser)	83,3
Proteau's Fire-Extinguishing Powder	Carbonate of Soda (Natriumhydrogencarbonat)	20
	Alum (Alaun)	10
	Borax (Borax)	7,5
	Carbonate of Potash (Kaliumhydrogencarbonat)	2,5
	Silicate of soda solution (Wasserglas, Natriumsilikat)	60
Beispiel für ein heutiges BC-Pulver	Natriumhydrogencarbonat	97 ± 3
	Hydrophobierung und Fließhilfsmittel	Rest, nicht spezifiziert
Beispiel für ein heutiges ABC-Pulver	Ammoniumdihydrogenphosphat (Monoammoniumphosphat)	40 bis 50
	Ammoniumsulfat	Rest
	Hydrophobierung und Fließhilfsmittel	< 1

Interessanterweise enthielten diese frühen Löschpulver regelmäßig mehr Komponenten als heutige Produkte. Ob alle diese Komponenten signifikant zu einer höheren Löschwirkung beigetragen haben, darf bezweifelt werden. Auf der anderen Seite muss aber angeführt werden, dass jedes Material, welches selbst nicht an der Verbrennung teilnimmt und dadurch Energie erzeugt, zumindest durch die Abkühlung des Brandes einen Löscheffekt besitzt. Ob dieser Effekt ausreicht und nachhaltig ist, hängt von dem als Löschmittel genutzten Material, von den äußeren Bedingungen und vom Brennstoff selbst ab.

Bei einigen Bestandteilen der historischen Rezepturen gibt es aber keinen Grund an ihrer Wirksamkeit zu zweifeln. Zum Beispiel werden Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3), Kaliumhydrogencarbonat (KHCO_3) und Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) noch heute als Löschmittel eingesetzt (► Tabelle 1). Natrium- oder Kaliumhydrogencarbonat werden als Hauptbestandteil von modernen Löschpulvern für Flüssigkeits- und Gasbrände, den sogenannten BC-Pulvern, eingesetzt. Ammoniumsulfat ist ein Bestandteil von ABC-Pulvern (► Kapitel 10).

2.2.1 Entwicklung der Löschschäume

Weitere Entwicklungen von Löschmitteln wurden durch andere technische Entwicklungen notwendig oder angeschoben. Beispiele für solche Entwicklungen sind die Einführung von Verbrennungsmotoren mit flüssigen Brennstoffen und der damit verbundene Aufstieg der petrochemischen Industrie. Durch die Einführung der Kraftfahrzeuge und der einhergehenden Verbreitung der petrochemischen Industrie wurden größere Flüssigkeitsbrände, die zuvor aufgrund der geringen Mengen an geförderten, transportierten, gelagerten und genutzten brennbaren Flüssigkeiten nur sehr selten vorkamen, deutlich wahrscheinlicher. Daraus folgte ein Bedarf an Löschmitteln, die in der Lage sind, einen solchen Flüssigkeitsbrand zu löschen. Dies führte dann zur Entwicklung der Löschschäume, da die klassischen Löschmittel, wie Wasser oder Sand, aufgrund ihrer höheren Dichte wirkungslos in den flüssigen Brennstoffen versanken (► Bild 2).

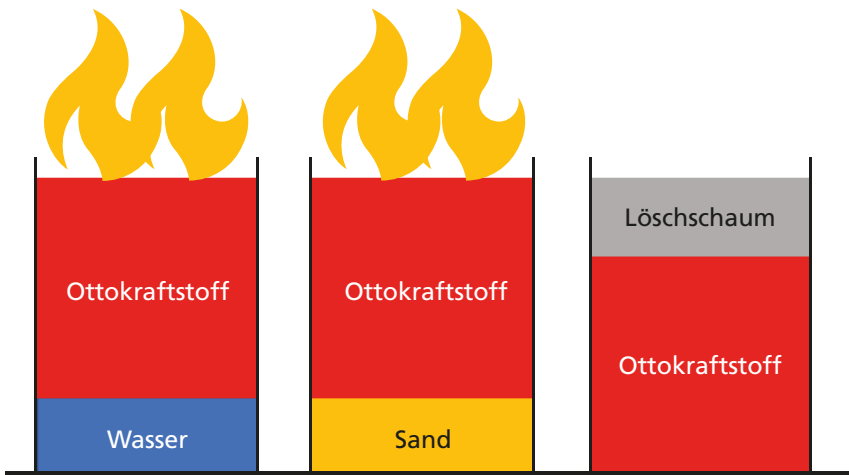


Bild 2: *Schema zur Notwendigkeit von Löschschäumen bei brennenden Flüssigkeiten wie Ottokraftstoff; Wasser und Sand versinken im Gegensatz zum Löschschaum wirkungslos im brennenden Kraftstoff.*

Gelegentlich kann die Einführung eines neuen Löschmittels aber auch auf ein geschichtliches Ereignis zurückgeführt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung und Einführung des mittlerweile aufgrund seiner Umweltprobleme kritisch gesehe-

nen wasserfilmbildenden Löschschaums (englisch: Aqueous Film Forming Foam, AFFF).

Die Entwicklung dieses Hochleistungslöschschaumes für Flüssigkeitsbrände begann schon in den frühen 1960ern durch die US Navy. Ein entsprechendes Patent wurde am 28. Juni 1966 vom United States Patent Office erteilt (Tuve, Spring und Jablonski 1966). Die Einführung dieses neuen Hochleistungslöschschaumes durch die US Navy wurde aber unter anderem durch einen Brand auf dem Flugzeugträger USS Forrestal im Jahr 1967 mit 134 Opfern deutlich beschleunigt. Der Brand war aufgrund von ca. 150 000 l Flugzeugtreibstoff (und explodierender Munition) mit den damals vorhandenen Löschmitteln schwierig zu löschen. In der Folge wurde AFFF, als der bis heute wirksamste Löschschaum für Flüssigkeitsbrände, schnell und teilstreitkraftweit in die US Navy eingeführt, um zukünftigen Katastrophen dieser Art vorzubeugen (Darwin und William 2001). Von der US Navy breitete sich die Nutzung von AFFF in den Folgejahren weltweit aus, insbesondere in den Streitkräften vieler Nationen, auf Flughäfen und in der petrochemischen Industrie.

Spannungsfeld zwischen Brandschutz und Umweltschutz

AFFF-Löschschäume enthalten aber bis heute sehr stabile Fluorverbindungen, die sogenannten PFAS. Diese werden in der Umwelt nahezu nicht abgebaut und können negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Umwelt besitzen. Weiterhin wurde erkannt, dass die bis Anfang dieses Jahrtausends hauptsächlich in AFFF genutzte Fluorverbindung, Perfluorooctylsulfonat (PFOS; PFOS ist eine Chemikalie aus der Gruppe der PFAS) (► Bild 32), sich in der Nahrungskette anreichert und toxische Eigenschaften aufweist. Aus diesen Gründen wurde die Nutzung von PFOS verboten. Löschschäume, die diese als besonders problematisch erkannte Verbindung enthielten, durften nur bis 2011 genutzt werden (Richtlinie 2006/122/EG, Europäisches Parlament und Rat 2006).

Es muss aber ergänzt werden, dass die meisten negativen Eigenschaften der PFAS im Allgemeinen und von PFOS im Speziellen bis Ende der Neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts nicht bekannt waren und diese Verbindungen auch außerhalb des Brandschutzes für vielfältige Zwecke genutzt wurden. Es wurden beispielsweise Papiere und Textilien mit PFOS behandelt. PFOS wurde für galvanische Bäder, zur Herstellung von fotografischen Filmen und Oberflächenbeschichtungen aller Art genutzt (Richtlinie 2006/122/EG, Europäisches Parlament und Rat 2006). Im abwehrenden Brandschutz wurden aber leider bei Löscheinsätzen und Übungen große Mengen an PFAS-haltigen Löschschäumen lokal in verhältnismäßig hoher Konzentration freigesetzt, die nachfolgend zu starken Verunreinigungen des Grundwassers

und des Bodens führten. Auf die in der Vergangenheit global freigesetzte Gesamtmenge an PFAS bezogen, spielt der Brandschutz aber eine eher untergeordnete Rolle.

Leider sind auch die heute genutzten ebenfalls polyfluorierten, aber kürzerkettigen Ersatzstoffe für die inzwischen verbotenen Verbindungen PFOS und PFOA (Perfluorooctansäure) nicht unkritisch und die EU-Kommission treibt ein vollständiges Verbot dieser Stoffklasse in Schaummitteln voran (ECHA 2023 b). Die Umweltproblematik der AFFF und die daraus resultierende Suche nach Ersatzstoffen für diese hat eine verstärkte Entwicklung von PFAS-freien Löschsäumen für Flüssigkeitsbrände in den letzten zwei Jahrzehnten angestoßen. Obwohl die volle Löscheinleistung, Nutzerfreundlichkeit und Fehlertoleranz von AFFF noch nicht erreicht ist, existieren bereits leistungsfähige marktverfügbare Alternativprodukte; zu diesen kommen kontinuierlich weitere optimierte Löschsäume hinzu (► Kapitel 7). Der Schaumlöschmittelmarkt ist diesbezüglich aktuell sehr dynamisch und der Bedarf an umweltfreundlicheren Hochleistungslöschsäumen für Flüssigkeitsbrände treibt die Forschung voran.

2.2.2 Entwicklung der Löschgase

Bei den Löschgasen gibt es zwei Entwicklungswege. Während die Löschwirkung von Inertgasen schon lange bekannt ist, ist ihr Einsatz als Löschmittel erst möglich, seitdem die Technologie zu ihrer Abtrennung, Verdichtung und Lagerung verfügbar ist. Dies war erst mit der Entwicklung des bekannten Linde-Verfahrens zur Verflüssigung von atmosphärischer Luft und anderen Gasen im Jahr 1895 gegeben (Linde 1895).

Der andere Entwicklungszweig der Löschgase beruht auf Halogenkohlenstoffverbindungen. Zunächst wurden Ende des 19. Jahrhunderts flüssige Chlorkohlenwasserstoffe, wie Tetrachlormethan (auch bekannt als Tetrachlorkohlenstoff), als Löschmittel erkannt und genutzt. Nach einigen Todesfällen mit Tetrachlorkohlenstoff-Feuerlöschern unter räumlich beengten Verhältnissen aufgrund der beim Löschprozess entstehenden Abbauprodukte (u. a. Phosgen und Chlor) (Fieldner et al. 1920) und der Erkenntnis, dass Tetrachlorkohlenstoff und ähnliche Chlorverbindungen grundsätzlich gesundheitsschädlich sind, wurden später wirksamere und gesundheitlich unbedenklichere gasförmige Löschmittel entwickelt. Diese Verbindungen, die neben Chlor auch Brom und vor allem Fluor enthalten, werden auch als Halone bezeichnet.

In den 1980er Jahren wurden diese sehr löschwirksamen Halone von der globalen Öffentlichkeit als ozonschichtschädigend erkannt. In der Folge wurde am 22. März

1985 das »Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht« und am 16. September 1987 das »Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen« auf internationaler Ebene beschlossen. Die Produktion von Halonen wurde in der Folge dieser Abkommen eingestellt und die Nutzung der vorhandenen Bestände zeitlich begrenzt. Nach heutigem Stand endet 2040 die letzte erlaubte Nutzung von ozonschädigenden Halonen in der EU (Verordnung (EU) Nr. 590/2024, Europäische Kommission 2024).

Heute werden häufig fluorierte Kohlenwasserstoffe ohne Chlor- oder Bromatome als nicht-inerte, d. h. auf einer chemischen Reaktion beruhenden, »Löschgase« verwendet. Diese Verbindungen sind zwar nicht ozonschichtzerstörend, können aber je nach Struktur klimaschädlich sein oder für die Umwelt bedenkliche Verbindungen beim Abbau bilden. Zudem können solche Verbindungen und ihre Abbauprodukte in der Umwelt sehr langlebig sein.

Eine Reglementierung dieser Verbindungen ist bereits im Rahmen der F-Gase-Verordnung erfolgt (Verordnung (EU) Nr. 573/2024, Europäisches Parlament und Rat 2024) und ein sehr weitgehendes Verbot von PFAS, welches auch diese Löschgase einschließen würde, wird zurzeit auf Ebene der Europäischen Union geprüft (ECHA 2023).

2.3 Zukunft der Löschmittel

Die vorhergehenden Beispiele zeigen, dass sowohl technische Entwicklungen als auch Umweltauflagen einen Bedarf an neuen Löschmitteln anstoßen können. Aus diesem Grund wird auch in Zukunft an neuen und umweltfreundlicheren Löschmitteln und an Löschmitteln für neue Anwendungsfälle weiter geforscht werden (müssen) (► Kapitel 20). Von den aus dieser Forschung resultierenden Produkten werden sich einige gute Löschmittel großflächig durchsetzen und möglicherweise auch ohne Zwang durch gesetzliche Auflagen existierende Lösungen verdrängen. Andere werden nur ein Nischendasein für spezielle Anwendungen führen und wieder andere werden aus verschiedensten Gründen schnell wieder vom Markt verschwinden oder erst gar nicht auf den Markt kommen.

Eine weitere Gruppe neuer Löschmittel wird aber nie aussterben: die Pseudo-Innovationen und Wunderlöschmittel (► Kapitel 18). Hier gilt es, bei der Beschaffung von Löschmitteln auch in Zukunft wachsam zu sein und nicht überzogenen Werbeversprechen zu vertrauen. Im Zweifel merkt man nämlich bei Löschmitteln den Fehler erst im Einsatz, und dann ist es gegebenenfalls bereits zu spät.