



Laborpraktikum am IBK Heyrothsberge
Abteilung Forschung – Institut der Feuerwehr -
Studiengang „Sicherheit und Gefahrenabwehr“

Löschen brennbarer Flüssigkeiten mit Schäumen
– Untersuchung von Kennwerten –

Inhalt

1. Aufgabenstellung
2. Grundlagen
3. Literatur
4. Beschreibung des Versuchsablaufs
5. Ergebnisprotokoll

Betreuer:

Dipl.-Phys. Karola Keutel

karola.keutel@ibk.sachsen-anhalt.de

1 Aufgabenstellung

Im Praktikum sollen die wichtigsten **Kennwerte** für das Löschen brennbarer Flüssigkeiten mit Schaum untersucht werden.

Im **Teil A** der Aufgabenstellung ist aus einer vorgegebenen Schaummittellösung Schaum zu erzeugen. Von diesem Schaum sind die **Kennwerte**

- Verschäumungszahl und
- Wasserhalbwertzeit in Abhängigkeit von der Schaumhöhe (50, 40, 30 und 20 cm)

zu bestimmen.

Im **Teil B** der Aufgabenstellung, ist der in Teil A untersuchte Schaum zum Löschen von Poolbränden brennbarer Flüssigkeiten anzuwenden. Hierbei sind als **Kennwerte** die

- Abbrandrate der brennbaren Flüssigkeit in Anhängigkeit von der Größe der Poolfläche
- Löschzeit für verschiedene Brandflächen in Abhängigkeit von der Anwendungsrate der Schaummittellösung und die
- Rückbrandzeit

zu bestimmen.

2 Grundlagen

2.1 Abbrand von Stoffen

Eine Verbrennung ist eine unter Wärmeentwicklung und Bildung einer meist leuchtenden Flamme ablaufende chemische Reaktion. Die Reaktion läuft mit hoher Geschwindigkeit ab und wird als Oxidation bezeichnet. Eine Verbrennung kann nur eingeleitet und unterhalten werden, wenn ein brennbarer Stoff vorliegt, Luftsauerstoff oder ein anderes Oxidationsmittel zugegen ist und die zur Einleitung der Verbrennung erforderliche Zündtemperatur erreicht ist. Die Luft und der brennbare Stoff bilden zusammen ein System, das alle chemischen Eigenschaften besitzt, die zur Verbrennung erforderlich sind. Die Temperaturerhöhung andererseits bildet die physikalische Voraussetzung zur Verbrennung, indem sie die Zündung des Systems bewirkt und damit seine Verbrennung einleitet. Alle gasförmigen, flüssigen, sowie die Mehrzahl der festen Brandstoffe verbrennen unter Flammenbildung. Eine Flamme entsteht bei der Verbrennung gasförmiger oder verdampfter Stoffe, die durch Energieaufnahme an der Oberfläche des Brandstoffes unersetzt verdampfen bzw. sich als Zersetzungsprodukte bilden. Die Flamme ist somit der Raum, in dem die Verbrennung stattfindet.

Auf die bei der Verbrennung entstehende Wärme ist es zurückzuführen, dass sich der Brand vom Entstehungsort aus über das Brandgut ausdehnen kann. Die Wärmestrahlung der Flamme wirkt auf das Brandgut ein und führt zu dessen thermischer Aufbereitung.

Thermoplaste beispielsweise schmelzen und bilden gasförmige brennbare Spaltprodukte.

Der Abbrand wird aus einer relativ dünnen Schmelzeschicht unterhalten, während darunter liegende Materialsichten mäßig erwärmt sind. Die Abbrandraten sind verhältnismäßig niedrig. Holz bildet bei der thermischen Aufbereitung ebenfalls brennbare Gase, wobei ein kohlenstoffhaltiges Gerüst (Holzkohle) zurückbleibt, an welchem sich die Glutbrände ausbilden. Diese Glutbrände werden durch die Reaktion des Kohlenstoffs mit Sauerstoff zu Kohlenmonoxid und weiter zu Kohlendioxid unterhalten und laufen auch bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen ab. Deshalb können Glutbrände so beständig sein und bei Löscharbeiten große Probleme bereiten.

Ist das Brandgut eine brennbare Flüssigkeit, so ist je nach deren physikalisch-chemischen Eigenschaften schon bei Normaltemperatur über der Oberfläche eine bestimmte Menge an Dampf vorhanden. Ursache für die Dampfbildung ist der Dampfdruck, der für jede Flüssigkeit bei jeder Temperatur einen konstanten Wert besitzt. Bei manchen brennbaren Flüssigkeiten reicht diese Dampfmenge in der Luft schon bei Normaltemperatur für eine Entflammung der

Gasphase mit einer Zündquelle (Funke oder offene Flamme) aus. Bei geringfügig höheren Temperaturen bilden sich über der Oberfläche stabile Flammen aus (Brennpunkt). Andere entwickeln erst bei Energieeintrag die dafür erforderliche Dampfmenge, die eine Ausbreitung einer stabilen Flamme über die gesamte Oberfläche der Flüssigkeit gestattet. Hier führt die Wärmestrahlung zu einer Temperaturerhöhung, die eine Erhöhung des Dampfdruckes der Flüssigkeit zur Folge hat. Die zum Erwärmen und Verdampfen der Flüssigkeit erforderliche Wärmemenge wird der Oberfläche von der Flamme her nur durch Strahlung zugeführt. Der Wärmeübergang durch Leitung wird durch die entgegengesetzt gerichtete Dampfströmung verhindert, und ein Wärmeübergang durch Konvektion ist wegen der durch Wärme stark verminderten Dampfdichte und der Bewegung des Dampfes zur Flamme ebenfalls unmöglich. Die oberste Flüssigkeitsschicht wird durch die eingestrahelte Wärme der Flamme auf eine Temperatur erwärmt, bei welcher der Energieaufwand zum Erwärmen und Verdampfen der Flüssigkeit, der von dieser aufgenommenen Wärmemenge entspricht. Maximal kann die brennbare Flüssigkeit bis zum Siedepunkt erhitzt werden. Das ist die Temperatur, bei der Dampfdruck der Flüssigkeit dem Umgebungsdruck entspricht. Wird nun auf irgendeine Weise der Wärmeübergang von der Flamme zur Flüssigkeit eingeschränkt, so verringert sich zunächst der Stoffstrom. Weiterhin wird die Temperatur der Oberflächenschicht geringer und dementsprechend auch die Menge der gebildeten Dämpfe. Bei jeder brennenden Flüssigkeit wird sich also nach einer gewissen Zeit, vom Zeitpunkt der Zündung an gerechnet, ein Wärmegleichgewicht einstellen, bei dem die Flamme die größte Ausdehnung annimmt und die Oberfläche der Flüssigkeit sich bis zum Siedepunkt erwärmt. Die Höhe der gebildeten Flamme ist von der Verdampfungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit und von der Verbrennungsgeschwindigkeit des Dampfes abhängig. Betrachtet man eine laminare Flamme, kann man die Wechselwirkungen zwischen Brennstoffdampf und Oxidationsmittel folgendermaßen verdeutlichen. Der Dampf verbrennt in einer dünnen Schicht innerhalb der Flamme, in der die Reaktionsgeschwindigkeit für die Verbrennung am größten ist. Zu dieser Grenzschicht findet eine gegenseitige Diffusion des Flüssigkeitsdampfes und des Luftsauerstoffs statt. Daher wird die dabei entstehende Flamme Diffusionsflamme genannt. Die Oberfläche der Flamme stellt an sich die Grenze eines labilen Gleichgewichts zwischen der Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes und seiner Verbrennungsgeschwindigkeit dar. Wird die Verdampfungsgeschwindigkeit vermindert, verliert die Flamme an Umfang und nähert sich der Flüssigkeitsoberfläche an. Wird dagegen der Sauerstoffgehalt der Luft vermindert, was eine Abnahme der Verbrennungsgeschwindigkeit zur Folge hat, nimmt die Flamme an Volumen zu und entfernt

sich von der Flüssigkeitsoberfläche. Inmitten der Flamme findet keine Verbrennung statt, denn dort befinden sich lediglich Flüssigkeitsdämpfe, die sich erwärmen und oft auch zersetzen. Der dabei gebildete Kohlenstoff wird entweder im weiteren Verlauf der Verbrennung oxidiert oder erscheint als Ruß in den Verbrennungsprodukten. Flüssigkeiten bilden also Poolbrände aus, die bei Erreichen der gesamten Fläche in eine stationäre Brandphase übergehen. Das bedeutet, dass Flammengröße und damit Rückstrahlung auf die Brennstoffoberfläche, Nachlieferung brennbarer Dämpfe und Zutritt von Sauerstoff in einem quasistationären Gleichgewicht stehen. Die Abbrandrate ist demzufolge über einen Zeitraum nahezu konstant aber flächenabhängig. Bei turbulenten Flammen werden alle Reaktionen im System durch die Turbulenz beeinflusst, so dass Flammenhöhen, Temperaturverteilungen und Verbrennungsprodukte in den Flammen örtlich starken Schwankungen ausgesetzt sind. Das erschwert naturgemäß den Löschvorgang in der Gasphase, weil prinzipiell der gesamte Gasraum, in dem sich Flammen befinden oder ausbreiten können, mit dem Löschmittel beaufschlagt werden muss. Bei allen brennbaren Stoffen mit kondensierter Phase ist es deshalb von Vorteil, den Löschprozess aus der Volumenphase an die Oberfläche der kondensierten Phase zu verlagern und hier die Rückstrahlung von der Flamme und den Stoffstrom von der Oberfläche der kondensierten Phase so zu beeinflussen, dass ein Löscherfolg eintritt.

2.2 Löschen

Um einen Verbrennungsvorgang zum Abklingen zu bringen, müssen die Voraussetzungen, die zu seiner Entstehung geführt haben, aufgehoben werden. Da die Temperaturverhältnisse für das Zustandekommen und den Ablauf der Verbrennung maßgebend sind, kann man die Verbrennungsvorgänge durch Änderung der Temperatur steuern, d. h. entweder beschleunigen oder bis zum Erlöschen drosseln. Von den Bestandteilen der Luft nimmt lediglich der Sauerstoff an der Verbrennung teil. Durch Änderung seiner Konzentration in der Umgebungsatmosphäre kann also die Geschwindigkeit der Verbrennung ebenfalls beeinflusst werden. Die höchste Verbrennungsgeschwindigkeit wird durch Zufuhr von reinem Sauerstoff erreicht, die geringste, und damit Erlöschen des Verbrennungsvorganges, durch Verminderung des Sauerstoffgehaltes auf etwa 15 %.

Eine Temperaturabsenkung ist am wirkungsvollsten, wenn sie an der Oberfläche des Brandgutes erfolgt, weil dann die Bildung von brennbaren Gasen und Dämpfen abgebrochen wird. Außerdem wird die abzuführende Wärmemenge für die erforderliche Kühlung der

Oberfläche nur von der Flammenrückstrahlung bestimmt, die nur einen Teil der Gesamtenergie darstellt, welche der Brand freisetzt. Eine Temperaturabsenkung der Brandstoffoberfläche wird durch Verhinderung der Flammenrückstrahlung und Kühlung mit einem geeigneten Löschmittel erreicht. Das setzt aber voraus, dass die Oberfläche des Brandgutes mit dem Löschmittel auch bedeckt werden kann. Bei ebenen Flächen wie Lachen aus Schmelzen oder Flüssigkeiten ist das relativ gut machbar. Problematischer sind feste Brandgüter mit räumlicher Struktur, die praktisch aus allen vorhandenen sowie während des Brandes gebildeten Oberflächen Gase und Dämpfe abgeben und darüber hinaus Glutbrände ausbilden können.

Die Wahl des Löschmittels richtet sich nach dem Brandstoff, dem Brandverlauf und den örtlichen Gegebenheiten. So werden beim Löschen eines Brandes mit Wasser die brennenden Stoffe abgekühlt und die heißen Verbrennungsgase durch kühleren Wasserdampf verdünnt. Diese Wirkung wird allerdings nur an den Stellen erreicht, an denen das Wasser wirksam werden kann. Zusätze von oberflächenaktiven Stoffen verbessern die Wirkung des Wassers an den Oberflächen des Brandstoffes, indem sie die Benetzung hydrophober Oberflächen (organische Stoffe mit hohem Kohlenstoffgehalt) ermöglichen. Das Abfließen des Wassers jedoch lässt sich nicht verhindern. Beim Löschen mit Wasser sind deshalb Grenzen gesetzt, die auch durch eine ausgefeilte Taktik nicht überschritten werden können.

Beim Löschen von brennender Flüssigkeit mit Schaum wird die ebene Flüssigkeitsoberfläche vor der Wärmestrahlung der Flamme geschützt und gleichzeitig den Flüssigkeitsdämpfen der Zutritt zur Verbrennungszone verwehrt. Eine Flammenlöschung (Volumenlöschung) durch Verdünnen der brennbaren Gase und Dämpfe bzw. Herabsetzung der Sauerstoffkonzentration gelingt nur, wenn die erforderliche Löschkonzentration im gesamten Volumen realisiert und über eine gewisse Zeit auch aufrechterhalten werden kann. Die Verringerung des Sauerstoffgehaltes kann durch unbrennbare Gase, wie Kohlendioxid, Argon oder Stickstoff erfolgen. Es ist aber auch möglich Wasser zu verwenden, welches in den Flammen verdampft, da der Wasserdampf vergleichbare Eigenschaften wie Löschgase besitzt.

2.3 Schaum als Löschmittel

Schaum ist Bestandteil vieler Prozesse des täglichen Lebens und in der Technik. Seine Entstehung kann sowohl erwünscht als auch unerwünscht sein. Bei der Benutzung von

Haarwäsche oder Duschbad wird Schaum als angenehm empfunden. Ein frisch gezapftes Bier sollte eine Schaumkrone zieren. Beim Einsatz von Kühlschmierstoffen dagegen kann eine Schaumbildung die Kühl- und Schmiereigenschaften stark beeinträchtigen. Eine langsame und definierte Schaumbildung ist für die Anwendung von Waschmitteln erforderlich. So hat jeder Schaum seine spezifischen Anforderungen und Eigenschaften zu erfüllen. Deshalb muss die Auswahl der schaum erzeugenden- und zerstörenden Substanzen genau auf die Anwendung abgestimmt und getestet sein.

Ein spezielles Einsatzgebiet von Schaum ist die Brandbekämpfung. Schaum ist ein hervorragendes Löschmittel, um Brände der Klasse B (brennbare Flüssigkeiten) zu kontrollieren und zu löschen sowie ein Wiederentzünden zu verhindern. Schaumlöschmittel können ebenfalls eingesetzt werden, um das Entzünden brennbarer Flüssigkeiten kurzzeitig zu verhindern und um unter bestimmten Umständen Brände der Klasse A (Feststoffe) zu löschen. Der heute bei den Feuerwehren verwendete Schaum ist ein Luftschaum, der im Allgemeinen aus den flüssigen Komponenten Wasser und Schaummittel sowie aus Luft besteht. Die verschiedenen Schaummittelarten unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und Wirksamkeit erheblich. Schaummittel enthalten grenzflächenaktive Stoffe (Tenside), die eine Herabsetzung der Oberflächen- bzw. Grenzflächenspannung des Wassers bewirken und so erst die Verschäumung ermöglichen. Bei der Verschäumung entsteht Schaum, der sich mit der Zeit strukturell verändert. Der Kugelschaum besteht aus vielen Einzelblasen in Form von Kugeln, zwischen denen sich mit Flüssigkeit gefüllte Lamellen befinden (nasser Schaum). Dieser stellt normalerweise den Hauptanteil eines frischen Schaums dar. Aus den Lamellen läuft mehr oder weniger langsam die Flüssigkeit aus, wodurch die Einzelblasen immer näher zusammenrücken und sich zu Polyedern verformen (trockener Schaum, Polyederschaum). Der Schaum altert. Deshalb ist Schaum ein Löschmittel, das nicht in fertiger Form auf Löschfahrzeugen mitgeführt wird, sondern erst am Einsatzort erzeugt wird.

2.3.1 Begriffe

Eine Begriffsbestimmung findet man u. a. in [Rempe 93] sowie in der [DIN EN 1568-1 01]. Hier sollen die für das Praktikum wesentlichen Begriffe kurz aufgeführt werden.

Löschschaum

Ein Löschschaum ist ein Komplex von luftgefüllten Blasen, der aus einer

Schaummittellösung entstanden ist und für Löschzwecke verwendet wird.

Schaummittel

Ein Schaummittel ist eine Flüssigkeit, die zur Herstellung einer Schaummittellösung mit Wasser verdünnt wird.

Schaummittellösung

Eine Schaummittellösung ist eine Lösung von Schaummitteln in Wasser.

Schaummittelarten

Schaummittel werden wie folgt unterteilt:

- Proteinschaummittel (P): aus hydrolysierten Proteinen aufgebaute Flüssigkeiten
- Fluor-Proteinschaummittel (FP): Proteinschaummittel mit Zusätzen von fluorierten oberflächenaktiven Wirkstoffen. Einige Fluor-Proteinschaummittel, bilden auf der Oberfläche einiger Kohlenwasserstoff-Brennstoffe einen Wasserfilm (FFFP - Filmforming fluoroprotein foam concentrates- Filmbildende Fluor-Proteinschaummittel)
- Mehrbereichsschaummittel (MBS): Gemische aus oberflächenaktiven Kohlenwasserstoffen, mit zusätzlichen Stabilisatoren
- Alkoholbeständige Schaummittel (AR - Alcohol resistant foam concentrates):, Bilden auf Oberflächen von polaren flüssigen Brennstoffen durch, polymere Schichten stabile, löschfähige Schäume. Die Schaummittel können auch für den Einsatz auf Kohlenwasserstoff-Brennstoffen geeignet sein und können filmbildende Tenside enthalten (AFFF)
- Wasserfilmbildende Schaummittel (AFFF - Aqueous film-forming foam concentrates): Gemische aus Kohlenwasserstofftensiden- und fluorierten Tensiden, die auf der Oberfläche flüssiger Kohlenwasserstoffe einen Wasserfilm bilden.

Zumischung

Die Wasser-Schaummittel-Lösung kann vorgemischt sein oder erst vor Ort durch Zumischer hergestellt werden. Unter Zumischung versteht man den prozentualen Anteil von Schaummitteln in der Wasser-Schaummittel-Lösung. Die übliche Zumischung liegt etwa im Bereich von 1 bis 6 %. Im Allgemeinen werden bei Schwerschaummitteln 3 % bis 5 % und bei Mehrbereichsschaummitteln 2 % bis 3 % zugemischt. Die Höhe der Zumischung kann einen wesentlichen Einfluss auf die Schaumstabilität und seine Fließeigenschaften haben.

Die Verschäumungszahl wird dagegen durch Erhöhen der vorgeschriebenen Zumischung nur geringfügig beeinflusst.

Verschäumungszahl (VZ)

Die Verschäumungszahl ist das Verhältnis des erhaltenen Schaumvolumens zum eingesetzten Flüssigkeitsvolumen (Wasser-Schaummittel-Lösung). Sie ist demzufolge eine dimensionslose Kennzahl.

$$VZ = \frac{\text{Schaumvolumen}}{\text{Flüssigkeitsvolumen}}$$

Sie ist in erster Näherung der reziproke Wert der Dichte des Schaums. Die Verschäumungszahlen der verschiedenen Schäume liegen im Bereich von etwa 4 bis 1.000 und werden zur Einteilung der Schäume wie folgt genutzt:

Schwerschaum VZ: bis 20

Mittelschaum VZ: von 21 bis 200

Leichtschaum VZ: von 201 bis 1.000

Bei welchen VZ die Schäume am löschwirksamsten sind, ist von der Art der brennenden Stoffe, der jeweiligen Lage und Größe des Brandes, der Art der Aufbringung des Schaums auf die Oberflächen und vielen anderen Faktoren abhängig. Einen für alle Brandeinsätze „optimalen Schaum“ gibt es nicht. Die VZ ist wesentlich abhängig von der Art und Qualität des Schaumgerätes und des Schaummittels. Deshalb teilt man die Schaummittel auch ein in:

- Schwerschaummittel
- Mehrbereichsschaummittel
- Spezialschaummittel

Einen gewissen Einfluss auf die VZ haben weiterhin die Art der Zumischung (Zumischer oder vorgemischte Lösung), der Druck am Schaumrohr, die Schlauchlänge zwischen Zumischer und Rohr, die Beschaffenheit des Wassers und der Luft sowie die Temperatur von Wasser-Schaummittel-Lösung und Luft. Darüber hinaus hat aber auch die Art der Messung (z. B. Behälterform) einen gewissen Einfluss auf die festgestellte VZ.

Wasserhalbwertzeit (WHZ)

Mit der Bildung des Schaums setzen auch gleichzeitig Zerfallsprozesse ein. Die Blasen verändern sich und Flüssigkeit tritt aus (Drainage). Aus einem anfänglich vorwiegenden

Kugelschaum wird durch die Drainage ein Polyederschaum. Die Wasserhalbwertzeit ist die Zeit, in der die Hälfte der im Schaum enthaltenen Flüssigkeit ausgetreten ist. Somit ist sie ein Maß für die Beständigkeit des Schaums. Die WHZ wird im Kaltversuch, d. h. unter Ausschluss der Einflüsse des Brandes und des Brandgutes bestimmt. Meistens werden zu ihrer Bestimmung zylindrische Behälter verwendet. Die Form der Behälter sowie ihre Durchmesser, die Art der Einführung des Schaums aber vor allem die Höhe der Schaumschicht beeinflussen die WHZ. Exakte vergleichbare Werte können also nur ermittelt werden, wenn bei der Bestimmung der WHZ gleiche Methoden vereinbart werden.

Abbrandwiderstand

Der Abbrandwiderstand ist ein Maß für die Beständigkeit des Schaums gegen Wärme, die direkt oder indirekt auf den Schaum einwirkt. Demzufolge müssen in den Abbrandwiderstand die Zerstörungsraten eingehen, die durch direkte Flammenberührung, heiße Behälterwandungen, Strahlungswärme, heiße brennende Flüssigkeiten usw. bewirkt werden. Bei filmbildenden Schäumen steht die Beständigkeit des Wasserfilms im Vordergrund.

2.3.2 Löschwirkung von Schaum

Die Löschwirkung des Schaums beruht auf dem gleichzeitigen Auftreten mehrerer Wirkungen, die je nach Schaumart, Brandgut und Brandlage unterschiedlich ausschlaggebend sind. Daraus ergibt sich auch die erforderliche Stärke der aufzubringenden Schaumschicht.

Beeinflussung der Stoff- und Energieströme

Eine auf dem Brandgut aufgebrachte Schaumschicht trennt die Oberfläche des Brandgutes von der sie umgebenden Atmosphäre. Die Schaumschicht reflektiert einen hohen Anteil der auftreffenden Flammenstrahlung. Darüber hinaus besitzen Schäume isolierende Eigenschaften, so dass der Energiefluss zur Brennstoffoberfläche verzögert wird. Beide Eigenschaften wirken sich nachfolgend auf den Stoffstrom des Brandstoffes in die Gasphase aus.

Die geschlossene Schaumdecke wirkt gleichzeitig als Diffusionssperrschicht für die gasförmigen Verbindungen und in entgegengesetzter Richtung für die Luft. Damit wird einerseits der Stoffstrom brennbarer Gase und Dämpfe in die Flamme gemindert bzw. unterbrochen und andererseits die Zufuhr von Sauerstoff zur Oberfläche fester glutbildender

Brandgüter.

Beim Mittel- und Schwerschaum basiert die Wirksamkeit vor allem auf langen Standzeiten der Schaumschicht mit ebenfalls isolierender Wirkung am Brandgut gegenüber der Wärmestrahlung. Wegen der relativ geringen Dichte des Mittelschaums gelingt es, dicke Schaumschichten aufzubauen, so dass ganze Objekte gut eingeschäumt werden können sowie Raumflutungen möglich sind (vergleiche auch [Rempe 93]).

Leichtschaum kann in Räumen auch als Volumenlöschmittel wirksam werden. Das liegt einerseits daran, dass sehr schnell große Volumina durch den Schaum ausgefüllt werden und andererseits daran, dass infolge der großen Oberflächen eine intensive Wärmeaufnahme mit nachfolgender Wasserdampfbildung auftritt. Beide Eigenschaften sind kombiniert außerordentlich wirkungsvoll. Der beim Schaumzerfall gebildete Wasserdampf wird im Raum gestaut. In den Zwischenräumen des Brandgutes wird der Leichtschaum wirksam. Das ist besonders bei festen sperrigen Brandgütern vorteilhaft. Leichtschaum eignet sich daher besonders zum Einschäumen (Fluten) von großen Räumen. Nachteilig ist jedoch die sehr lange Standzeit von Leichtschaum in geschlossenen Räumen.

Kühlwirkung

Die Kühlwirkung von Schaum wird in erster Linie durch den Wärmeübergang von der Oberfläche an die interlamellare Flüssigkeit des Schaums erreicht. Bei der Drainage des Schaums gelangt die austretende Flüssigkeit auf die Brandgutoberfläche. Bei Flüssigkeiten dringt das Wasser in diese ein, vermischt sich oder sinkt zu Boden. Bei Feststoffen erfolgt insbesondere durch die Wirkung der Tenside eine Benetzung mit nachfolgender Kühlung. Durch die Drainage wird die Fließfähigkeit des Schaums auf festen Brandgutoberflächen ermöglicht. Zusätzlich zur direkten Beeinflussung der Stoffströme wird dabei gleichzeitig der Dampfdruck der brennbaren Dämpfe herabgesetzt. Die größte Kühlwirkung ist mit Schwerschaum zu erreichen, da dieser von allen Schäumen die größte Wassermenge enthält. Mittelschaum hat auch eine kühlende Wirkung. Er enthält aber nicht so viel Wasser wie Schwerschaum und gibt es langsamer ab. Schwer- und Mittelschaum eignen sich besonders zum Löschen von brennbaren Flüssigkeiten. Zusätzlich wirkt der Schaum aufgrund seiner niedrigen Temperaturen kühlend gegenüber den Gasen und Dämpfen, wobei eine Kondensation höhersiedender Dämpfe nicht ausgeschlossen ist.

3 Literatur

Zur Ableistung des Praktikums sollten mindestens die vorgenannten theoretischen Grundlagen beherrscht werden. Zur Stoffvertiefung wird empfohlen in den folgenden Quellen nachzulesen.

Wirkung von oberflächen- und grenzflächenaktiven Substanzen:

DÖRFLER, H.-D.: Grenzflächen- und Kolloidchemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH
Weinheim 1994

Schaum als kolloides System, Abhängigkeit der Oberflächenspannung von der Tensid-Konzentration, Kinetik der Drainage:

WILSON, A. J.: Foams: Physics, Chemistry and Structure, Springer-Verlag Berlin
Heidelberg 1989

Abbrand von Stoffen:

- 1) DEMIDOV, P. G.: Die Verbrennung, VEB Verlag Technik, Berlin 1956
- 2) HAMINS, A.; YANG, J.C.; KASHIWAGI, T.: A Global Model for Predicting the Burning Rates of Liquid Pool Fires, NISTIR 6381, United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 1999
- 3) DRYSDALE, D.: An Introduction to Fire Dynamics, Second Edition, John Wiley & Sons, Chichester 2007

Wirkung und Einsatz von Löschmitteln:

- 1) KAZAKOV, M.V.; PETROV, I.I.; REUTT, V.C.: Löschmittel und -verfahren zur Löschung von Bränden brennbarer Flüssigkeiten, Moskau 1978
- 2) REMPE, A.: Feuerlöschmittel, Eigenschaften - Wirkung - Anwendung, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 1993

Begriffsbestimmung und Prüfung von Schaummitteln:

DIN EN 1568 Feuerlöschmittel Schaummittel

Teil 1: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Mittelschaum zum Aufgeben auf nicht-polare Flüssigkeiten

Teil 3: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Schwerschaum zum Aufgeben auf nicht-polare Flüssigkeiten

Teil 4: Anforderungen an Schaummittel zur Erzeugung von Schwerschaum zum Aufgeben auf polare Flüssigkeiten

4 Versuchsbeschreibung

4.1 Teil A:

Bestimmung der Verschäumungszahl

Geräte: Schaumbox, Laborschaumrohr, Messbecher, Waage

Chemikalien: Schaummittel, Wasser

In einem Laborbecher ist eine Schaummittellösung herzustellen, die 3 % Schaummittel enthält. Der Behälter mit der vorgemischten Schaummittellösung ist so vor der Schaumbox zu platzieren, dass der Saugschlauch der Pumpe problemlos in die Schaummittellösung getaucht werden kann. Auf der Waage ist die Masse des leeren Messbechers zu bestimmen. Die Verschäumung beginnt mit dem Einschalten der Pumpe. Der anfangs aus dem Laborschaumrohr austretende Schaum ist so lange zu verwerfen, bis eine augenscheinlich konstante Qualität erreicht ist. Sodann wird der Messbecher bis zum Rand mit Schaum befüllt und durch Wägung die Schaummasse bestimmt. Aus Schaumvolumen und -masse ist mittels vorgenannter Gleichung die Verschäumungszahl zu berechnen.

Bestimmung der Wasserhalbwertzeit

Geräte: Schaumbox, Laborschaumrohr, Schaumsäulen mit Filtereinsatz und Auslauf

Kraftmessdosen, Datalogger, PC mit Messdatenerfassungssystem AMR

Chemikalien: Schaummittel, Wasser

Der zu untersuchende Schaum wird nach der zuvor beschriebenen Prozedur hergestellt. Die Bestimmung der Wasserhalbwertzeit des Schaums in Abhängigkeit von den Schaumhöhen wird in dem in Abbildung 1 dargestellten Versuchsaufbau durchgeführt. Zwei 100 cm lange Plexiglasrohre mit einem Durchmesser von 7,9 cm (entspricht einem Volumen von ~4,9 L), deren unteres Ende mit einem trichterförmigen, verschließbaren Auslauf versehen sind, bilden die Schaumsäulen. Sie sind an jeweils einer Kraftmessdose aufgehängt, die mit einem Datalogger verbunden ist, dessen Signale in die Software übertragen werden. Diese zeichnet die Schaummasse über die Versuchszeit auf. Vor dem Befüllen der Schaumsäulen hat der Nullabgleich der Massen zu erfolgen, dann ist die Messwertaufzeichnung zu starten. Der zu untersuchende Schaum wird mittels Schaumbox

und Laborschäumrohr erzeugt und über die obere Öffnung in die Schaumsäulen bis zum gewünschten Füllstand eingebracht. Durch die wasserdurchlässigen Filtereinsätze wird ein sofortiges Ausfließen der Schaumproben während des Eintrags in die Schaumsäulen verhindert.



Der Versuch ist beendet, wenn aus dem Schaum kein Wasser mehr austritt. Für das Versuchsprotokoll ist eine Grafik zu erzeugen, die den zeitlichen Verlauf der Schaummassen aufzeigt. Aus den Messwerten ist die Wasserhalbwertzeit als die Zeit zu ermitteln, bei welcher der Masseverlust 50 % der Ausgangsmasse beträgt.

Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Wasserhalbwertzeit

4.2 Teil B:

Bestimmung des Abbrandes

Geräte: Brandwannen (Durchmesser 0,28 m; 0,34 m; 0,40m), Waage, Stoppuhr

Chemikalien: Siedegrenzenbenzin 80/110, Wasser

Im Brandraum befindet sich eine Waage mit digitaler Anzeige. Darauf werden nacheinander die vorgenannten Brandwannen platziert, ein Wasserpolster vorgelegt und das zu verbrennende Benzin eingefüllt. Die jeweils einzusetzenden Mengen sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Die Zündung des Benzins erfolgt mittels Streichholz. Während des Abbrandes ist im zeitlichen Abstand von 10 s von der Digitalanzeige der Waage die Masse abzulesen und zu notieren. Für jeden Versuch ist eine frische Befüllung der Brandwannen vorzunehmen. Die Reste werden in einen Abfallbehälter entsorgt. Arbeitsschutzmittel sind

anzulegen!

Für das Protokoll ist in einer Grafik der zeitliche Verlauf der Massen darzustellen. Es sind die Abbrandraten in kg/s m^2 zu berechnen und grafisch über dem Pooldurchmesser darzustellen.

Tabelle 1: Brandflächen und Einsatzmengen Wasser und Benzin

Fläche [m^2]	0,06	0,09	0,12
V_{Benzin} [L]	1	1,5	2
V_{Wasser} [L]	1	1,5	2

Bestimmung der Löschzeit und der Rückbrandzeit

Geräte: Brandwannen ($d = 0,28 \text{ m}; 0,34 \text{ m}; 0,40 \text{ m}$), Waage, Stoppuhr, Becher

Schaumbox, Laborschaumrohr, Stativ

Chemikalien: Siedegrenzenbenzin 80/110, Schaummittel, Wasser

Die Brandwannen sind nacheinander auf der Waage zu platzieren und gemäß den Angaben in Tabelle 1 zu befüllen. An dem Stativ ist das Laborschaumrohr so zu befestigen und auszurichten, dass der abgegebene Schaumstrahl in die Mitte der Brandwanne trifft (direkte Schaumaufgabe, Abbildung 2). Der Volumenstrom der Schaummittellösung beträgt $0,8 \text{ l/min}$.



Abbildung 2: Löschen des Poolbrandes durch direkte Schaumaufgabe

Nach der Zündung des Benzins ist eine Vorbrennzeit von 1 min verstreichen zu lassen und sodann mit der Schaumaufgabe zu beginnen und bis zum vollständigen Löschen der Brandfläche fortzusetzen. Es ist die Zeit vom Beginn bis zum Ende der Schaumaufgabe (Löschzeit) mittels Stoppuhr festzustellen. 15 s nach dem Löschen wird ein mit 50 ml Benzin gefüllter Metallbecher in die Mitte der Poolfläche eingebracht. Der Inhalt ist zuvor zu entzünden. Es wird die Rückbrandzeit von 25 % und 100 % der Schaumfläche ermittelt.

Die Löschzeiten sind in Abhängigkeit zur Anwendungsrate des Schaums grafisch darzustellen. Die Anwendungsrate ergibt sich aus dem Durchsatz der Schaummittellösung pro Zeit- und Flächeneinheit in $l/s\ m^2$.

5 Ergebnisprotokoll

Es ist ein Ergebnisprotokoll anzufertigen, welches alle Versuchsdaten dokumentiert und die grafischen Auswertungen und Berechnungen enthält.