

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Untersuchung der Möglichkeiten für Übungsbrände
der Brandbekämpfung der Feuerwehren unter
Berücksichtigung der Löschmittel als Übungsgegenstand
und in Europa existierender Übungsvoraussetzungen

94

**Untersuchung der Möglichkeiten für Übungsbrände der
Brandbekämpfung der Feuerwehren unter Berücksichtigung der
Löschmittel als Übungsgegenstand und in Europa existierender
Übungsvoraussetzungen**

Forschungsbericht Nr. 94

für die Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Arbeitskreis V - Unterausschuß „Feuerwehrangelegenheiten“

Themenleiter: Brandoberrat Dipl.- Chem. Klaus Steinbach

Bearbeiter: Brandoberrat Dipl.- Chem. Klaus Steinbach

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Heyrothsberge
Juni 1995

1. BERICHTSNUMMER

336

2. TITEL DES BERICHTES (KURZ)

Übungsbrände der Feuerwehren

3. AUTOR(EN)

Brandoberrat Dipl.-Chem. Steinbach

4. DURCHFÜHRENDE INSTITUTION (NAME/ANSCHRIFT)

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt

Biederitzer Straße 5

D-39175 Heyrothsberge

Direktor: Prof. Dr. rer. nat. habil. Grabski

Branddirektor

5. FÖRDERNDE INSTITUTION/AUFTRAGGEBER (NAME/ANSCHRIFT)

IMK, AK V, UAF

6. ABSCHLUßDATUM

Juni 1995

7. FÖRDER-/ AUFTRAGS-NR.

2 (2/92) H

8. SEITENZAHL

67

9. ABBILDUNGEN

-

10. TABELLEN/DIAGRAMME

-

11. LITERATURANGABEN

54

12. KURZFASSUNG

Im Rahmen der Arbeit wurden die nationalen und internationalen (Europa) Erkenntnisse zu Übungsbrandvoraussetzungen analysiert, wobei sowohl einrichtungsbezogene, finanzielle und gesetzliche(Umweltbereich) Aspekte ausgewertet wurden. Es wurden die Vor- und Nachteile der vorhandenen Systeme miteinander verglichen und Ansätze für einen möglichen Realisierungsweg einer Feuerwehrrübungsanlage einschließlich notwendiger finanzieller Aufwendungen in Deutschland aufgezeigt. In den Anlagen werden insbesondere Hinweise zu den Übungselementen Brandstoff und Löschmittel gegeben.

13. SCHLAGWÖRTER

**Feuerwehrrübungsanlage, Feuerwehrrübungs-
häuser, Brandbekämpfung, Taktik der -,
Rauchgas, Lösch-Abwasser, Brandstoff,
Löschmittel**

14. VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

Juni 1995

Untersuchung der Möglichkeiten für Übungsbrände der Brandbekämpfung der Feuerwehren unter Berücksichtigung der Löschmittel und in Europa existierender Übungsvoraussetzungen

Autor: Dipl.-Chem. Klaus Steinbach

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die in Deutschland und in Europa, unter Einbeziehung des in den USA entwickelten Fire-Trainer-Systems, vorhandenen Übungsmöglichkeiten zur Brandbekämpfung aus der Sicht der vorhandenen Literatur (Veröffentlichungen, Prospekte u. a.) und auf der Grundlage persönlicher Besichtigungen analysiert. Neben der festgestellten Vielfalt an Übungsanlagen bezogen auf die europäischen Nachbarn, muß zur Situation in Deutschland festgestellt werden, daß derzeit so gut wie keine „heißen“ Übungsmöglichkeiten existieren. Der hierbei in den meisten europäischen Ländern praktizierte Weg des Übens mit offenem Feuer (keine oder nur ungenügende Umweltschutzmaßnahmen) über national verbindliche Sonderregelungen konnte in Deutschland nicht beschritten werden. Die derzeit angestrebte Lösung, über das umwelt-freundliche System „Fire-Trainer“ den engen Vorschriften entgegen zu können, muß sicher um den Preis der Einschränkung im feuerwehrtaktischen Bereich (Löscheffekte) erkaufte werden. Gemessen an den in der Endkonsequenz aufzuwendenden finanziellen Mitteln für stets eine hochmoderne Fire-Trainer-Anlage in jedem Bundesland sollten alle Möglichkeiten für die Realisierung von Anlagen unter Einbeziehung konventioneller Darstellung- und Durchführungsmittel mit länderübergreifender Nutzung ausgeschöpft werden.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1 Einleitung	
2 Übungsanlagen in Europa und in den USA	2
3 Bewertung der Konzepte für die im Ausland errichteten Brandhäuser	16
4 Brandhäuser in Deutschland	19
4.1 Brandhäuser ohne Umweltschutzvorrichtungen	21
4.1.1 Anlagen mit Feuerbetrieb	22
4.1.2 Anlagen mit künstlichen Darstellungsmitteln	23
4.2 Brandhäuser mit Umweltschutzvorrichtungen	24
4.2.1 Brandhaus mit Filteranlage	24
4.2.2 Brandhaus mit vollständiger Kapselung	26
5 Einschätzung der in Deutschland existierenden Brandhäuser bzw. neuer Konzepte	29
6 Kostenbetrachtung zur Errichtung von Brandhäusern	33
7 Ausblick und Schlußfolgerungen	34
Anlage 1	42
Anlage 2	57
Anlage 3	67
Anlage 4	68

0 Vorbemerkungen

Der vorliegende Forschungsbericht soll dazu beitragen, allen Interessenten, die mit der Problematik Übungsbrände, Übungsanlagen (Feuerwehrübungshäuser) und Löschmittel bei Übungsbränden im Zuge der Bewertung vorhandener Anlagen bzw. der Konzeptionierung von neuen Anlagen und Übungsinhalten befaßt sind, einen Überblick über vorhandene und geplante Projekte zu geben. Gleichmaßen sollen festgestellte Vor- und Nachteile erörtert werden, Aspekte des Umweltschutzes aufgezeigt und ein Überblick über zu erwartende Kosten gegeben werden.

Im Zuge der Realisierung des Forschungsberichts wurde seitens des Autors eine Diplom-Arbeit mit gleichlautendem Titel betreut. In diese Arbeit wurden neben der Darstellung des bis Februar 1994 vorliegenden Erkenntnisstandes in der nationalen und internationalen Literatur u. a. auch Aussagen über relevante Rechtsvorschriften und Vorschläge zu Rauchgasreinigungs- und Abwasseraufbereitungsanlagen eingebracht. Auf diese Sachverhalte wird deshalb im Bericht nicht mehr explizit eingegangen. Gleichmaßen stellen die Anlagen 1 und 2 nur eine Orientierung zu den angesprochenen Sachverhalten dar und sind nicht als abschließende und umfassende fachliche Werung zu verstehen. Die Diplom-Arbeit kann am IdF eingesehen werden bzw. steht im Rahmen der Ausleihe zur Verfügung.

Neben einer weiterführenden Literaturlauswertung wurden im Forschungsbericht insbesondere vorliegende Konzepte bzw. Beschreibungen konkreter Anlagen, die teilweise besichtigt wurden, eingearbeitet.

Auf die Wiedergabe von Abbildungen und Fließbildern wurde aus technischen und Urheberrechtsgründen verzichtet, eine Bereitstellung von Kopien wird aber nach Direktanfrage zugesichert.

1 Einleitung

In Deutschland, in anderen europäischen Staaten und in den USA hat sich gemessen am Gesamtumfang aller Leistungen der Feuerwehren der Anteil „Technische Hilfeleistungen“ zum wichtigsten Leistungsbereich entwickelt. Nur noch bei jedem dritten Alarm rücken die Feuerwehren zu einer Brandbekämpfung aus. Wenngleich die Anzahl der Brände spürbar zurückgegangen ist, entstehen den Volkswirtschaften jährlich Schäden in Milliardenhöhe, d. h. bei einzelnen Bränden kann bedingt durch ihr großes Ausmaß bzw. durch die Zerstörung von auf kleinsten Räumen konzentrierten, wertintensiven Anlagen, Gebäuden bzw. Ausrüstungen

ein hohes Schadensausmaß eintreten. Um diese Schäden zu minimieren, ist es notwendig, daß die Angehörigen der Feuerwehren über einen hohen Leistungsstandard auf dem Gebiet der Taktik der Brandbekämpfung verfügen. Ein hohes Leistungsvermögen entwickelt sich aber nicht von allein und auch nur bedingt im Einsatz. Im realen Einsatz, d. h. bei der Brandbekämpfung, sind letztendlich ein schnelles und vor allem überlegtes Handeln die Grundlage für den Erfolg. Deshalb gilt es, Voraussetzungen für das Training der Feuerwehren zu schaffen, wo die taktischen Elemente der Brandbekämpfung geübt werden können. Die Schaffung von Übungsvoraussetzungen für die Brandbekämpfung bedeutet aber auch die Errichtung von Übungsanlagen für die weiteren Leistungsbereiche der Feuerwehren, im Bereich der Gefahrenabwehr und technischen Hilfeleistungen. Darüber hinaus sind die Anlagen so zu konzipieren, daß sie den Regeln und Festlegungen des Umweltschutzes in hohem Maße entsprechen.

Bei Übungsbränden mit einem weitgehend realistischen Umfang und Ablauf wird den Feuerwehren die Möglichkeit gegeben, ihr fachliches Wissen und Können zu überprüfen und zu verbessern, d. h. Fehler zu erkennen, zu korrigieren und gleichzeitig Neues zu erlernen. Es muß gewährleistet sein, daß Angehörige der Feuerwehren sowohl einzelne technische Elemente als auch komplexe Abläufe trainieren können und somit die Fähigkeit entwickeln, noch effektiver im Einsatz zu handeln (z. B. Auswahl der Löschmittel und Löschverfahren). Ein weiteres Ziel der Ausbildung an Übungsbränden muß sein, die Feuerwehrleute besser an die hohe physische und psychische Belastung bei der Brandbekämpfung durch ein realistisches Training heranzuführen.

2 Übungsanlagen in Europa und in den USA

Aus dem europäischen Ausland sind eine Vielzahl von Ausbildungszentren der Feuerwehren, in denen eine schnelle und sichere Brandbekämpfung an realen Bränden trainiert wird, bekannt. Es soll an dieser Stelle untersucht werden, nach welchen inhaltlichen Gesichtspunkten die Anlagen konzipiert und errichtet wurden, welche dimensionalen Verhältnisse verwirklicht wurden, mit welchen finanziellen Aufwendungen gerechnet werden muß und in welchem Maße die landesgesetzlichen Aspekte (Umwelt, Baurecht u. ä.) eine Rolle spielten.

Niederlande

Das private Trainings- und Schulungszentrum RISC im Hafen von Rotterdam umfaßt eine Größe von 45.000 m². Auf dieser Fläche sind ca. 30 Übungsanlagen, z. B. ein Hubschrauberlandeplatz, ein Tank (Lagerung brennbarer Flüssigkeiten) sowie Kesselwagen, Prozeßanlagen usw. untergebracht. Die Versorgung der einzelnen Übungsobjekte mit Brandstoffen wird über fest installierte Leitungen gewährleistet. Bei Änderungen der Übungsabläufe oder bei Notfällen kann diese Brandstoffversorgung von einem zentralen und in besonderem Maße gesicherten Punkt aus reguliert oder sofort abgestellt werden. Als Brandstoffe werden hauptsächlich verwendet:

- trockenes Holz
- Flüssiggas LPG (= Propan)
- Waschbenzin
- Dieseldieselkraftstoff.

Auf Grund der unterschiedlichen Eigenschaften der Brandstoffe können verschiedene Löschmittel, wie Pulver (BC), Wasser (Seewasser), Schaummittel (sowohl Protein- als auch Mehrbereichsschaummittel) und CO₂ eingesetzt und wirksame Kombinationen der einzelnen Löschmittel untereinander erprobt werden.

Die Ausbildung von bis zu 25.000 Lehrgangsteilnehmern pro Jahr erfolgt sehr praxisorientiert, d. h. unter hohen physischen und psychischen Anforderungen, wie sie auch bei der realen Brandbekämpfung auftreten. Das private Trainings- und Schulungszentrum RISC bietet neben bestimmten Standardseminaren auch spezielle Lehrgänge an und geht damit auf die unterschiedlichen Anforderungen bei den Feuerwehren ein.

Obwohl sich RISC nicht unmittelbar in der Nähe eines Wohngebietes befindet, wird trotzdem dem Umweltschutz Beachtung geschenkt. Vor den einzelnen Übungen wird mit den

Lehrgangsteilnehmern über notwendige Aufwandsmengen bei der Anwendung der Löschmittel, wie Wasser, Schaummitteln, gesprochen und die konkrete Taktik der Brandbekämpfung diskutiert. Es gilt der Grundsatz, nicht immer große Mengen an Löschmittel bedeuten einen schnellen Löscherfolg. Die Löschmittelrückhaltung und -entsorgung erfolgt über ein Oberflächenentwässerungssystem mit Benzin- und Ölabscheidern.

Die Atemschutzübungen werden in einem kleinen „Dorf“ aus Betonhäusern durchgeführt. Dazu werden die Häuser durch Verbrennen von trockenem Holz verraucht und aufgeheizt. Allerdings wird bei dieser Variante des Atemschutztrainings kein größerer Effekt als in einer modernen Atemschutzübungsstrecke erzielt./1/

Großbritannien

Das in Großbritannien existierende Brandschutz-College Moreton-in-Marsh unterhält ebenfalls ein Ausbildungszentrum. Das Spektrum der Übungs- und Ausbildungsbereiche erstreckt sich von der Brandbekämpfung an Flugzeugen über die Bekämpfung von Bränden an Schienenfahrzeugen, an Personenkraftwagen, Nutzkraftfahrzeugen, Chemieanlagen, Tanks für brennbare Flüssigkeiten, an einem Schiff, an Gasarmaturen bis hin zu Wohn- und Industriebauten./33/ In Ergänzung der Ausbildungsobjekte wurde ein Gebäude errichtet, das einem Einkaufskomplex entspricht und mit einer weitgefächerten Ausgestaltung weiteren Übungsbedürfnissen Rechnung trägt.

Das neue Trainingsgebäude in den Abmessungen 22,8 m x 18,2 m und verfügt über drei freistehende Treppenhäuser, eines davon mit Lift. Das Gebäude besitzt befahrbare Zugänge zu den Lagerbereichen im Keller. Das Erdgeschoß ist als modernes Einkaufszentrum und Lager eingerichtet. In der ersten Etage befinden sich ein „Warenhaus“ und eine „Wohnung“, ein „Etagenrestaurant“ und eine „Kantine“ befinden sich in der zweiten Etage. In den einzelnen Etagen und im Keller können sowohl Brände simuliert als auch Atemschutzübungen durchgeführt werden..

Um ein unkontrolliertes Abfließen des Löschwassers zu verhindern, sind die Türschwellenbereiche um 60 mm erhöht (Barriere), somit kann mit größeren Mengen Löschwasser und Schaum geübt werden. Für das Atemschutztraining sind die Räume speziell ausgestattet und mit entsprechender Überwachungs- und Kontrolltechnik ausgerüstet.

Die „Küche“ des Restaurants ist z. B. so eingerichtet, daß spezielle Aspekte der Brandbekämpfung trainiert werden können. Die Temperaturen, die zwischen 200 °C am Boden und 1000 °C an der Decke variieren können, werden durch das Abbrennen von Holz realisiert. Über Thermoelemente werden die Temperaturen erfaßt und durch entsprechende Aufzeichnungsgeräte registriert.

Die Entlüftung erfolgt mittels Hochleistungssystemen über zwei Dachhauben. Die Zufuhr der Frischluft erfolgt am Boden des Raumes.

Das Löschwasser wird nach einer chemischen Aufbereitung ins normale Abwassernetz abgegeben. Sehr stark verschmutztes und kontaminiertes Wasser wird in einen separaten Behälter und dann in einen Tank gepumpt. Von dort aus erfolgt eine Verbringung in eine Abwasseraufbereitungsanlage.

In den Atemschutztrainingsräumen kann die Temperatur durch ein spezielles Heizsystem auf 30°C gefahren und die Räume können mittels künstlichen Rauches verqualmt werden. Von einem Kontrollraum werden akustische Effekte (Simulierung von Gefahrensituationen) in alle Übungsräume übertragen, um eine hohe Realitätsnähe zu erreichen/2/.

In diesem Übungsanlagenkomplex können unterschiedlichste Brände simuliert werden, ohne das nach vorliegenden Aussagen eine nennenswerte Umweltbelastung auftritt. Dies gilt insbesondere im Vergleich zu Übungsbränden, die in „erworbenen“ Gebäuden (Ruinen) durchgeführt werden. Die Durchführung von Übungsbränden in solchen „Gebäuden“ (erworben bzw. angemietet) ist aber in Großbritannien noch weit verbreitet. /34/

Als weitere Ausbildungsstätte steht den Feuerwehren das Aberdeen Fire Training Centre in Großbritannien zur Verfügung. Da das Trainingsareal in Aberdeen in Schottland, einem Kernbereich der europäischen Erdöl- und Erdgasindustrie, liegt, können Wissen und Erfahrungen vermittelt werden, die bei schweren Havarien z. B. Piper Alpha bzw. Ocean Odyssey gesammelt werden konnten. Es wird zugesichert, daß den Lehrgangsteilnehmern in jedem Falle ein realitätsbezogenes, fachliche Wissen „aus erster Hand“ vermittelt wird. Durch eben diese realitätsbezogene Ausbildung werden die Kursteilnehmer in die Lage versetzt, die bestmöglichen taktischen Einsatzvarianten in Verbindung mit erforderlichen technischen Ausrüstungen wirkungsvoll einzusetzen. Die angebotenen Lehrgänge umfassen

nicht nur die Brandbekämpfung, sondern auch den Katastrophenschutz und das Überlebenstraining. /3/

Für den speziellen Einsatz der Flugzeugbrandbekämpfung werden die Feuerwehren in Teeside (Feuerwehrschieule der britischen Zivillufffahrtbehörde) ausgebildet, wobei sich die Ausbildung sowohl in Richtung Brandbekämpfung im Innern als auch im Außenbereich, z. B. an den Triebwerken, konzentriert. Diese Ausbildung ist mit der Ausbildung auf den Gebieten Suche und Rettung sowie Atemschutz gekoppelt./35/

Im Auftrag der britischen Marine wurde eine Trainingseinrichtung für die Brandbekämpfung entwickelt, in der vor allem die Bedingungen für eine Schiffsbrandbekämpfung nachgestaltet wurden. Mittels Computersteuerung ist es möglich, 14 verschiedene Brandszenarien zu fahren, wobei das Spektrum vom Entstehungsbrand bis hin zum voll entwickelten Brand in einem Maschinenraum reicht. Einen hohen Stellenwert nimmt das Üben der Brandbekämpfung unter erschwerten Bedingungen in Räumen ein (Wärme- und Rauchbelastung)./36/

Frankreich

In Frankreich besteht seit 1988 ein großes Trainings- und Laboratoriumszentrum zur Ausbildung der Feuerwehren. In Vernon, rund 100 km entfernt von Paris, befindet sich die 240 Hektar große Übungsanlage. Auf dieser Fläche wurden neben einer alten stillgelegten Raffinerie eine Vielzahl neuer Gebäude errichtet. Die einzelnen Laboratorien dienen der Forschung, Entwicklung und Erprobung von Löschmitteln und Löschverfahren und werden für die Ausbildung genutzt. In zwei Gebäudekomplexen sind das Brandlaboratorium, das Alarmlaboratorium und das Laboratorium für mechanische Sicherheitsausrüstung untergebracht.

Auf einer 17.000 m² großen Fläche können vor allem solche Brände simuliert werden, die in der Industrie am häufigsten auftreten. Außerdem ist es auf diesem Areal möglich, die Feuerwehrmänner in der Bekämpfung von Wohnungsbränden, Lagerraumbränden, Bürobränden u. a. auszubilden.

Durch die Nachgestaltung von verschiedenen Industrieanlagen und Industriegebäuden und die vorhandene alte, stillgelegte Raffinerie bestehen die technischen Voraussetzungen, auch spezielle

Brände, u. a. Mineralölbrände, real nachzugestalten. Die vorhandenen Ausstattungen der alten Raffinerie und der nachgebildeten Industrieanlagen ermöglichen es den Feuerwehrmännern weiterhin, ihre Einsatztaktik (technischen Mittel und Vorgehensweise) bei Gas- bzw. bei Flüssigkeitsbränden (Abreißen eines Füllstutzens an einem Tankfahrzeug oder Lagertank) zu erproben. Die Atemschutzübungen werden in einem 150 m² Rauchhaus durchgeführt. In diesem Rauchhaus können die Suche und Rettung von verletzten Personen realitätsnah durchgeführt werden. Die hohe Realitätsnähe wird vor allem durch die Ausgestaltung des Rauchhauses als Labyrinth erreicht. Dadurch wird garantiert, daß sich die Auszubildenden in unbekanntem, verqualmten Fluren und Räumen und damit komplizierten Lagen zurechtzufinden lernen. /4/

Durch die breite Angebotspalette im Rahmen der Ausbildung und die Tatsache, daß an gleicher Stelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in vorgenannten Richtungen durchgeführt werden, erscheint diese Einrichtung durch die realisierte Verbindung von Lehre und Forschung für die Ausbildung der Feuerwehren bestens geeignet.

Neben einer Ausbildung in der Einrichtung in Vernon stehen den Feuerwehren z. B. in Form von mobilen Rauchübungsanlagen und mobilen Laboratorien für das Training der Brandbekämpfung zur Verfügung. Das mobile Laboratorium für das Training der Brandbekämpfung ist in einem Kfz-Anhängfahrzeug untergebracht. Der Anhänger besteht aus einem sogenannten „Feuerraum“ und dem Regieraum. Durch die Ausstattung des Übungsraumes mit speziellen technischen Einrichtungen, wie z. B. Gasventilen, seitlichen Leitern, Innentritten, Hindernissen, Sprinkleranlagen u. a., können die Lehrgangsteilnehmer ihr Können auf dem Gebiet der Menschenrettung, der Brandbekämpfung, der anzuwendenden Löschmittel und damit der richtigen Einsatztaktik festigen.

Auf der Grundlage der Einrichtungsgegenstände ist die Simulation folgender Brände möglich:

- Brände von Behältern mit Kohlenwasserstoffen und anderen brennbaren Flüssigkeiten
- Brände von Papierkörben
- Brände von Schaltschränken
- Brände von Fassaden
- Brände unter Fußböden (Parkett).

Das bei der Brandbekämpfung anfallende Löschwasser wird in einem Behälter aufgefangen und danach entsorgt. Die „Entrauchung“ erfolgt über ein Raumbelüftungssystem, d. h. der Rauch

wird abgesaugt. Durch Überwachungs- und Steuerungseinrichtungen im Regieraum können die Übungsdaten zentralisiert und alle einzelnen Punkte der ablaufenden Übung kontrolliert werden. Die einzelnen Etappen der Übung werden auf Video aufgezeichnet und können anschließend zur Auswertung herangezogen werden. /5/

Die Anschaffungskosten für das mobile Laboratorium belaufen sich auf ca. 2,1 Mio Francs. Unter Berücksichtigung derartig hoher Kosten war und ist es einleuchtend, daß sich nicht jede einzelne Kommune eine solche Übungsanlage anschaffen kann. Vieles spricht vielmehr für die Tatsache, daß ein solches mobiles Übungsobjekt von den Feuerwehren mehrerer Kommunen genutzt werden sollte.

Eine hohe Bedeutung besitzt in Frankreich die ärztliche Überwachung des Feuerwehrtrainings, um speziell Herz-Kreislauf-Erkrankungen wirksam begegnen zu können. Gleichermäßen trägt diese Überwachung dazu bei, Trainingsunfälle zu analysieren und festgestellte Unfallursachen zu beseitigen./37/

Dänemark

In Süddänemark, unmittelbar an der Grenze zu Deutschland gelegen, befindet sich die Zivilverteidigungs- und Feuerweherschule in Tinglev. Sie umfaßt ein ca. 50.000 m² großes Übungsgelände. In Form einer „Ruinenstadt“, bestehend aus alten und neuen Gebäuden unterschiedlichster Bauart, können verschiedene Gebäudebrandsituationen aber auch Tankbrände, Fahrzeugbrände und Öllachenbrände nachgestaltet werden. Ein wesentliches Element der Ausbildung besteht aber auch im Üben von Rettungselementen, Bergen von Sachwerten, der medizinischen Erstversorgung bis hin zur kompletten Evakuierung. Eine weitere Komponente der Ausbildung besteht in der Durchführung von Planspielen in gut eingerichteten Ausbildungskabinetten. An den Ausbildungen nehmen jedes Jahr 8000 - 9000 Mitglieder der Freiwilligen und Berufsfeuerwehren aus Dänemark teil, wobei dies unter dem besonderen nationalen Aspekt und damit der Aufgabenstellung der Feuerwehren in Dänemark gesehen werden muß. Außerdem werden die Übungsanlagen auch von ausländischen Institutionen u. a. den Berufs-, Werks- und Freiwilligen Feuerwehren insbesondere aus Norddeutschland genutzt. /6, 38/.

In Gebrauch sind in Tinglev auch sogenannte Brandcontainer, in denen ein relativ realistischer Brandverlauf nachgestaltet werden kann. Diese Container dienen in erster Linie der

Konditionierung der Feuerwehrleute unter den Bedingungen eines verstärkten Einflusses von Hitze und Rauch. /38/

Unter Beachtung der geographischen Lage Dänemarks ist es naheliegend, daß die Feuerwehrangehörigen auch auf dem Gebiet der Schiffsbrandbekämpfung ausgebildet werden. Hierzu bietet die nordjütländische Feuerwehr- und Rettungsschule Lehrgänge für eine qualifizierte Ausbildung bei der Schiffbrandbekämpfung an. Die Ausbildung kann an drei Schiffsmodellen in realen Größenordnungen durchgeführt werden. Es werden Möglichkeiten geschaffen, um dieses Angebot auch ausländischen Interessenten anbieten zu können. Die Ausbilder arbeiten darüber hinaus im Bereich der kommunalen Feuerwehr und bieten damit die Gewähr, über umfangreiche praktische Erfahrungen zu verfügen. /39/

Auf den Faröern wurde 1990 ein Lehrgang zur Weiterbildung der Einsatzleitung bei Großbränden mit dem speziellen Ausbildungsinhalt „Schiffsbrandbekämpfung“ veranstaltet. Im Anschluß an diesen Kurs fand eine Übung statt, die die Zusammenarbeit von Feuerwehr, Alarmzentrale, Polizei, Krankenhaus, Ärzten und der Marine unter Beweis stellen sollte. Bei der Einsatzübung auf dem Autodeck des Fährschiffes „Teistin“ wurde ein Brand in der Nähe von vier 200-Liter Fässern Hexan vermutet. Es wurden vor allem die Alarmierung, die Brandbekämpfung, die Bergung und der Transport von Verletzten trainiert. Die Übung wurde analysiert, um auf der Grundlage des Übungsverlaufes und der festgestellten Fehler Schlußfolgerungen für den Praxisfall ziehen zu können. /7/ Wenngleich diese Übung Einmaligkeitscharakter trägt und damit ihr Wert für eine derartige Ausbildungsrichtung nur relativ ist, sollte auf derartige Übungen letztendlich nicht verzichtet werden.

Schweden

Im Jahr 1988 wurde in Uppsala mit der Errichtung einer neuen Ausbildungs- und Übungsanlage für die Feuerwehr, den Rettungsdienst, die Zivilverteidigung u. a. Institutionen begonnen. Die Einrichtung stellt eine Kombination einer Feuerwache, einem Übungsfeld, einem Lager der Zivilverteidigung, einer Basis der Zivilverteidigung, einem Lehrgangsgelände und einer Notruf-(SOS)-Zentrale dar. Pro Jahr sollen ca. 24.000 Feuerwehrleute und Angehörige anderer Rettungsdienste in Uppsala ausgebildet werden. Die Gesamtkosten wurden im Jahre 1988 mit 85 Mio. Kronen beziffert. Die Anlage wird von der Aktiengesellschaft „Uppsala Räddnings- och Skyddcenter AG“ betrieben, wobei die Feuerwache nicht mit einbezogen ist.

Der Übungskomplex ist außer für die Feuerwehren auch für andere Zielgruppen konzipiert und soll die Ausbildungsvoraussetzungen für die nächsten 10 bis 15 Jahre gewährleisten. /8,9/

Als eine spezielle Initiative ist das Konzept zweier in Älmhult, einer Kleinstadt mit ca. 15.000 Einwohnern, ansässiger Betriebe zu werten, die mit der Herstellung leicht brennbarer Erzeugnisse befaßt sind. Um den Forderungen des vorbeugenden Brandschutzes und des abwehrenden Brandschutzes besser Rechnung tragen zu können, werden ständig Feuerwehrrübungen in diesen Firmen durchgeführt. Dazu wurde aus ausgedienten Containern eine Übungsanlage zur Simulation aller Arten von möglichen Schadenfeuern, einschließlich der Zündung durch Überhitzung errichtet./10/ Dieses System wird darüber hinaus auch in Finnland zur Anwendung gebracht./40/

Ferner ist auf das Wirken von vier weiteren Feuerweherschulen aufmerksam zu machen, die sich in Revinge, Rosersberg, Sando und Skove befinden. In Revinge wurde auf einem Areal von 4.000 m² die Staatliche Rettungsschule Schwedens erbaut. Zur Ausstattung der Ausbildungsstätte gehören neben einem Übungsturm und den Schulungs- und Unterkunftsräumen noch ein Brandübungsfeld für Gasbrände, mehrere Übungsfelder für das Trainieren der Einsatzhandlungen bei Verkehrsunfällen mit Fahrzeugen unterschiedlichster Art und Übungsstrecken für Atemschutzgeräteträger. Die Einrichtung verfügt über 200 Lehrgangsplätze und beschäftigt 35 Mitarbeiter im Lehr- und Ausbildungsbereich. In den verschiedenen angebotenen und durchgeführten Kursen werden jedes Jahr ca. 4.000 Personen ausgebildet, wobei das Hauptaugenmerk auf der Ausbildung der Brandingenieure liegt. Rosersberg verfügt über 380 Ausbildungsplätze, wobei der Ausbildungsschwerpunkt u. a. auf dem Gebiet des Rettungsdienstes und des Schornsteinfegergewerbes liegt. /11/

Österreich

In Österreich erfolgt die Ausbildung an den Landesfeuerweherschulen, wobei im Rahmen dieser Analyse die Schulen beschrieben werden, zu denen entsprechendes Material vorlag bzw. eingeholt werden konnte.

Die Landes-Feuerweherschule Kärnten wurde auf einem rund vier Hektar großen Grundstück errichtet. Da alle technischen Einrichtungen und Ausrüstungen möglichst in einem zusammenhängenden Gebäudekomplex untergebracht werden sollten, wurde folgende Aufteilung der Räume gewählt :

- unterer (lauter oder lärmintensiver Bereich)
- oberer (leiser Bereich).

Der untere, laute Bereich umfaßt die Werkstätten, Fahrzeug- und Übungshalle, die Ausbildungsräume, die Ausbildungsflächen u. a. mehr. Im oberen, leisen Bereich sind die Verwaltung, Schlafräume, Unterrichtsräume, Speiseräume usw. untergebracht.

Der rund 20 m hohe Feuerwehrturm dient nicht nur zum Trocknen der Schläuche, sondern auch als Übungsobjekt. Es können Leiter-, Rettungs- und Abseilübungen durchgeführt werden.

Um eine praxisnahe Ausbildung auf dem Gebiet der Brandbekämpfung gewährleisten zu können, wurde auf dem Übungsgelände ein zweigeschossiges Brandhaus erbaut. In diesem Haus können viele Varianten eines Wohnhausbrandes (z. B. Kellerbrand, Dachstuhlbrand u. a.) simuliert werden.

Zur weiteren Einrichtung des Brandhauses gehören technische Anlagen, die z. B. der Erläuterung der Funktionsweise von stationären Löschanlagen und automatischen Feuermeldeanlagen dienen. Die Übungsfläche, auf der Niederspannungsleitungen, Gasleitungen und eine Gleisanlage mit Kesselwaggon untergebracht sind, dient u. a. auch der Ausbildung für die technische Hilfeleistung. Die Durchführung von Übungsbränden und Übungen zur technischen Hilfeleistung mit einem quasirealen Verlauf ermöglicht eine solide, praxisnahe Ausbildung der Feuerwehrmänner. Das Brandhaus, in dem die Übungsbrände durchgeführt werden, ist mit nicht näher beschriebenen Anlagen zur Luftreinhaltung und einer umweltgerechten Rückhaltung von kontaminiertem Löschwasser ausgerüstet. Hierdurch sollen die Belastungen für die Umwelt relativ niedrig gehalten werden./12/

Die Feuerwehr- und Zivilschutz-Schule Steiermark in der Republik Österreich hat einen Übungskomplex für die Ausbildung im Feuerwehrwesen und Zivilschutz errichtet, der aus einem Brandhaus (mit Trümmerhaus), einer Brandübungsfläche (mit Bus und PKW bzw. anderes), einer Trafobrandstation, eine Entstehungsbrandstation (Küche, Wohnzimmer u. a.) und einer Gasübungsstation besteht. Die Übungsbrandobjekte sind so groß gewählt, daß von realen Größenverhältnissen gesprochen werden kann. So weist das Brandhaus eine Größe von 18 x 13 x 12,5 m auf. Als Brandstoffe werden Heu, Benzin, DK bzw. Heizöl extra leicht, Trafoöl, Fritieröl, Küchenfett und Gas (Methan, Propan, Butan) eingesetzt. Alle Löschmittelreste und Brandrückstände werden durch autorisierte Fachunternehmen entsorgt. Der entstehende Brandrauch wird über Dach abgeführt bzw. gelangt bei Versuchen im Freien

ebenfalls in die Atmosphäre. Die Durchführung aller Übungen unter Benutzung von Übungsbrandobjekten erfolgt auf der Grundlage entsprechender Ausnahmeregelungen zu den verbindlichen Landesgesetzen, wobei der mengenmäßige Ansatz (Anzahl der Versuche und Materialeinsatz pro Versuch) in festgelegten Größenordnungen liegt./41/

Schweiz

Gemäß /13/ beschäftigen sich die Verantwortlichen des „Schweizerischen Feuerwehrverbandes“ mit Überlegungen, wie eine Feuerwehrausbildungsstätte aufgebaut und betrieben werden kann. Hierzu wurde eine Machbarkeitsstudie erstellt, die auf vorgegebene Anforderungen und einem möglichen Standort abstellt. Als Standort der Feuerwehrausbildungsstätte wurde die stillgelegte Zementfabrik Portland in St. Maurice VS in Erwägung gezogen. Die Ausbildungsstätte soll folgende Funktionen erfüllen:

- Unterricht
- Übungen im Freien und in geschlossenen Räumen
- Übungen mit Feuer auf Straßen- und Schienenfahrzeugen in einem geschlossenen Raum
- Übungen mit Feuer in einem „Brandhaus“ und in technischen Anlagen (Chemie) in geschlossenen Räumen
- Übungen ohne Feuer im Freien
- Materialprüfung (z. B. vorbeugender Brandschutz).

Die für die oben genannten Funktionen benötigten Bauten und Anlagen können auf einer Fläche von 85.000 m² rund um das stillgelegte Zementwerk errichtet werden. Eine Einordnung der geforderten überdachten Übungsplätze und Feuerwehr-Übungshäuser könnte in bestehenden Werksgebäuden realisiert werden. Die erforderlichen Dienstwohnungen und Verwaltungsräume könnten im schon vorhandenen Dienstgebäude eingerichtet werden. Im Hinblick auf eine praxisnahe Ausbildung wäre eine Nutzung der bestehenden Silos, Tanklager und der freistehenden Gebäude denkbar. Es besteht aber die Notwendigkeit, die Gebäude, Anlagen und Leitungsnetze für eine spätere Nutzung in umfassender Form um- bzw. auszubauen. Die Leitungsnetze sind in der Regel noch betriebsfähig, aber sie müssen dem geplanten Übungsbetrieb angepaßt werden. Bei dieser Machbarkeitsstudie wurde aber auch dem Umweltschutz (vor allem der Entsorgung von Löschwasser) besondere Beachtung geschenkt. Insbesondere gilt es für die Löschwasserrückhaltung und die Anlagen zur Abwasseraufbereitung überzeugende Lösungen zu suchen und diese zu verwirklichen. Dabei sind klare Aussagen über anfallende Mengen an Löschwasser, die zu verwendenden

Brandstoffe und die Übungsabläufe gefragt. Leider liegen bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Informationen über eine eventuelle Realisierung dieses Konzeptes vor, was aber gemessen an der geschätzten Dauer der Errichtung (Bauzeit drei Jahre) als normal bewertet werden kann.

Malta

1987 wurde auf der Mittelmeerinsel Malta ein privates Feuerwehrausbildungs- und Übungszentrum eröffnet (International Fire and Safety Training School). Ausgebildet wird auf praktischem und theoretischem Gebiet, wobei die Kurslänge zwischen einem Tag und 12 Wochen variiert. Eine einwöchige Ausbildung kostet unter Berücksichtigung z. B. der eingesetzten Mittel (Löschmittel, Brandstoffe u. a.) und der eingesetzten Lehrkräfte bis zu 4000 DM. Der inhaltliche Rahmen spannt sich vom Bereich Grundlagen der Brandbekämpfung im kommunalen und industriellen Bereich, Brandbekämpfung in petrol-chemischen Anlagen, spezieller chemischer bzw. chemisch-technologischer Aspekte, Flugzeugbrandbekämpfung, Schiffsbrandbekämpfung, allgemeine und Anlagensicherheitsfragen bis hin zur Computer- und Sprachausbildung. Das Gelände befindet sich auf einer ehemaligen englischen Militärfliegerbasis mit einer Größe von 50 000 m². Seit Eröffnung des Ausbildungszentrums haben einige Tausend Teilnehmer Lehrgänge absolviert. Bei der Ausbildung werden die speziellen Belange der Länder, aus denen die Kursteilnehmer kommen, größtenteils berücksichtigt. /42, 43/

Ost- und Südosteuropäische Staaten

Die Feuerweherschule Kroatiens, die einzige Schule dieser Art in diesem Land, umfaßt z. B. für die theoretische Ausbildung einen Hörsaal mit 160 Plätzen, ein Chemielabor und für die praktische Ausbildung ein Übungsfeld. In den Anfangsjahren der Schule wurden unter anderem Führungskader der Berufsfeuerwehr und der freiwilligen Feuerwehr ausgebildet. Das Zagreber Zentrum für Brand- und Arbeitsschutz ist ebenfalls in einem Teil dieser Schule untergebracht.

Die durchgeführten Lehrgänge reichen von der Ausbildung von Jugendlichen zum Feuerwehrmann mit Fachausbildung bis zur Aus- und Weiterbildung der Brandschutzverantwortlichen von Betrieben. Durch die Zusammenarbeit mit anderen Feuerwehrausbildungsstätten Europas, den Betrieben Kroatiens, der chemisch-technologischen

Fakultät in Zagreb und Herstellern von Feuerwehrtechnik werden die Feuerwehrmänner einsatzgebietsbezogen aber auch nach europäischen Normen ausgebildet./14/

Wenig kann zum konkreten Stand der Ausbildung der Feuerwehren im Zusammenhang mit Übungsbränden in den ost- bzw. südosteuropäischen Staaten gesagt werden. Einerseits wurden in solchen Ländern, wie der früheren Sowjetunion, Polen, Bulgarien, Ungarn u. a., in den Jahren vor der politischen Wende viele und relativ großdimensionierte Übungsbrände durchgeführt, so kann von einer schulmäßigen Ausbildung an Übungsbränden in den wenigsten Fällen gesprochen werden. Oftmals wurden entsprechende Übungsmöglichkeiten z. B. im Bereich der chemischen Industrie genutzt, um den Ausbildungsstand zu verbessern bzw. um neue Mittel und Methoden der Brandbekämpfung zu erproben./44/ In Ungarn wurde z. B. 1988 ein ausgemustertes Flugzeug der nationalen Fluggesellschaft dazu hergerichtet, für die Flughafenfeuerwehr Übungsmöglichkeiten zu schaffen./45/ Andererseits ist, ausgehend von der gegenwärtigen Entwicklung, kaum anzunehmen, daß in diesen Ländern weder auf konzeptionellem Gebiet noch in der Praxis ein Fortschritt zu erwarten ist. Ungeachtet dieser Feststellungen, sollten konkrete Bemühungen darauf gerichtet sein, über zu knüpfende Kontakte zu den Ausbildungseinrichtungen deren konkreten Entwicklungsstand und ihre Zielstellungen zu analysieren.

Vereinigte Staaten von Amerika

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde darauf verzichtet, alle Entwicklungen in den USA zu analysieren. Es ist mit Sicherheit aber davon auszugehen, daß hier eine große Vielfalt an Entwicklungen und realen Möglichkeiten zu erwarten ist. Umso stärker wurde, weil für deutsche Entwicklungskonzepte von Bedeutung, das System „Fire Trainer“ analysiert.

Als ein bedeutsames Ergebnis in der Weiterentwicklung von Übungsvoraussetzungen für das Training der Brandbekämpfung ist das System „Fire Trainer“ zu werten. Hierbei handelt es sich um ein von Wissenschaftlern der University of Maryland (Maryland Fire and Rescue Institute) und der AAI Corporation sowie einer Vielzahl anderer Institutionen entwickeltes computergestütztes, propangasbetriebenes Simulationssystem, das zur Ausbildung der Feuerwehren genutzt werden kann. Mit den aus diesem Grundsystem resultierenden Anlagen ist es möglich, verschiedene Branderscheinungsbilder, wie Lachenbrände, Raumbrände, Gebäudebrände, Schiffsbrände, Flugzeugbrände u. a., in Form eines Feststoff-, Flüssigkeits- oder Gasbrandes zu simulieren. Das jeweilige System kann in neue oder bereits vorhandene

Feuerwehrrhäuser oder Freianlagen eingebaut werden und ist, gemessen am Beispiel Rauch- und Brandübungshaus, wie folgt aufgebaut :

- Propangastanks mit Zuleitungen zur Hauptgasstation
- Hauptgasstrecke mit den entsprechenden Regel- und Sicherheitskomponenten
- Brennerregelstrecke mit Bilgen - Brenner und Brandattrappen
- Flashover - Strecke
- Feuerwehrrübungshaus
- Ausbildungssteuerwarte
- Leit- und Ortsrechner
- Rauchgenerator
- Propangasüberwachungsgeräte
- Temperatursensoren
- Not - Halt - und Not - Aus - Taster.

Als Brennstoff wird das Gas Propan verwendet, das in ausreichend dimensionierten Tanks gelagert wird. Durch geschützt verlegte Leitungen sind die Tanks mit den Übungsobjekten verbunden.

Alle wichtigen Regelaggregate, wie z. B. Gasfilter, Sicherheitsmagnetventile, Hauptabsperrhähne usw., sind außerhalb der Objekte (z. B. Feuerwehrrübungshaus) in Schaltschränken untergebracht. In einem Brandhaus sind z. B. die einzelnen Übungsräume nach dem Baukastenprinzip aufgebaut, so daß unter Verwendung von Attrappen Wohnräume, Industriebereiche, Lagerhäuser oder Büroräume nachgebildet werden können. Das Brandhaus in der Basisvariante war als dreietagiges Gebäude in den Grundabmessungen 9 x 9 m angedacht. In einem weiteren Basisobjekt der Massachusetts Firefigthing Academy wurde ein vieretagiges Gebäude mit einem stufenförmigen Aufbau vorgeschlagen, das in seiner Grundfläche ca. 10 x 16 m groß sein dürfte. Hinsichtlich der Kosten ist je nach Projekt von ca. 1,5 bis 2,5 Mio Dollar auszugehen.

Von der Steuerzentrale (Platz eines Ausbilders) aus werden von dem jeweiligen Verantwortlichen die für die Übung relevanten Parameter der darzustellenden Brandsituation eingestellt. Auf diese Weise können sowohl die Entwicklung, der Verlauf des Brandes als auch die Löschleistung der auszubildenden Feuerwehrrleute von der Steuerwarte aus überwacht

werden./15/ Zur Erzeugung eines künstlichen, nicht toxischen Rauches, steht ein computergesteuerter Rauchgenerator zur Verfügung. Es wird eine Spezialflüssigkeit auf einer Heizplatte in einer Brennkammer auf 315 °C erhitzt und verdampft. Über ein Heißluftgebläse wird mit hoher Geschwindigkeit der erzeugte Rauch in den Ausbildungsraum gepumpt. Am Ende der Übung oder bei Notfällen kann die Rauchentwicklung durch Abschalten der Pumpen und des Luftgebläses gestoppt werden und durch die Öffnung der Entlüftungsklappen der Raum rauchfrei gemacht werden.

Aus Gründen des Umweltschutzes wird das Löschwasser in ausreichend dimensionierten und undurchlässigen Auffanggruben gesammelt und kann dann für weitere Übungen verwendet werden. Eine Kontamination des Löschwassers kann nicht eintreten, da zwar Propan in Wasser in geringem Maße löslich ist, aber selbst keine nennenswerte Toxizität besitzt. Gleiches gilt auch für das aus dem Verbrennungsprozeß resultierende CO₂. Eine Belästigung der Umgebung durch „unerwünschte“ Emissionsprodukte kann weitestgehend ausgeschlossen werden, da das Propan nahezu vollkommen verbrennt (CO₂, H₂O) und auch keine nennenswerte Rußbildung eintritt..

Die Vorteile des Systems sind, neben der Schaffung realistischer Übungsbrände und der Erzeugung von nicht toxischem Rauch, die Schaffung sehr gut reproduzierbarer Trainingsabläufe, die deutliche Herabsetzung der Betriebskosten, die sehr gute Umweltverträglichkeit und auf Grund der nur geringen thermischen und chemischen Belastungen der baulichen Hülle eine Erhöhung der Lebensdauer von Feuerwehrrübungshäusern. Eine ausreichende Realitätsnähe wird durch die bis zu 3,70 m hohen Flammen, die starke Hitzentwicklung und die Sichtbehinderung durch Rauch erreicht. /15/

Neben den vorgenannten Basisvarianten wurden mittlerweile in den USA auch Attrappen von Flugzeugen, Schiffen, Autos u. a. nach dem beschriebenen Prinzip entwickelt und erfolgreich getestet.

Darüber hinaus existieren in den USA weitere Übungseinrichtungen, die oftmals unter Benutzung konventioneller Mittel betrieben werden. /46/

3 Bewertung der Konzepte für die im Ausland errichteten Brandhäuser

In den aufgeführten europäischen Ländern und den USA besitzt die Einrichtung und der Betrieb von großen Ausbildungsstätten grundsätzlich Priorität gegenüber dem Bau kleinerer Feuerwehr-Übungshäuser. Diese Feststellung schließt aber nicht aus, daß kleinere Übungsanlagen gebaut und betrieben werden und daß in Form von Containersystemen teilweise auch mobile Anlagen vorgehalten werden.

In Bezug auf die Realitätsnähe der Ausbildung kann man zu allen analysierten Brandhäusern und Übungsanlagen sagen, daß durch das Vorhandensein von „echtem“ Feuer und Rauch akzeptable Ausbildungsbedingungen geschaffen wurden. Hervorhebenswert ist, daß in vielen Übungskomplexen verschiedenste Brände und Brandsituationen, wie z. B. Gasbrände, Tankbrände, Brände an Prozeßanlagen u. a., realitätsnah nachgestaltet werden können. Auf den Aspekt der Luftreinhaltung und der Löschwasserentsorgung kann bei der Beurteilung nur bedingt eingegangen werden, weil in den ausgewerteten Quellen nicht immer oder nur sehr zurückhaltend Aussagen über Umweltschutzmaßnahmen gemacht wurden. Es muß aber davon ausgegangen werden, daß trotz der Verwendung von Brandstoffen mit einer im Brandfall nur geringen Umweltbelastung und dem Einsatz von emissionsmindernden Anlagen bei einer großen Anzahl der Übungsanlagen die Emissionswerte, gemessen an den in den spezifischen Gesetzen und Vorschriften ausgewiesenen oberen Grenzwerten, überschritten werden dürften. Die in einzelnen Ländern geltenden Ausnahmegenehmigungen erscheinen hilfreich, sie werden aber gemessen an den internationalen Bemühungen zur Reduzierung von vermeidbaren Umweltbelastungen zumindest in ihrem Gesamtumfang nicht dauerhaft aufrecht erhalten werden können.

Die Umweltbelastung in Anlagen ohne Emissionsschutzmaßnahmen, hervorgerufen durch Übungsbrände mit einem quasi Realszenarium, muß als sehr hoch eingeschätzt werden. So erscheinen solche Objekte nur auf den ersten Blick als eine kostengünstigere Variante, aber grundsätzlich sollte ein Übungskomplex zur Simulation von verschiedenen Übungsbränden über eine Rauchgasreinigungsanlage, eine Löschwasserrückhaltung und einen hohen übungstechnischem Sicherheitsstandard verfügen.

Einen Ansatz zur Minderung der Umweltbelastung bietet der in den USA entwickelte Fire Trainer. Dieser soll laut Betriebs- und Aufstellungsanleitung /15/ die Simulation von Feststoff, Flüssigkeits- und Gasbränden ohne nennenswerte Emissionen (Wasserdampf und

Kohlendioxid) ermöglichen. Hierbei scheint aber fraglich zu sein, ob eine ausreichend große Realitätsnähe zu üblichen Schadensfeuern hinsichtlich Brandkenngrößen und der Wechselwirkung Brand/Löschmittel erreicht werden kann. Insbesondere der Umstand, daß nach erfolgter Temperaturmessung allein über die Steuerung der Gaszuführung das Brandszenarium beeinflusst wird, überzeugt nur wenig. Diese Thermoelemente sprechen bei einer Temperaturerniedrigung hervorgerufen durch Kühlung an, ohne daß die Brandstoffzuführung durch eine reale Bewertung des Stoff- und Wärmetransports beim Brand- und Löschprozeß geregelt wird. Andere, als über den Kühleffekt, wirkende Löschmittel können somit kaum sinnvoll als Übungsgegenstand bei der Brandbekämpfung umgesetzt werden, was die Ausbildung hinsichtlich alternativer Entscheidungen bei der Wahl des geeigneten Löschmittels erheblich einschränkt.

Wenngleich es aus vielen und auch weiterhin diskussionswürdigen Gründen günstig erscheint, ein oder wenige große Übungszentren mit einem breiten Ausbildungsprofil zu betreiben und damit eine große Anzahl von Personen gleichzeitig ausbilden zu können, darf aber nicht unterschätzt werden, daß unter Beachtung aller Aufwendungen relativ hohe Lehrgangsgebühren anfallen. Diese können, vor allem gemessen an den Angeboten privatwirtschaftlicher Einrichtungen, von vielen Kommunen nicht aufgebracht werden, vor allem wenn es um die turnusmäßige Ausbildung aller Feuerwehrleute geht. Darüber hinaus gilt es festzustellen, daß in den privatwirtschaftlich organisierten Einrichtungen der Ausbildungsstandard nicht unmittelbar auf die Schwerpunkte einer kommunalen bzw. Freiwilligen Feuerwehr ausgerichtet ist. Scheinbar erwächst hieraus der Widerspruch, daß der Zugang zu den großen, aber teureren Übungsanlagen nur exponierten Kräften der Brandbekämpfung und Gefahrenabwehr möglich ist und der Mehrzahl insbesondere den Freiwilligen Feuerwehren der Zugang zu diesen Übungsmöglichkeiten versagt bleibt. Dies bedeutet aber, daß diese Kräfte in zunehmendem Maße Ausbildungsdefizite aufweisen würden. Für die deutschen öffentlichen Feuerwehren ergeben sich hieraus zwei Lösungsansätze: Entweder es werden in Haushalten Mittel für kostenaufwendige und fachlich nur teilweise befriedigende Ausbildungen im Ausland vorgehalten oder es sind Ausbildungsvoraussetzungen in Deutschland zu schaffen, die geringere Kosten verursachen, die einen hohen Leistungsstandard gemessen am Ausbildungsbedarf aller deutschen Feuerwehren garantieren und die sich voll in den Organisationsrahmen des Brandschutzes in Deutschland einordnen. Im Vordergrund muß aber stets die Überlegung stehen, Übungsanlagen sind für jeden

Feuerwehrmann notwendig und über die spezielle Ausbildung (Tankbrandbekämpfung, Schiffs- oder Flugzeugbrandbekämpfung u. a.) sollte nach Erfordernis entschieden werden.

4 Brandhäuser in Deutschland

In Deutschland verfügen einige Landesfeuerwehrschulen über ein sogenanntes „Brandhaus“ zu Ausbildungszwecken. In ihnen können neben Atemschutzübungen in äußerst begrenztem Umfang auch Übungen der Brandbekämpfung unter realen Bedingungen durchgeführt werden. Informationen zu Übungsbrandflächen im Freien, auf denen unter praxisanalogen Bedingungen geübt werden darf, wurden nicht gefunden. Es wird deshalb im weiteren nur auf Übungsgebäude eingegangen. In der Regel sind diese Brandhäuser, was ihre Errichtung betrifft, relativ alt und somit nicht nach dem aktuellen wissenschaftlich-technischen Erkenntnisstand auf diesem Gebiet eingerichtet. Noch viel weniger entsprechen sie den für ihre Einrichtung und Verwendung relevanten bundes- und landesgesetzlichen Bestimmungen auf dem Gebiet des Umweltschutzes./19/ Es verwundert deshalb nicht, daß die meisten Häuser nicht oder nur im eingeschränkten Umfang genutzt werden können. Nach vorliegenden Erkenntnissen ist eine mehr oder weniger umfängliche Nutzung eines Brandhauses nur an der Landesfeuerwehrschule Hessen in Kassel möglich. Die Übungsbrandobjekte umfassen somit bestenfalls eine Normholzkrippe, eine 1 m² große Wanne für brennbare Flüssigkeiten o. ä. /47/

Ausgehend von dieser Situation und dem Bedürfnis nach optimalen Übungsmöglichkeiten wurden in Deutschland die Rahmenbedingungen analysiert und Form der Norm DIN 14097 „Feuerwehr - Übungshäuser“ zu Papier gebracht. /16/

Ein Übungshaus wird danach in Übungsräume und Nebenräume eingeteilt. Der Abschnitt 4.1.1. der DIN sagt aus, daß sich Übungsräume im Kellergeschoß, im Erdgeschoß, in einem Obergeschoß und einem begehbaren Dachraum befinden sollen. Die einzelnen Etagen sollen miteinander verbunden sein, wobei an der obersten Stelle des Treppenraumes eine Rauchabzugseinrichtung eingebaut sein sollte.

Das Kellergeschoß sollte über einen Flur, einen Heizraum, einen Lager- und Kellerraum verfügen. In Hinblick auf eine praxisnahe Ausbildung sind im Erdgeschoß ein Laden, eine Werkstatt und ein kleiner Mehrzweckraum einzurichten, hingegen sollte das Obergeschoß aus einer Wohneinheit mit drei Zimmern, Küche, Bad und Flur bestehen, wobei die Restfläche z. B. als Büroraum, Labor, Schlafräum oder Klassenzimmer nachgebildet sein kann. Der Dachraum sollte einen wohnungsähnlich ausgebauten Teil mit darüberliegendem Spitzboden und einen nicht ausgebauten Teil enthalten.

Weiter werden in der DIN 14097 Vorstellungen zu Abmaßen unterbreitet, die aber an dieser Stelle nicht näher erörtert werden sollen.

Die angedachten Nebenräume, wie z. B. ein Lager für brennbare Stoffe, Löschmittel und Darstellungsmittel, Lager für Pumpen und Schläuche, ein Umkleideraum, Waschraum, Toiletten usw., werden nicht der Grundfläche der Übungsräume zugerechnet. Diese Räume sind aber so zu konzipieren, daß Beschädigungen durch den laufenden Übungsbetrieb nicht eintreten können.

Zur Simulierung von Bränden werden spezielle Darstellungsmittel und -geräte vorgeschlagen, die im Detail den Tabellen 1 und 2 der vorgenannten DIN entnommen werden können. Bei diesen Vorschlägen ist zu konstatieren, daß zumindest der Versuch einer geringen Umweltbelastung in Form der Rauchgas- und Abwasserbelastung unternommen wurde, wengleich dieser Versuch einer Emissionsminimierung mit einer Einschränkung vor allem im Umfang der Übungen erkaufte werden müßte.

So sollte das verwendete Löschmittel ungehindert aus den Übungsräumen abfließen können, um im Nachgang aufgefangen und gereinigt oder ordnungsgemäß entsorgt werden zu können. Als technologische Einzelkomponenten z. B. für die Löschwasserrückhaltung werden Schaumfänger, Benzinabscheider und Beruhigungsbecken vorgeschlagen. Bei der Planung ist sicherzustellen, daß die Abmessungen der Einrichtungen der anfallenden Löschmittelmenge entsprechen.

Bezüglich der Rauchgase wurde formuliert: „Die Abgase der Entrauchungsanlage sind im Normalbetrieb über einen Rauchgaswäscher zu führen, eine Entrauchung darf nur im Notfall ohne Rauchgaswäsche durchgeführt werden.“ /16/ Ebenso sollte bei Unterschreitung der in der TA Luft /17/ fixierten Emissionswerte auf eine Rauchgaswäsche verzichtet werden können. Eine konkrete, praktische Umsetzung des in der vorgenannten DIN dargestellten Konzeptes ist aber bisher noch nicht erfolgt, wengleich in einzelnen Bundesländern Projekte vorbereitet werden bzw. sich in der Phase der Realisierung befinden. Im folgenden Teil dieser Analysen sollen die derzeit in Deutschland vorzufindenden Einrichtungen bzw. vorliegenden Projekte näher untersucht werden.

Als Probleme im Rahmen der Errichtung und dem Betrieb eines für die Ausbildung geeigneten Brandhauses sind vor allem folgende Sachverhalte zu sehen:

- Kosten für Anlagenprojektierung, Anlagenerrichtung bzw. die Anlagenmodernisierung einschließlich technischer Einrichtungen für die Überwachung und Absicherung des Übungsbetriebes sowie des Nachweises der Eignung der Baumaterialien und des Bauwerkes unter dem Aspekt der hohen thermischen und Korrosionsbelastung,
- Entsorgungsaufwand für Darstellungsmittel, Löschmittlrückstände und Brandgase,
- Unterhaltungsaufwand für Bauwerk und periphere Anlagen,
- Kosten für die Bereitstellung von Stoffen und Materialien für den Übungsbetrieb (Brandmedien, Löschmittel, Löschtechnik, Atem- und Körperschutz u. a.),
- Kosten für Personal zur Absicherung des Ausbildungs- und Übungsbetriebes und der Unterhaltung der Anlagen.

4.1 Brandhäuser ohne Umweltschutzvorrichtungen

In Deutschland sind bis auf noch konkret zu beschreibende Einzelobjekte keine Entscheidungen für die Verwirklichung eines Feuerwehr-Übungshauses mit Möglichkeiten eines ereignisnahen Übungsbetriebes (siehe DIN-Entwurf) getroffen wurden, d. h. vorliegende Konzepte sind nicht über das Entwurfsstadium hinaus weiter entwickelt worden. Dies bedeutet, daß z. B. die Landesfeuerweherschulen nur schwerlich eine Ausbildung der Feuerwehrmänner an realitätsnahen Übungsbränden durchführen können. Auch die Feststellung, daß z. B. die Landesfeuerweherschule in Hessen /48/ und einige Berufsfeuerwehren auf der Grundlage von Ausnahmeregelungen gelegentlich Übungen durchführen können, befriedigt in keiner Weise.

Unter Beachtung dieser Sachverhalte wird in den folgenden Abschnitten auf bestehende oder geplante Lösungen für Feuerwehr Übungshäuser eingegangen.

4.1.1 Anlagen mit Feuerbetrieb

Bei den meisten Ausbildungseinrichtungen für die Feuerwehren in Deutschland war ursprünglich eine Anlage mit Feuerbetrieb zu finden, da sie die Möglichkeit bietet, durch „echtes“ Feuer den realen Einsatzbedingungen sehr nahe zu kommen. Gegenwärtig sind diese Anlagen, wie schon ausgeführt, in den meisten Fällen stillgelegt oder dürfen, wie z.B. bei der Landesfeuerweherschule Niedersachsen in Celle bzw. an der Landesfeuerweherschule Hessen in Kassel, nur unter Berücksichtigung spezieller Auflagen bzw. auf der Grundlage von Ausnahmegenehmigungen betrieben werden.

Wenngleich im Ausland, wie z. B. in der Republik Österreich, an solchen Anlagen im oben genannten Sinne unter dem Aspekt einer gesetzlich fixierten Sonderregelung Ausbildungen durchgeführt werden dürfen, steht der formellen Auslegung derartiger Sondererlasse bzw. Rechtsvorschriften dennoch die Tatsache entgegen, daß die auftretenden Emissionen in Form von z. B. Ruß, CO u. a. auf Dauer nicht ignoriert werden können. Auch die Möglichkeit, solche Brennstoffe zu verwenden, bei denen nur sehr geringe Mengen an Ruß, CO₂, CO oder anderen Verbrennungs- bzw. Zersetzungsprodukten freigesetzt werden, verspricht auf Grund der eingeschränkten Ausbildungsmöglichkeiten und der dennoch vorliegenden Belastung keine befriedigende Lösung. Es muß auch immer damit gerechnet werden, daß die Übungen nicht wie geplant ablaufen und sich damit die Bedingungen ändern, was z. B. eine unvollkommene Verbrennung mit einer nicht exakt definierbaren Emission zur Folge haben kann. Derartige Änderungen haben zwangsläufig eine höhere Rauch- und Rußmenge und eine höhere Konzentration an unverbrannten Zwischenprodukten zur Folge, womit jede Wertebereiche gemäß den genannten Vorschriften und auch Sonderregelungen überschritten werden dürften.

Ebenfalls ein Problem ist der Anfall von Löschmittlrückständen insbesondere von Wasser, weil im Falle eines unkontrollierten Abfließens des Löschwassers umweltbelastende Brandfolgeprodukte mitgeführt werden können /19/, die zu einer nichtvertretbaren Umweltbelastung führen würden.

Grundsätzlich ist nach § 3 Abs. 5 des BImSchG /18/ eine solche Anlage mit Feuerbetrieb eine genehmigungsbedürftige Anlage, wenn diese für diesen Zweck als Gebäude oder Gelände ortsfest errichtet und Übungen in gewisser Häufigkeit durchgeführt werden. /49/ Obwohl sie keinem gewerblichen Zwecken dient, ist sie dennoch so zu bewerten, weil sie im besonderen

Maße geeignet ist, schädliche Umwelteinwirkungen durch u. a. Luftverunreinigungen hervorzurufen. Da von einer solchen Anlage Belastungen ausgehen, die die Grenzwerte der TA Luft /17/ überschreiten, wurde eine grundsätzliche Genehmigung nach dem BImSchG /18/ bisher ausgeschlossen.

4.1.2 Anlagen mit künstlichen Darstellungsmitteln

Wenn ein Brandhaus ohne Umweltschutzvorrichtungen bereits vorhanden ist, könnte eine Weiternutzung dann in Erwägung gezogen werden, wenn ausschließlich künstliche Darstellungsmittel zur Anwendung kommen.

Für eine Simulierung der Abläufe wird eine Reihe von Mitteln benötigt, um die Wirkungen von Feuer, Rauch und Wärme wirklichkeitsnah zu gestalten. Solche Darstellungsmittel und -geräte werden in den Tabellen 1 und 2 der vorgenannten DIN erläutert.

Obwohl keine Vorrichtungen zur Luftreinhaltung und Löschmittelrückhaltung notwendig sind, konnte bezogen auf das Territorium Deutschland kein Hinweis gefunden werden, daß eine Anlage errichtet worden ist, in der für die Ausbildung und Schulung ausschließlich künstliche Darstellungsmittel benutzt werden. Sollten in einer solchen Anlage bei Übungen allerdings andere Löschmittel als Wasser zur Anwendung kommen, kann auf eine Rückhaltung der anfallenden Rückstände nicht verzichtet werden.

Der bei Atemschutzübungen in derartigen Gebäuden benutzte, künstlich erzeugte Rauch kann als unerheblich angesehen werden, wenn solche Produkte, wie z. B. Glycerinnebel und „Disconebel“, verwendet werden.

Da bei der Verwendung von künstlichen Darstellungsmitteln keine Emissionen in Form von Rauch einschließlich Ruß und CO₂ auftreten, kann bei einer solchen Anlage von einer Genehmigungspflicht nach § 4 des BImSchG /18/ sicher abgesehen werden.

4.2 Brandhäuser mit Umweltschutzvorrichtungen

4.2.1 Brandhaus mit Filteranlage

Eine Möglichkeit, Übungen mit „Feuer“ in einem Brandhaus durchführen zu können, ist in dem rauchgasseitigen Einbau von Filtersystemen zu sehen. Diese Variante wurde z. B. in dem von der Landesfeuerweherschule Schleswig-Holstein unterhaltenem Brandhaus realisiert. Hierbei konnten aber weder Dimension noch Wirkung richtig überzeugen, so daß der Übungsbetrieb nur in bescheidenem Maße durchgeführt werden kann. Das realisierte Prinzip besteht darin, daß der entstehende Rauch über manuell bedienbare Rauchklappen in den Schornstein geleitet wird. Dabei ist der Zug im Dachraum geschlossen. Durch einen Ventilator wird der Rauch aus dem Zug über einen 0,25 m² großen Filter, der auswechselbar ist, angesaugt. Nach der Reinigung wird die gefilterte Luft wieder in den Schornstein gedrückt und wird über einen Funkenfänger in die Atmosphäre abgegeben.

Bei Einbau derartig gering dimensionierter und ihrer Wirkung nur wenig effektiv arbeitender Systeme werden nur geringe Mengen an Emissionsprodukten zurückgehalten, wobei insbesondere das toxische und gasförmig vorliegende CO nicht zurückgehalten wird. Eine derartige Übungsanlage wäre ebenso nach §3 Absatz 5 des BImSchG /18/ genehmigungsbedürftig und erhielte in der gegenwärtig vorliegenden Form kaum eine Zulassung.

Das Wirkprinzip der Abwasseranlage des Feuerwehrübungshauses der Landesfeuerweherschule Schleswig-Holstein besteht darin, das anfallende Löschwasser über Fußbodenentwässerungen in den Übungsräumen zu sammeln und in den Keller zu leiten. Im Keller ist der Bodenablaß absperrbar und führt in ein Löschwasserrückhaltebecken. Alle mitgeführten Brandfolgeprodukte und andere Materialien können sich absetzen und werden dann gegebenenfalls als Sondermüll entsorgt. Das damit „vorgereinigte“ Wasser wird anschließend in die Kanalisation eingeleitet. Obwohl bei den Brandübungen nicht nur Wasser, sondern auch Schaum als Löschmittel verwendet werden sollte, war keine Behandlungsmöglichkeit der tensidhaltigen Löschmittlrückstände vorgesehen, was bei Realisierung dieses Konzepts einen konkreten Verstoß gegen einschlägige für die jeweiligen Bundesländer geltenden Wasser- und Abwassergesetze mit dem dazugehörigen Rechtsverordnungen und Ausführungsvorschriften darstellen würde.

Trotz der vorhandenen Einrichtungen zur „Rauchgasreinigung“ und zur „Löschwasserrückhaltung“, die bezogen auf den aktuellen Stand der Umweltgesetzgebung absolut unzureichend sind, wurde in dieser Anlage mit „echtem“ Feuer eine Ausbildung zur Brandbekämpfung durchgeführt. Gegenwärtig wird aber die Anlage aus den genannten Gründen nur noch für sehr kleine Brandübungen (maximal 1 m² Brandfläche) genutzt. /19/

Um ein unkontrolliertes Entweichen der gas- und staubförmigen Emissionsprodukte an die Umwelt zu verhindern, ist eine Konstruktion in Form einer sogenannten **Rauchfanghaube** vorstellbar, in der die „gesammelten“ Rauchgase über eine Reinigungsanlage z. B. in Form einer Rauchgas-Filteranlage geführt werden.

Ausgehend von variierenden Windverhältnissen ist die Rauchfanghaube konstruktiv so zu gestalten, daß selbst abdriftender Rauch erfaßt wird. Natürlich erfordert dies einen höheren Platzbedarf und vor allem einen enormen Bauaufwand bei der Errichtung der Haube. Um das Abtriften der Rauchgaswolken bei extremer seitlicher Luftströmung zu verhindern, sind an den Seitenflächen des Feuerwehrübungshauses Windschutzblenden angeordnet. Damit soll es möglich sein, bei jeder Windstärke und Windrichtung das Rauchgas in die Filteranlage zu leiten.

Weiterhin ist die Rauchfanghaube so zu konstruieren, daß die Möglichkeit besteht, an das Feuerwehr-Übungshaus mit den Einsatzfahrzeugen heranzufahren. Insbesondere soll die Möglichkeit gegeben sein, einen Außenangriff unter Einsatz z. B. von Drehleitern zu trainieren.

Die Entrauchung soll nach folgendem Prinzip realisiert werden:

Der im Scheitelpunkt der Haube aufsteigende Rauch wird in Abgasrohre geleitet. Die Reinigung erfolgt in einer sich anschließenden Filteranlage auf der Basis von Gewebefiltern. Diese Filtergewebe sollten so beschaffen sein, daß sie bei den zu erwartenden Rauchgastemperaturen standhalten. Unter Bezug auf die Palette möglicher Materialien reicht diese von Baumwolle (Hitzebeständigkeit bis 80 °C) über Chemiefasern (Hitzebeständigkeit 130 °C) bis zu Fasern auf Aluminiumsilikatbasis (Hitzebeständigkeit bis zu 700 °C). In der Reihenfolge der Aufzählung spiegelt sich auch tendenziell der Kostenaspekt für die genannten Filtermaterialien wider, wobei der Faktor der Temperaturstabilität leicht als Preisfaktor benutzt werden könnte.

Die nur von Feststoffpartikeln gereinigte Luft wird in die Atmosphäre abgegeben. Durch die Filterung des Rauches sind zwar geringere Umweltbelastungen als beim Brandhaus ohne Umweltschutzeinrichtungen zu erwarten, doch können unerwünschte gasförmige Emissionen nicht ausgeschlossen werden, flüssige Schadstoffemissionen werden überhaupt nicht berücksichtigt und somit erscheint eine Akzeptanz unter Bezug § 3 Absatz 5 BImSchG /18/ nur in geringem Maße wahrscheinlich. Dies ist neben der Kostenfrage sicher ein weiterer Hauptgrund, daß nach diesem Konzept in Deutschland ein solches Feuerwehr-Übungshaus bislang noch nicht errichtet wurde. Inwieweit es für andere Entwicklungen Pate gestanden hat, ist leider nicht nachvollziehbar./19/

4.2.2 Brandhaus mit vollständiger Kapselung

Dieser Entwicklungsrichtung kann der Gedanke vorangestellt werden: „Die konsequente Verwirklichung des Umweltschutzgedankens besteht in einer vollständigen Abschottung des Übungsobjektes von der Außenwelt.“ /19/

Ein konkretes Abbild dieses Gedankens stellt die Brandabwehr-Dienst-Übungshalle der Bundesmarine an der Technischen Marineschule in Neustadt/Holstein dar. Diese Anlage, die seit 1994 in Betrieb ist und über eine nahezu perfekte Rauchgasreinigungsanlage sowie Löschabwasser-Aufbereitungsanlage verfügt, wurde auch seitens der Berliner Feuerwehr als Vorlage für einen eigenen Neubau einer Übungsanlage in Erwägung gezogen.

Bei den Ausgangsüberlegungen stand im Hintergrund die Vorstellung, in einem solchen Objekt ca. 35 Übungen pro Tag durchzuführen. Durch die Anordnung als zweigeschossiges Brandhaus mit einem Brandübungsfeld in einer Übungshalle wären unterschiedliche Formen der Brandbekämpfung mit verschiedenen Brandstoffen und Löschmitteln trainierbar gewesen./50/

An der Technischen Marineschule kann in einem Abstand von ca. 12 Minuten eine allseitige Brandbekämpfung geübt werden, wobei Wasser, Schäume und Pulver als Löschmittel verwendet werden. Als Übungsflächen stehen zwei 12 m² große Abschnitte zur Verfügung. Die Grenze zwischen den einzelnen Abschnitten bildet eine Brandwand, die bis in den Rauchdom führt. Da unterschiedliche Brandstoffe bei den Übungen Verwendung finden, ist eine aufwendige Rauch- und Abwasserbehandlung notwendig./51/

Der bei den unzähligen Verbrennungen anfallende Rauch steigt auf Grund der Thermik in den Rauchdom. Durch im Rauchdom angebrachte hinterlüftete Wärmeaustauschflächen wird der Rauchgasstrom vorgekühlt und kann im weiteren durch eine Fremdluftzuspeisung weiter abgekühlt werden. Von dort wird er in eine Staubfilteranlage (Schlauchfilterung) gesaugt und von den Feststoffteilchen, wie z. B. Ruß und am Ruß anhaftende Verbrennungsprodukte gereinigt. Durch die vorherige Einspeisung von pulverförmigem Kalkhydrat werden gleichzeitig gasförmige saure Komponenten wie CO_2 und CO gebunden. Die verbleibenden festen Rückstände werden ebenfalls mit ausgefiltert. Nach einem Durchlauf von Zyklonen wird das gereinigte Abgas in die Atmosphäre abgegeben.

Ein ursprünglich von der Berliner Feuerwehr angedachter Weg, durch den Einsatz gering emittierender Brandstoffe eine vertretbare Emission im Abgasbereich zu erzielen und somit die für feste Rauchgasbestandteile gemäß TA Luft /17/ festgelegten Grenzwerte zu unterschreiten, führte letztendlich zu keinem verwertbaren Ergebnis.

Das durch die Absaugung des Rauches sich einstellende Luftdefizit wird durch über die Vorhallen einströmende Frischluft ausgeglichen, wobei sich in der Halle eine diskrete laminare Strömung einstellt.

Zur Löschwasserreinigung sind mehrere hintereinandergeschaltete Behandlungsbecken- bzw. -behälter, wie z. B. Ölabscheider, Reaktionsbehälter, Reststoffabscheider und Schlammbehälter, vorgesehen. Bei dieser aufwendigen Methode der Abwasserreinigung wird /19/ eine Wasserqualität erreicht, die fast der von Trinkwasser entspricht. Ob insgesamt eine solch aufwendige Abwasserbehandlung notwendig ist, hängt von den konkreten Abwasserbelastungen und den einzuhaltenden Einleitgrenzwerten ab.

Unter Bezug auf zurückliegende Überlegungen /52 / hatte die Landesfeuerwehrschule Baden - Württemberg in Bruchsal ebenfalls die Errichtung eines Brandhauses mit vollständiger Kapselung geplant. Dieses Projekt sah jedoch eine Rauchgaswaschanlage zur Reinigung der Abgase vor, da durch das Auswaschprinzip ebenfalls die Emission schädlicher Feststoff- und Gaskonzentrationen verhindert werden kann. Eine hochwirksame Rauchgaswaschanlage gestattet es, auch Übungen mit stärker emittierenden (umweltschädlichen) Brandstoffen durchzuführen./19/

Nach neueren Überlegungen wird zwar in Bruchsal u. a. ein Feuerwehr-Übungshaus errichtet, aber hierbei wird zur Simulation von Brandszenarien das Grundkonzept des Fire-Trainers umgesetzt. Im einzelnen ist dabei vorgesehen, typische Gebäudebrände wie in Wohngebäuden, in Geschäfts- bzw. Büroräumen, in Werkstätten und anderen Fertigungseinrichtungen, Gaslagerungs- und -transportsystemen und einer Reihe weiterer Objekte nach dem vorgenannten Grundprinzip zu realisieren. Im einzelnen sind folgende Übungskomplexe vorgesehen:

- Kellergeschoß mit Lager-Regalbrandstelle, mit Gaszähler/Absperrventil, mit Kaminbrandobjekt, mit einem vertikalen Kabelschacht,
- Erdgeschoß mit beweglicher Autoattrappe über einer Grube, Grube mit Brandstelle, Werkbankbrand, Gasflaschenbrand, Elektrokabelbrand, Brand eines Kleiderständers
- Erdgeschoß mit Regalbrand, Zwischendeckenbrand mit Deckenluke, Brand des Handlaufes einer Wendeltreppe, Schaufensterbrand,
- Obergeschoß mit Brand des Handlaufes einer Wendeltreppe, Stromzähler mit Spezialeffekten, Fritteusebrand, Wohnraumbrand mit Sofa und Sessel, Flash-over-Brandstelle
- Dachbereich mit Dachflächenbrand.

Ein ähnliches Konzept wird auch von der Landesfeuerwehr-Schule Hessen verfolgt, wobei hier im Kellerbereich ein Regalbrand mit Verrauchung, im Erdgeschoß ein Schlafzimmerbrand mit eingeschlossenem flash-over und im Obergeschoß ein Küchenbrand simuliert werden können. Die neu konzipierten Systeme werden in das alte Brandhaus installiert, wobei erforderliche Bauwerksverstärkungen nicht auszuschließen sind. /48/

Ein entsprechendes Pilotprojekt zu einem Feuerwehr-Übungshaus wurde durch den deutschen Lizenznehmer und Hersteller /53/ bei der Berufsfeuerwehr der Stadt Aachen errichtet, wobei bei dieser Anlage ein Küchenraum und ein Wohn/Schlafraum mit entsprechenden Attrappen (Kochgelegenheit, Bett) eingerichtet wurden. Neben den typischen Inventarteilbränden kann ein flash-over-Szenarium nachgestaltet werden und durch Einspritzung von relativ thermisch stabilen Hydraulikflüssigkeiten in Form eines sehr feinen Aerosol eine Verqualmung der Räume erreicht werden.

5 Einschätzung der in Deutschland existierenden Brandhäuser bzw. neuer

Konzepte

Unter Berücksichtigung vorliegender Erkenntnisse über in Deutschland vorhandene Brandhäuser lassen sich nachfolgende Kriterien nennen, die als bedeutsam angesehen werden können:

- eine realitätsnahe Ausbildung in den wichtigsten Bereichen der Taktik der Brandbekämpfung,
- effiziente Möglichkeiten der Luftreinhaltung und Abwasser(Löschwasser)reinigung,
- Möglichkeiten des Anlagenausbaus,
- Erschließung von Möglichkeiten zur Kostenminimierung bei der Errichtung und bei der Unterhaltung von Übungsanlagen durch z. B. Auswahl geeigneter Standorte, Mehrfachnutzung, minimaler Personalkostenaufwand, minimale Entsorgungskosten bezogen auf Rauchgase, Löschabwässer und Brandstoffrückstände.

Hierzu wurde in /19/ eine Entscheidungsmatrix entworfen, in deren Ergebnis der Übungsanlage mit einer Staubfilterung im Rauchgasbereich die höchste Wertigkeit zugeschrieben wurde. Da eine reine Staubfilterung nach vorliegenden Erkenntnissen kaum allen Anforderungen (rechtlich) genügen kann und thermisch hoch belastbare Filtersysteme sehr kostenintensiv sind, kann dieser Lösungsansatz nur bedingt überzeugen. Bei diesen Betrachtungen blieb der nicht minder bedeutsame Teil der Löschabwasseraufbereitung leider unberücksichtigt.

Bei der Beurteilung der Feuerwehr-Übungshäuser spielt die Realitätsnähe der Ausbildung eine wichtige Rolle. Nur wenn die Brandbekämpfung unter praxisnahen Bedingungen geübt wird, ist das sichere Beherrschen der Löschverfahren, Löschmittel, Technik, also der richtigen Taktik, gewährleistet. Bei einer solchen formellen Betrachtung der Brandhäuser gemäß der angedachten Funktionalität im Übungsbetrieb scheint das Brandhaus ohne Umweltschutzvorrichtungen am ehesten eine wirklichkeitsnahe Ausbildung zu garantieren, insbesondere da negative Rückkopplungseffekte bei zu klein dimensionierten Reinigungssystemen auf den Brandablauf und damit auf den Übungsprozeß nicht auftreten sowie hohe Kosten bei dimensional angepaßten Reinigungsanlagen bedingt durch die hohen Erstellungs- und die hohen Unterhaltungskosten bei dem in der Regel diskontinuierlichen Betrieb nicht anfallen. Die Tatsache, daß aufgrund des Verschlusses der Raumöffnungen und

der damit eingeschränkten Sichtverhältnisse der Übungsbetrieb nur im eingeschränkten Umfang durchgeführt werden kann, kann insofern relativiert werden, da bei jedem realen Brand die Sichtverhältnisse durch Verqualmung meist sehr schlecht sind und dieser Nachteil als minimal angesehen werden kann. Eher ließe sich dieser Umstand als Übungsbedingung nutzen. Das entscheidende Kriterium für die Realitätsnähe, das Vorhandensein von Feuer und Rauch, ist gewährleistet. Ebenfalls wichtig für die Realitätsnähe der Übungen ist, daß sowohl ein Innen- wie auch ein Außenangriff durchgeführt werden kann, wobei das komplexe Zusammenspiel der eingesetzten Kräfte möglich ist. Einen solchen kombinierten Innen- und Außenangriff sollten ebenfalls das Brandhaus mit Rauchfanghaube wie auch die anderen Feuerwehrrübungshäuser ermöglichen.

Bei diesen rein auf die Funktionalität der Übungshäuser abgestellten Betrachtungen wurden die bei Bränden zu erwartenden Emissionen und letztendlich wirksam werdenden Immissionen bislang außer acht gelassen. Dies führte zu den Überlegungen, durch den Einsatz von wenig Abprodukt hervorrufenden Brandstoffen, wie z. B. trockenem, harzfreiem und nicht mit chemischen Mitteln behandeltem Holz kann eine Reduzierung der „schädlichen“ Bestandteile des Rauches erreicht werden. Werden durch diese Reduzierung die Grenzwerte der einschlägigen Rechtsvorschriften nicht überschritten, könnte auf eine aufwendige Rauchgasreinigung verzichtet werden. Ob eine aufwendige Rauchgasreinigung erfolgen muß oder nicht, könnte auch von der Übungshäufigkeit abhängig gemacht werden. Bei kontinuierlicher Durchführung von Übungen der Brandbekämpfung kann mit Sicherheit nicht auf Maßnahmen zur Abgas- und Abwasserreinigung verzichtet werden und dies nicht nur in Hinblick auf eine formelle Umsetzung entsprechender Rechtsvorschriften./17, 18/

Werden z. B. nur solche Brennstoffe verwendet, bei denen vor allem mit Feststoff-Emissionen mit einer exakt nachvollziehbaren und wenige Spezies umfassende Zusammensetzung gerechnet werden kann, kann möglicherweise eine Filterung z. B. mit Gewebefiltern ausreichend sein. Zu berücksichtigen ist dabei aber eine ausreichende Wärmebeständigkeit und Filterungswirksamkeit der eingesetzten Materialien.

Werden weniger umweltfreundliche Brandstoffe bei Übungsbränden eingesetzt, sollte die Naßfilterung oder Gasabsorption gewählt werden, so daß auch schädliche Gasemissionen entfernt werden können. Bei der Naßfilterung oder der Gasabsorption muß jedoch die jeweilige Wasserlöslichkeit der Emissionsprodukte beachtet werden.

Das Übungshaus mit Abzugshaube und das Übungsbrandhaus mit vollständiger Kapselung nehmen gemäß der Beurteilung nach Umweltschutzaspekten die erste Stelle ein, da auf Grund der verwendeten Vorrichtungen zur Reinigung des Rauches keine oder nur sehr geringe Belastungen der Umwelt zu erwarten sind. Das Brandhaus mit Filteranlage (Staubfilter) ermöglicht nur den Einsatz von Brandstoffen, die die Umwelt gering belasten. Durch diesen Umstand wird eindeutig die Realitätsnähe der Ausbildung herabgesetzt, denn in der Praxis kommen als Brandstoffe nicht nur Holz, Stroh oder Heu vor, sondern auch Mineralöle, Kunststoffe und andere Stoffe vor.

Ein Brandhaus ohne Rauchreinigungsanlage ist aus gegenwärtiger Sicht des Umweltschutzes nicht mehr vertretbar, weil mit dem Rauch sowohl Feststoffteilchen als auch schädliche Gaskonzentrationen in die Atmosphäre gelangen.

Hinsichtlich der Verwendung von Wasser und Schaum als Löschmittel müssen ausreichende Maßnahmen zur Rückhaltung, Reinigung bzw. Entsorgung des Abwassers getroffen werden, weil, neben der Belastung durch die Schaummittel selbst, im Löschwasser schädliche Brandfolgeprodukte in dispergierter und/oder gelöster Form mitgeführt werden können.

Als Fazit dieser Betrachtung ergibt sich, daß sowohl eine umfassende Rauchgasreinigung als auch eine Löschwasserreinigung notwendig sind. Dies ist jedoch nur möglich, wenn alle Feuerwehr-Übungshäuser mit entsprechenden Einrichtungen und Anlagen ausgerüstet und erweitert werden, die den derzeit geltenden und auch künftigen gesetzlichen Regelungen im Bereich des Umweltschutzes genügen. Technologische Möglichkeiten zur Rauchgasreinigung und Abwasserbehandlung bei Brandübungsanlagen und Brandforschungs- bzw. Materialprüfungsanlagen werden in den Anlagen 3 und 4 gegenübergestellt.

Ein Brandhaus ohne Umweltschutzvorrichtungen ist kaum ausbaufähig, weil eine Erweiterung meist nur durch einen vollständigen Umbau realisiert werden kann. Daraus ergibt sich, daß mittel- und langfristig neue Anlagen zu konzipieren und zu bauen sind.

Inwieweit andere Brandhäuser ausbaufähig sind, muß konkret analysiert werden. Die Voraussetzungen für die Erweiterungsmöglichkeiten müssen allerdings schon im Planungsstadium geschaffen werden, damit ausreichend Platz für Übungselemente zur Verfügung stehen. Eine Ausrüstung der Feuerwehr-Übungshäuser mit verbesserten Anlagen

für die Abwasseraufbereitung ist ebenfalls mit hohen Investitionen (mehrstufiges chemisches und/oder biologisches Verfahren) verbunden, aber nur so kann eine Verbesserung der Abwasserqualität erreicht werden.

Die Feststellung, daß bei Verwendung des Prinzips „Fire Trainer“ im Bereich Abgas und Abwasser nur geringe Aufwendungen erwachsen, unterstreicht vorliegende Entscheidungen. Defizite im Übungsbetrieb werden aus diesen Gründen aber gern in Kauf genommen./54/

6 Kostenbetrachtung zur Errichtung von Brandhäusern

Für die Erstellung einer exakten Kostenanalyse ist es notwendig, nicht nur Daten über vorhandene bzw. konzipierte Anlagen zu erheben und auszuwerten, sondern sich mit konkreten inhaltlichen Vorstellungen und deren wirtschaftliche Umsetzung auseinanderzusetzen (zu den Kosten von Abwasser- und Rauchgasreinigungsanlagen siehe auch Anlage 3 und 4). Somit war, da diese Daten im begrenzten Umfang und zu unterschiedlichsten Projekten zur Verfügung standen, nur eine Abschätzung der finanziellen Aufwendungen für derartige Anlagen möglich. Daraus resultiert nachfolgendes Resümee:

1. Die Kosten für eine auf dem Prinzip des Fire-Trainers basierenden Anlage können sich je nach Ausstattungsgrad und Größenordnung zwischen 1,3 Mio. DM /48/, 1,5 Mio. DM /53/ bis 8,5 Mio DM /52/ bewegen.
 2. Die Kosten für eine Übungsanlage mit vollständiger Kapselung und verschieden großen Brandobjekten bei Nachgestaltung realer Brandsituationen belaufen sich einschließlich der auf den Umweltaspekt ausgerichteten Anlagenbereiche auf bis zu 10 Mio. DM /56/, doch sind bei einer Vertiefung der inhaltlichen und dimensional Möglichkeiten durchaus auch finanzielle Aufwendungen bis zu 20 bis 25 Mio. DM realistisch.
 3. Die Aufwendungen könnten einen um 100 % höheren Betrag erreichen, wenn eine derartige Anlage sowohl der Ausbildung als auch der Forschung dienen und über ein gut eingerichtetes Versuchsfeld (Freiflächen für Ausbildung und Forschung) verfügen soll.
- Keine oder nur wenig Aufschluß gebende Aussagen liegen zu den laufenden Personal-, Betriebs- und Unterhaltungskosten vor, doch scheinen jährliche Kosten in Höhe von > 1 % der Investitionskosten durchaus realistisch zu sein.

7 Ausblick und Schlußfolgerungen

Die Notwendigkeit der Schaffung von praxisorientierten, d. h. an realen Schadensereignissen ausgerichteten Übungsmöglichkeiten für die Feuerwehren wird durch die von den Schadensereignissen ausgehenden Wirkungen nachhaltig unterstrichen. Die Tatsache, daß eine große Realitätsnähe insbesondere bezüglich der zu untersuchenden Sachverhalte „Übungsbrand“ und „Übungslöschmittel“ angestrebt und auch erreicht werden sollte, darf ungeachtet der Notwendigkeit von Forderungen auf dem Gebiet des Umweltschutzes nicht um den Preis der Realitätsferne und einer destruktiven Sparsamkeit geopfert werden. Wie schon in den Punkten 3. und 5. dieses Forschungsberichtes zum Ausdruck gebracht, zeigen die in Europa existierenden Übungsanlagen auf, daß die europäischen Feuerwehren trotz der nur auf Dauerwenig überzeugenden Lösung mittels Sonderregelungen genau diese Sachverhalte bewahrt haben. Es sollte unter Berücksichtigung der politisch-strukturellen Voraussetzungen der Bundesrepublik Deutschland u. a. nach von praktischen Erfordernissen ausgerichteten Anlagenkonzepten gesucht werden und eine länderübergreifende Nutzung von Anlagen mit einem qualitativ und quantitativ anspruchsvollen Übungskonzept muß letztendlich keine Utopie bleiben. **Übungsobjekte mit Realfeuer in erforderlicher Dimension müssen einschließlich der umweltrelevanten Maßnahmen als ein notwendiges Erfordernis erkannt und realisiert werden.** Hierzu gilt es u. a. die nachfolgenden Sachverhalte zu analysieren,

- welche und wieviele konkrete Zielgruppen bei den Auszubildenden gilt es zu berücksichtigen und welche Ausbildungsinhalte müssen realisiert werden,
- welche Lösungen bieten sich sowohl bei der Ausgestaltung der Brandobjekte (gesteuerte d. h. kontrollierte Verbrennung), bei der Festlegung erforderlicher aber auch umweltfreundlicher Brandstoffe und Löschmittel (auch und vor allem Schaummittel und Pulver) und bei technologisch vernünftigen und finanziell umsetzbaren Lösungen für den diskontinuierlichen Betrieb im Bereich Rauchgas und Abwasser an und sind für eine praktische Umsetzung geeignet,
- können auf die Anlagenperipherie orientierte Überlegungen wie in Form des Forschungskonzeptes „Mobile Lösch-Abwasseraufbereitungsanlage“ für die zu planenden Übungsanlagen von Nutzen sein.

All diese Gedanken gilt es umgehend weiterzuentwickeln und umzusetzen, denn weder kann verbindlich damit gerechnet werden, daß sich im Rahmen der Harmonisierung des europäischen Rechts allein die deutsche Position (einzige aber nur bedingt überzeugende Alternative - Fire-Trainer) durchsetzen wird oder umgekehrt der von vielen unserer europäischen Nachbarn beschrittene Lösungsweg „Ausnahmeregelung“.

Literaturverzeichnis

- /1/ Brütsch, S.
„Zur praktischen Ausbildung ins Ausland“
Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung 10/1991
- /2/ ...
„New college training building represents a shopping complex“
Fire - Redhill 83(1991)1028
- /3/ ...
„Aberdeen Fire Training Centre“
fitech international 1994
- /4/ Lau-Nielsen, E.
„Vernon - Centrum for skadesforebyggelse“
Brandvaern, Esbjerg 15(1989) 3
- /5/ Donoin, C.
„La formation en Midi-Pyrenees, une realisation d' ampleur regionale“
Le sapeur-pompier, Paris 98(1987)
- /6/ Thomson, I. V.
„Bade civilforsvarsskole og brandskole“
Brandvaern, Esbjerg 12(1986) 10
- /7/ Fast, U.; Rekly, S.
„Ovelse pa Faerome“
Brandvaern, Birkerod 17(1991) 7
- /8/ ...
„En kommersiell övningsanläggning“
Brand & Raedning, Stockholm 3(1988) 8-9
- /9/ Sjöborg, M.
"Nya samarbetsformer för att klara 90-talet"
Brand & Raedning, Stockholm 5(1990) 2
- /10/ Liden, E.
„Här är räddningskåren bygdens stoltet !“
Brand & Raedning, Stockholm 4(1989) 6-7
- /11/ Lindgaard, A.; Moller, K. B.
„Skolen for livet“
Brandvaern, Birkerod 16(1990) 11
- /12/ ...
„Die Landes-Feuerwehrschule Kärnten“
Die Österreichische Feuerwehr 11/1984

- /13/ ...
Projekt "Schweizerische Feuerwehr-Ausbildungsstätte"
Schweizerische Feuerwehrzeitung 3/1992
- /14/ ...
„Vatrogasna skola“
Vatrogastvo guvremeno, Zagreb 34/1992
- /15/ ...
"Firetrainer T-2000" Krantz TKT
- /16/ ...
DIN 14097 „Feuerwehr-Übungshäuser“
- /17/ Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)
vom 27. Februar 1986
Carl Heymanns Verlag KG Köln; Berlin; Bonn; München
- /18/ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)
vom 14. Mai 1990
- /19/ Dolle, H.-E.
„Feuerwehrübungen und Umweltschutz“
VB 1/89, vfdB-Zeitung 1/89, S. 19 - 29
- /20/ Baum, F.
Luftreinhaltung in der Praxis
Oldenbourg Verlag
- /21/ Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (WHG)
vom 23. September 1986
- /22/ Rempe, A.; Rodewald, G.
Brandlehre
Kohlhammer Deutscher Gemeindeverlag 1988
- /23/ Drysdale
An Introduction to Fire Dynamics
John Wiley and Sons 1985
- /24/ Roth, L.; Weller; U.
Chemie-Brände
ecommed Verlagsgesellschaft mbH 1990
- /25/ Neue Datenblätter für gefährliche Arbeitsstoffe nach der Gefahrstoffverordnung
WEKA Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH
- /26/ Schaffner, H.; Hungerbühler, E.
„Brennstoff Hexan“
Brandschutz / Deutsche Feuerwehrzeitung 9/1992

- /27/ VDI - Wärmeatlas
6. erweiterte Auflage
VDI Verlag
- /28/ Bussenius
„Abschätzung der Schadensfolgen von Bränden, Explosionen und Detonationen“
-persönliche Mitteilung-
- /29/ Kaufhold, F.; Rempe, A.
Feuerlöschmittel
Verlag W. Kohlhammer Stuttgart Deutscher Gemeindeverlag 1976
- /30/ Rietz, G.
Chemie der Brandstoffe und Löschmittel
- /31/ Schreiber, H. M.; Porst, P.
Löschmittel
Staatsverlag der DDR
- /32/ Steinbach, K.
Empfehlungen zum Umgang mit dem Löschmittel Pulver bei Übungen und/oder Erprobungen (unveröffentlicht)
- /33/ ...
Prospekt über „The Fire Service College“
Moreton in marsh England
- /34/ Roberts, J.
Störska och bästo övningsfältet in vällen
(Größtes und bestes Übungsfeld der Welt)
Brand & Raedning, Stockholm 7(1992)10, S. 36 - 38
- /35/ Robinson, D.
Learning the aviation fire-fighters art: A visit to the CAAS training school
Fire Redhill (1987)983, S. 49 - 50
- /36/ ...
Fire Fighting training unit for Navy
Fire International; Redhill 15(1991)128, S. 49
- /37/ MAS
Lentrainement physique du sapeur-pompier-surveillance medical de
cet entrainement
(Das körperliche Training der Feuerwehrleute und seine ärztliche Überwachung)
Sapeur Pompier; Paris 97(1986)775, S. 327 - 329
- /38/ Steinbach, K.
Besuch der „civil forsvarsskole og brandskole“ in Tinglev
Oktober 1994

- /39/ Mortensen, O.
 Nordjusk brand- og redningssole i Frederikshavn
 (Nordjütländische Feuerwehr- und Rettungsschule in Frederikshavn)
 Brandvaern - Birkerød 16(1990)8, S. 4-6
- /40/ Mangs, J.; Kruse H.
 Fire-fighter trainig in a room fire
 Fire Intern, Redhill 16(1991)132, S. 32
- /41/ Studeler, G.
 Persönliche Mitteilung des Leiters der Landesfeuerweherschule
 Steiermark, Österreich
 Schreiben vom 06.12.1994
- /42/ Anderson, N.
 International fire training school ready for opening
 Fire Intern., Redhill 11(1987)106, S. 52 - 53
- /43/ ...
 Fulf utbildning pa model havsö
 (Harte Ausbildung im Mittelmeer)
 Brand & Raedning - Stockholm 3(1988)12, S. 38 - 39
- /44/ Popov, A.
 Za po-visoko kacestvo v podgotovkata za gasene
 (Für eine höhere Qualität in der Vorbereitung auf die Brandbekämpfung)
 Ogne borec, Sofia 40(1985)3, S. 16
- /45/ Kutvoelgyi, M.
 Repueloe a gyakorlapalyan
 (Das Flugzeug auf dem Übungsplatz)
 Tüzvedelem - Budapest 39(1988)7, S. 12 - 13
- /46/ ...
 Live fire evolutions in structures
 Quincy (1986) 14 Seiten
- /47/ Speckmann
 Persönliche Informationen anlässlich der Dienstreise im Oktober 1994
- /48/ Röntgen
 Persönliche Mitteilung im Rahmen einer fernmündlichen Anfrage
 Mai 1995
- /49/ Schreiben des BMU (Prof. Töpfer) vom 27.09.93 an den Präsidenten des DFV
 (Herm Struve)

- /50/ **Dombrowski**
Entwurf Bedarfsprogramm für den Neubau einer Brandhalle der Landesfeuerwehr-
schule Berlin - Berliner Feuerwehr
vom 31.10.1994
- /51/ ...
Persönliche Mitteilungen von Mitarbeitern der Technischen Marineschule und des
Landesbauamtes des Landes Schleswig-Holstein im Rahmen einer Dienstreise
am 25.10.1994
- /52/ **Kurt; Schröder**
Ideenpapier für ein neues Feuerwehrübungshaus - LFS Baden-Württemberg
Bruchsal, November 1993
- /53/ ...
Firma Krantz-TKT
Dienstreise Okt. 1994
- /54/ ...
Entwurf DIN 14097 - Teil 2
Feuerwehr-Übungshäuser - Gasbefeuerte Darstellungsgeräte
FNFW-9 Nr. 07-95

1. Brandstoffe, die derzeit bei Übungsbränden eingesetzt werden

1.1. Feststoff Holz

Für die Simulierung von Feststoffbränden wird u. a. Holz eingesetzt.

Lufttrockenes,unbehandeltes Holz hat nachfolgende elementare Zusammensetzung:

- 49 - 50 % Kohlenstoff
- 43 - 45 % Sauerstoff
- ca. 6 % Wasserstoff
- geringe Mengen von Stickstoff, Kalium, Calcium, Phosphor, Natrium, Magnesium, Schwefel und andere Elemente.

Die Anteile der chemischen Hauptkomponenten von Holz belaufen sich in Abhängigkeit von der Art des Holzes auf

- 40 - 60 % Zellulose
- 20 - 25 % Hemizellulose
- 20 - 30 % Lignin
- 2 - 7 % Mineralstoffe, Eiweiße, Öle, Kohlenhydrate und anderes.

Holz besitzt die folgenden stofflichen Eigenschaften, wobei diese Angaben jedoch entsprechend der Holzart schwanken können. /22/

- Dichte: 510 kg/m³ (Kiefer) bis 700 kg/m³ (Eiche)
- Zündtemperatur: 240 - 270 °C
- Verbrennungstemperatur: ca. 1000 °C
- Selbstentzündungstemperatur: 350 - 400 °C
- Heizwert: ca. 20 MJ/kg.

Die Verbrennung von Holz ist sowohl durch den Flammenbrand als auch durch die Glutbildung charakterisiert, d. h. der Abbrand von Holz verläuft als komplexer Vorgang von homogener und heterogener Verbrennung ab.

Das Rauchgas enthält infolge der unvollkommenen Verbrennung Zwischenprodukte (wie z. B. CO, Wasserstoff, Essigsäure, Aerolein) und typische Endprodukte (wie z. B. CO₂, H₂O). Aufgrund der beim Brand herrschenden thermischen Verhältnisse werden diese Reaktionsprodukte soweit erhitzt, daß sie im Rauchgasstrom mitgeführt werden und als Emissionsprodukte in die Umgebung (Flammentemperatur ca. 1000 °C) gelangen.

Vergleich zu z. B. Kunststoffen, wie PS, PE, Polyacrylate und Kautschuk, ist zwar mit weniger Ruß zu rechnen, doch ist unter Bezug auf vorgenannte Stoffe der unvollkommenen Verbrennung keinesfalls von ihrer Unbekannlichkeit auszugehen. Bezogen auf das Spektrum der Produkte der unvollkommenen Verbrennung von Kunststoffen insbesondere solchen mit Heteroanteilen ist bei natürlichen zellulosehaltigen Stoffen, wie Holz, Stroh und Heu mit geringen Belastungen zu rechnen.

Während des Verbrennungsprozesses von porösem Holz entstehen neben Ruß intermediär ca. 15 - 25 % Kohlenstoff, wobei dieser hauptsächlich aus dem Bestandteil Lignin gebildet wird. /23/ Dieser Kohlenstoff bildet den Ausgangspunkt für den charakteristischen Glutbrand.

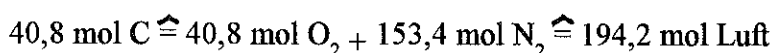
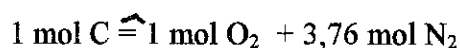
Beispielrechnung für die vollständige und vollkommene Verbrennung von 100 kg Holz bei 20 °C und 97,3 KPa:

Stoffwerte:

- 49 % Kohlenstoff
- 43 % Sauerstoff
- 6 % Wasserstoff
- 2 % Stickstoff (angenommen)

zur Verbrennung notwendige Luftmenge bezogen auf 1 kg Holz:

- 490 g C → 40,8 mol C
- 60 g H → 60 mol H → 30 mol H₂
- 440 g O → 27,5 mol O → 13,75 mol O₂
- 10 g N → 0,7 mol N → 0,035 mol N₂



$1 \text{ mol H}_2 \hat{=} 0,5 \text{ mol O}_2 + 1,88 \text{ mol N}_2$

$30 \text{ mol H}_2 \hat{=} 15 \text{ mol O}_2 + 56,4 \text{ mol N}_2 \hat{=} 71,4 \text{ mol Luft}$

Summe der benötigten Luft zur Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff: 265,6 mol
molares Volumen: 25,03 m³

Luftverbrauch bei Normbedingungen: 251,9 m³

Luftverbrauch bei 20 °C und 97,1 kPa: 6,3 m³

Für die Verbrennung von 1 kg Holz werden 6,3 m³ Luft verbraucht, d. h. 100 kg Holz benötigen 630 m³ Luft zur vollständigen Verbrennung.

1.2 Gasförmige und flüssige Brandstoffe - allgemein

Aus Umweltgesichtspunkten sind solche Stoffe, wie z. B. Methan, Propan und Hexan recht gut für Übungsbrände geeignet.

Bei den aliphatischen Kohlenwasserstoffen (Alkane) erhöht sich mit zunehmender Kettenlänge die Siede- und Schmelztemperatur. So sind Alkane mit bis zu vier Kohlenstoffatomen gasförmig und mit bis zu 16 Kohlenstoffatomen flüssig und Alkane mit mehr als 17 Kohlenwasseratomen sind schmelzbare Feststoffe (Paraffine).

Bei der vollkommenen Verbrennung der Alkane entstehen nur die Endprodukte Kohlendioxid und Wasser (dampfförmig). Steht für die Verbrennung nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung, kommt es zur Bildung von Kohlenmonoxid und anderen Zwischenprodukten mit unterschiedlichem Kohlenstoffgehalt einschließlich Ruß. Diese Rußpartikel sind für das Leuchten der Flamme verantwortlich, da sie auf Grund der hohen Temperaturen in der Flamme erhitzt werden. Die aufgenommene Energie wird wieder abgegeben, wobei dies teilweise in Form von Wärmestrahlung geschieht. Diese Energie wird in Bereichen typischer Festkörperstrahlung emittiert, wobei der Gesamtanteil gemessen an der Gesamtwärmestrahlung (Gasstrahlung - selektive H₂O bzw. CO₂-Strahlung) nur wenige % ausmacht. Die aufgeheizten Kohlenstoffteilchen besitzen Strahlungseigenschaften ähnlich des schwarzen Körpers, das heißt, je höher die Rußtemperatur desto intensiver ist die Strahlung.

Am stärksten sind die mittleren Wellenlängen an der Strahlung beteiligt./22/ Steigt die Temperatur weiter an, verlagert sich die Strahlungsintensität hin zu den kleineren Wellenlängen. Im übrigen gilt dieser Sachverhalt auch für den Holzbrand, wenngleich die Wärmestrahlungsleistung eines Holzfeuers etwas geringer ist.

Bei der Verbrennung in Luft verläuft die Verbrennung immer dann unvollkommen, je stärker sich das Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff (C/H) in Richtung C verschiebt. Inwieweit Molekülaufbau (Kettenlänge, Bindungsverhältnisse, Verzweigung u. a.) und Wärme, Stoff- und Impulsaustauschvorgänge von Bedeutung sind, soll hier nicht näher untersucht werden, zumal diese Prozesse in turbulente Diffusionsflammen (chaotische Strukturen) nicht im Rahmen dieser Betrachtungen geklärt werden können.

1.2.1 Gase - Methan und Propan

Gasbrände können durch die unterschiedlichsten Ursachen entstehen. So kann z. B. aus einem verunfallten, leck geschlagenen Tanklastwagen Gas entweichen, das durch vorhandene bzw. entstehende Zündquellen mit hohem Energieinhalt gezündet werden kann. Ebenso können durch das Bersten einer Rohrleitung oder das Abreißen eines Flansches oder Füllstutzens Gase entweichen, die sich entzünden können.

Natürlich ist es nicht möglich, in einem Feuerwehr-Übungshaus auf Grund der vorhandenen räumlichen Gegebenheiten, alle Szenarien zu simulieren. Sinnvoll scheint die Simulation eines defekten Flansches.

Für die Simulation von Gasbränden können sowohl Methan (CH_4) als auch Propan (C_3H_8) verwendet werden.

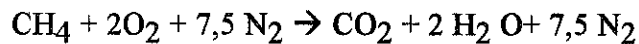
Die Verbrennung von Methan und Propan verläuft als homogene Verbrennung, wobei häufig ein Radikalkettenmechanismus angenommen wird. /24/

Durch die Reaktion der intermediär entstehenden Atome, Molekülbruchstücke und Radikale werden verschiedene Produkte, wie z. B. Ethan, Formaldehyd, Wasserstoff, verschiedene

Alkane, Alkene u.a. gebildet, die dann bei der weiteren Verbrennung zu Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasser umgesetzt werden.

Bei Methan wird auf Grund des deutlich größeren Elementenverhältnisses zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff, nämlich 1: 4, keine leuchtende Flamme beobachtet.

Verbrennungsgleichung bei vollständiger Verbrennung von Methan:



Einige chemisch-physikalische Werte von Methan (CH₄) /25/:

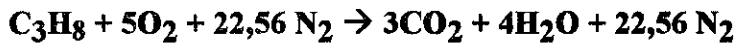
- Molmasse: 16g
- Schmelztemperatur: -182,47 °C
- Siedetemperatur: -61,52 °C
- kritische Temperatur: -82,60 °C
- Flammpunkt: ca.-88 °C
- Zündtemperatur: 595 °C
- Heizwert: 49,222 MJ/kg
- untere Explosionsgrenze: 4,4 Vol- %
- relative Dampfdichte: 0,5548
- obere Explosionsgrenze: 15,0 Vol-%
- Dichte der Gasphase: 0,7174 g/l
- Dichte der flüssigen Phase am Siedepunkt: 0,4225 g/ml
- Mindestzündenergie: 9,51 mJ

Methan ist ein farbloses, geruchs- und geschmackloses Gas und findet als Rohstoff für die großtechnische Synthese Anwendung.

Bei der Verbrennung von 1 kmol Methan entstehen 10,5 kmol Brandgase, die 9,52 Vol % Kohlendioxid, 19,05 Vol % Wasser und 71,43 Vol % Stickstoff enthalten.

Propan verbrennt mit schwach gelblich leuchtender Flamme und nur unter sehr geringer Rußentwicklung, wobei diese bei der Verbrennung über Brennersystem (Vorvermischung mit Luft im Überschuß) praktisch nicht mehr auftritt.

Verbrennungsgleichung bei vollständiger Verbrennung von Propan:



Einige chemisch-physikalische Werte von Propan (C_3H_8) /25/:

- Molmasse: 44 g
- Schmelztemperatur: - 187,7 °C
- Siedetemperatur: 42,1 °C
- kritische Temperatur: 96,8 °C
- Flammpunkt: -104 °C
- Zündtemperatur: 470 °C
- Heizwert: 46,305 MJ/kg
- untere Explosionsgrenze: 1,7 Vol-%
- relative Dampfdichte: 1,554
- obere Explosionsgrenze: 9,5 Vol-%
- Dichte der Gasphase: 2,0096 g/l
- Dichte der flüssigen Phase am Siedepunkt: 0,581 g/ml
- Mindestzündenergie: 0,25 mJ

Propan ist ein farbloses Gas mit leicht süßlich-herbem Geruch und findet als Brenngas für mobile Heizungen und Feuerstätten Anwendung.

Im Vergleich des errechneten Luftbedarfs und der Menge der entstehenden Verbrennungsprodukte unterscheidet sich Methan nur sehr unwesentlich von Propan. Sowohl bei Methan als auch bei Propan entstehen ca. 10 Vol-% Kohlendioxid und ca. 19 Vol-% Wasser, darüber hinaus fallen ca. 76 Vol-% Stickstoff bei der vollkommenen Verbrennung an.

Aus der Sicht des Umweltschutzes dürfte die Verwendung von Methan und Propan als Brennstoff zur Simulation von Gasbränden tolerierbar sein. Die Entscheidung, ob Methan oder Propan als Brennstoff verwendet werden können, ist im wesentlichen von: sicherheitstechnischen Aspekten, wie z. B. Explosionsbereich, Zündtemperatur und sich daraus ergebenden Maßnahmen zum sicheren Umgang und zur sicheren Lagerung abhängig.

1.2.2 Flüssigkeiten - Hexan und Ethanol

Ebenso wie bei den Gasbränden kann es verschiedene Ursachen für die Entstehung eines Flüssigkeitsbrandes geben. So können z. B. durch Rohrleitungsrisse, Lecks in Tankanlagen oder durch Schlauchrisse beim Umfüllen von brennbaren Flüssigkeiten Mengen freigesetzt werden. Das sich einstellende Dampf/Luftgemisch (Zündgrenzen) kann sich z. B. durch Funken, Energieinhalt, Temperatur (Verweilzeit), durch offene Flammen u. a. entzünden. Wie auch bei der Simulation von Gasbränden können in einer Übungsanlage nicht alle Gefahrensituationen nachgestellt werden. Eine Variante, einen Flüssigkeitsbrand zu simulieren, wäre die Nachbildung eines Lachenbrandes. Hinsichtlich einer anzunehmenden Dimension einer ausgetretenen Menge ist von nachfolgendem Rechenansatz ausgegangen worden /27,28/:

Gegebene Werte: $A_R = 60 \text{ mm}^2$ ($A_R < 70 \text{ mm}^2$)

$\Delta p = 1$: 103 kPa (da drucklose Umfüllung)

$\rho = 0,66 \text{ g/ml}$ $\mu = 0,2$

$$m_s = A_R * \mu * \sqrt{2 * \rho * p}$$

$m_s = 0,436 \text{ kg/s}$

Es treten 0,436 kg/s Hexan aus.

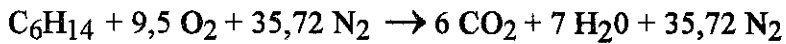
Hexan ist eine mit Wasser nicht mischbare, benzinähnliche Flüssigkeit mit einer Dichte von 0,66 g/ml und einem Siedepunkt bei Normaldruck von 69 °C. Der untere Heizwert von Hexan liegt bei 9.929 kcal/kg und stimmt damit sehr gut mit demjenigen von Benzin (9.810 - 10.524 kcal/kg) überein. /26/

Für die Durchführung von Übungsbränden mit brennbaren Flüssigkeiten erscheint Hexan gut geeignet, weil durch seinen chemischen Aufbau u. a. bei der Verbrennung mit weniger umweltschädigenden Zwischenprodukten zu rechnen ist, als z. B. bei der Verbrennung des Stoffgemisches Benzin (technische Zubereitung).

Bei Hexan (Alkane) wird hinsichtlich des Verbrennungsprozesses ebenfalls von einem Radikalkettenmechanismus ausgegangen.

Hexan verbrennt unter Normalbedingungen mit einer leuchtenden, leicht rußenden Flamme.

Verbrennungsgleichung bei vollkommener Verbrennung von Hexan:



Einige chemisch-physikalische Werte von Hexan (C_6H_{14}) /25/:

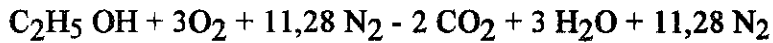
- Molmasse: 86 g
- Schmelztemperatur: $-95,3 \text{ }^\circ\text{C}$
- Siedetemperatur: $68,8 \text{ }^\circ\text{C}$
- Flammpunkt: $-26 \text{ }^\circ\text{C}$
- Heizwert: 46,305 MJ/kg
- Zündtemperatur: $240 \text{ }^\circ\text{C}$
- relative Dampfdichte: 2,98
- untere Explosionsgrenze: 1,1 Vol-%
- Dichte bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$: 0,66 g/ml
- obere Explosionsgrenze: 7,4 Vol-%
- Mindestzündenergie: 2,16 mJ

Hexan ist eine farblose, schwach riechende Flüssigkeit und findet zur Öl- und Fettextraktion und als Klebstoffverdünner Verwendung. Der Luftbedarf für die vollkommene Verbrennung von 1 kg Hexan beträgt $13,16 \text{ m}^3$.

Bei der Verbrennung von 1 kmol Hexan entstehen 48,72 kmol Brandgase, die 12,32 Vol-% Kohlendioxid 14,37 Vol-% Wasser und 72,31 Vol-% Stickstoff enthalten.

Ebenso wie Hexan bietet sich auch Ethanol zur Simulierung eines Flüssigkeitsbrandes an. Ethanol gehört zu der Stoffgruppe der Alkohole (VbF - B, mit Wasser mischbar) und zeichnet sich durch das Vorhandensein einer funktionellen Gruppe, der Hydroxylgruppe, aus. Da Ethanol vollkommen verbrennt, entstehen die Endprodukte Kohlendioxid und Wasser (dampfförmig).

Verbrennungsgleichung bei vollkommener Verbrennung von Ethanol:



Einige chemisch-physikalische Werte von Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) /25/:

- Molmasse: 46 g
- Schmelztemperatur: $-114\text{ }^\circ\text{C}$
- Siedetemperatur: $78,4\text{ }^\circ\text{C}$
- Flammpunkt: $12\text{ }^\circ\text{C}$
- Heizwert: 26,9 MJ/kg
- Zündtemperatur: $425\text{ }^\circ\text{C}$
- relative Dampfdichte: 1,6
- untere Explosionsgrenze: 35 Vol-%
- Dichte bei $20\text{ }^\circ\text{C}$: 0,789 g/ml
- obere Explosionsgrenze: 15Vol-%
- Mindestzündenergie: 0,14 mJ

Ethanol ist eine farblose, brennbare Flüssigkeit, die hauptsächlich als Lösemittel für bestimmte Fette, Öle und Harze, Duftstoffe, Kosmetika, als Ausgangsmaterial für Synthesen und für alkoholische Getränke Verwendung findet.

Für die Verbrennung von 100 kg Ethanol werden $777,02\text{ m}^3$ Luft benötigt.

Bei der Verbrennung von 1 kmol Ethanol entstehen 16,28 kmol Brandgase, die 12,29 Vol-% Kohlendioxid, 18,43 Vol-% Wasser und 69,28 Vol-% Stickstoff enthalten.

In Ergänzung dieser Sachverhalte werden weitere Berechnungsbeispiele für mögliche Brandstoffe vorgestellt. Gleichzeitig werden Größenordnungen zur Wärmeleistung der Übungsbrände und zu Flammenhöhen abgeschätzt.

1) Berechnung der Verbrennungsluftvolumina, der Gesamtrauchgasvolumina, der Rußanteile und einzelner Flammenparameter von Modellbränden bei den Stoffen Holz, PE, PUR, PS, Benzin (C8-C10), Methanol

- **Rauchgasberechnung nach Demidov (Verbrennung und Eigenschaften brennbarer Stoffe; Staatsverlag der DDR, Berlin 1980):**

Volumen der Verbrennungsprodukte:

$$\text{Wasserdampf } V_{\text{H}_2\text{O}} = 11,2' \text{ H} + 1,24 \text{ W}'$$

$$\text{Kohlendioxid } V_{\text{CO}_2} = 1,86 \text{ C}'$$

$$\text{Schwefeldioxid } V_{\text{SO}_2} = 0,7 \text{ S}'$$

$$\text{Stickstoff } V_{\text{N}_2} = 7 \text{ C}' + 21 (\text{H}' - \text{O}'/8) + 2,63 \text{ S}' + 0,8 \text{ N}'$$

(Symbol' = Molmasse; V_{Symbol} = Volumen der einzelnen Verbrennungsprodukte)

Gesamtvolumen der Verbrennungsprodukte beträgt pro kg Stoffe bei $\alpha_{\text{Luft}} = 1$:

$$V_{\text{Prod}} = V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} = 32,2 \text{ H}' + 8,86 \text{ C}' + 3,33 \text{ S}' + 0,8 \text{ N}' + 1,24 \text{ W}' - 2,63 \text{ O}'$$

bei Luftüberschuß --> Luftvolumen bei 273,15 K und 101 325 Pa

$$V_{\text{Luft}} = (\alpha_{\text{Luft}} - 1) V_{\text{Luft}}$$

Gesamtvolumen Stickstoff pro kg Stoff in den Verbrennungsprodukten:

$$V_{\text{N}}^{\circ} = V_{\text{N}_2} + 0,79 (\alpha_{\text{Luft}} - 1) V_{\text{Luft}}^{\circ}$$

für Sauerstoff:

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 (\alpha_{\text{Luft}} - 1) V_{\text{Luft}}$$

- 1) Holz mit C = 40 Mass.-%; H = 5 Mass.-%; O = 40,5 Mass.-%; N = 1,5 Mass.-%;
W = 8 Mass.-%; A = 5 Mass.-%

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 11,2 \text{ H}' + 1,24 \text{ W}' = 11,2 * 0,05 + 1,24 * 0,08 = 0,65 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$V_{\text{N}_2} = 7 \text{ C}' + 21 (\text{H}' - \text{O}'/8) + 0,8 \text{ N}' = 7,0 * 0,4 + 21 (0,05 - 0,405/8) + 0,8 * 0,015$$

$$V_{\text{N}_2} = 2,686 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,86 \text{ C}' = 1,86 * 0,4$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,744 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$V_{\text{Prod}} = V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}$$

$$= 4,08 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

Abgaszusammenfassung:

65,83 % N₂

18,13 % CO₂

16,0 % H₂O

2) Polyethylen - PE mit 85,7 % C und 14,3 % H

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1,60 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$13,1 \% \text{ H}_2\text{O}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,594 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$13,06 \% \text{ CO}_2$$

$$V_{\text{N}_2} = 9 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$73,77 \% \text{ N}_2$$

$$V_{\text{Prod}} = 12,2 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

3) Polystyren - PS mit 7,7 % H und 92,3 % C

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,8624 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$8,09 \% \text{ H}_2\text{O}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,717 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$16,10 \% \text{ CO}_2$$

$$V_{\text{N}_2} = 8,08 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$75,8 \% \text{ N}_2$$

$$V_{\text{Prod}} = 10,66 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

4) Benzin (Dekan) mit 83,33 % C und 16,66 % H

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1,86 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$16,01 \% \text{ H}_2\text{O}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,35 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$13,79 \% \text{ CO}_2$$

$$V_{\text{N}_2} = 7,83 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$69,66 \% \text{ N}_2$$

$$V_{\text{Prod}} = 11,24 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

5) Methanol mit 37,5 % C; 50 % O und 12,5 % H

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1,4 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$23,31 \% \text{ H}_2\text{O}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,7 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$11,6 \% \text{ CO}_2$$

$$V_{\text{N}_2} = 3,9375 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$65,21 \% \text{ N}_2$$

$$V_{\text{Prod}} = 6,0375 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

6) PUR (Polyether)-Schaumstoff mit 60,6 % C; 9,4 % H; 28,11 % O und 2,05 % N

$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1,053 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$	13,72 % H_2O
$V_{\text{N}_2} = 5,494 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$	71,6 % N_2
$V_{\text{CO}_2} = 1,127 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$	14,68 % CO_2
$V_{\text{Prod}} = 7,674 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$	

2. Betrachtung der Relation der Versuchsbrände unter Berücksichtigung der konkreten Massenabbrandgeschwindigkeiten und zugrunde gelegter Brandflächen

Massenabbrandgeschwindigkeiten [V_{ab}] bezogen auf 1 m^2 projizierte Brandfläche und pro Zeiteinheit [$\text{kg} * \text{m}^{-2} * \text{min}^{-1}$]

- 1) Holz = 0,5 x
- 2) PE = 1,03 x
- 3) PS = 1,35 x
- 4) Benzin = 3,6 xx
- 5) Methanol = 1,0 xx
- 6) PUR-WS = 1,6 x

x) experimentell bestimmt;

xx) berechnet - korreliert mit exp. Ergebnissen

Entsprechend der Voraussetzung, daß die vorgenannten Brandstoffe bis auf Holz schmelzen bzw. als Flüssigkeit vorliegen, sind die vorgenannten Abbrandgeschwindigkeiten mit dem sich aus der realen Versuchsbrandfläche ergebenden Flächenfaktor zu multiplizieren.

Die Versuchsbrandflächen können sich in den Relationen von $1 \dots 10 \text{ m}^2$ bewegen. Eine Konstanz der Massenabbrandgeschwindigkeit für diesen Bereich kann angenommen werden. Für Holz ist eine Anpassung unter Berücksichtigung der inneren Oberfläche (real brennende Fläche) vorzunehmen, die je nach Zerteilungsgrad im Bereich 1,5 - 6 der projizierten Fläche liegen kann.

• **Berechnung der Flammenlänge**

Es kann der Rechenansatz nach Thomas (siehe auch /23/)

$$H/d = 42 (v_a \rho_f / \rho_u \text{ gd}^{-2})^{0,61}$$

als hinreichend genau angenommen werden, wobei hierbei bedeuten:

H = Flammenlänge - [m]

d = Flammendurchmesser - [m]

v_a = lin. Abbrandgeschwindigkeit - [$m \cdot s^{-1}$]

(läßt sich unter Einbeziehung der Dichte aus der Massenabbrandgeschwindigkeit berechnen)

ρ_f = Dichte der Flammenzone - [$kg \cdot m^{-3}$]

(zu berechnen aus Abgaszusammensetzung und ideal. Gasgesetz)

ρ_u = Dichte der Umgebungszone - [$kg \cdot m^{-3}$]

g = Erdbeschleunigung - [$m \cdot s^{-2}$]

Es kann auch der vereinfachte Ansatz verwendet werden:

$$H = 1,5 \cdot d$$

- Einfluß der Windes - Flammenneigung

$$\cos \theta = 1 \text{ bei } U_w < U_1$$

$$\text{bzw. } (U_1 / U_w)^{1/2} \text{ für } U_w > U_1$$

$$\text{wobei } U_1 = [(\rho_f / \rho_g) v_a \cdot g \cdot d]^{1/3}$$

Symbolinhalte wie vorgenannt

ρ_g - Dichte der Brandstoffdämpfe - [$kg \cdot m^{-3}$]

$\cos \theta$ - Neigung der Flammensäule

Für die Dichteparameter sind nachfolgende Vereinfachungen zulässig

ρ_f - Dichte der Flammenzone - Rauchgas in durchschnittlicher Zusammensetzung bei ca. 1 000 - 1 200 K

ρ_u - Dichte der Umgebungszone - normale Luft bei ca. 293 K

ρ_g - Dichte der Brennstoffdämpfe - monomere bzw. Ausgangskomponente bei Pyrolyse bzw. bei Verdampfungstemperatur

Für Kohlenwasserstoffbrände werden z. B. folgende Größenordnungen für Aufstiegsgeschwindigkeiten angegeben:

$$\text{Aufstiegsgeschwindigkeit des Brennstoffes} = 1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Aufstiegsgeschwindigkeit der heißen Flammengase} = 100 \dots 1\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Berücksichtigung des Luftüberschußkoeffizienten

$$\alpha_{\text{Luft}} = V_{\text{TLuft}}/V_{\text{Luft}} \quad \text{auch als } \lambda = L_t/L_{t,\text{min}}$$

Bei allen Versuchsbränden kann in der Regel von α_{Luft} bzw. $\lambda = 4 \dots 5$ ausgegangen werden.

Verbrennung im Luftüberschuß:

$$\Delta V_{\text{Luft}} (\alpha_{\text{Luft}} - 1) V_{\text{Luft}}^{\circ} \quad \alpha_{\text{Luft}} = 5$$

Gesamtvolumen der Verbrennungsprodukte pro kg Stoff:

$$V_{\text{Prod}} = V_{\text{Prod}}^{\circ} + \Delta V_{\text{Luft}}$$

Folgende Parameter wurden ermittelt:

	V_{N_2}	$V_{\text{Luft}}^{\circ} [\text{m}^3 * \text{kg}^{-1}]$ errechnet nach $V_{\text{Luft}}^{\circ} = 0,269(C/3+H+S/8-O/8)$
Holz	2,686	4,567
PE	9,00	11,52
PS	8,08	10,34
Benzin	7,83	11,95
Methanol	3,9375	6,27
PUR	5,494	7,66

	$\Delta V_{\text{Luft}} = (5-1) * V_{\text{Luft}}^{\circ}$	V_{Prod}°	$V_{\text{Prod}} [\text{m}^3 * \text{kg}^{-1}]$
Holz	18,27	4,08	22,35
PE	46,08	12,2	58,28
PS	41,36	10,66	52,02
Benzin	47,80	11,24	59,04
Methanol	25,08	6,0337	31,137
PUR	30,64	7,674	38,31

Beispiel Polystyren:

Rauchgasvolumen bei einer Brandfläche von 1 m^2

$$10,66 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1} * 1,35 \text{ kg} * \text{min}^{-1} * \text{m}^2 * 1 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{Abgas}} = 14,39 \text{ m}^3 * \text{min}^{-1}$$

Bei 5-fachem Luftüberschuß:

$$\begin{aligned} V_{\text{Prod}} & * V_a * F_{\text{Brd}} \\ 52,02 & * 1,35 * 1 \\ V_{\text{Abgas}} & = 70,227 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

Bei einer Brandfläche von 4 m²:

$$281 \text{ m}^3 * \text{min}^{-1}$$

Bei einer Stunde Branddauer:

$$16\,854,5 \text{ m}^3$$

Betrachtungen zur Gasdichte:

$$V_{\text{Prod}} = 52,02 \text{ m}^3 * \text{kg}^{-1}$$

$$\% \text{ CO}_2 = 1,717/52,02 = 3,3 \% \text{ CO}_2$$

$$\% \text{ H}_2\text{O} = 0,8624/52,02 = 1,66 \% \text{ H}_2\text{O}$$

im Abgas

Es erscheint somit legitim, das Abgas wie heiße Luft zu betrachten; zumal Schwankungen um den Betrag für PS entsprechend der stofflichen Zusammensetzung zu erwarten sind. Nach VDI-Wärmeatlas ergeben sich folgende Gasdichten für heiße Luft bei 1 bar:

	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
[kg*m ⁻³]	0,4502	0,3986	0,3567	0,3243	0,2967

sowie für reines CO₂ bei 1 bar

	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
[kg*m ⁻³]	0,6846	0,6061	0,5438	0,4931	0,4511

Eine exakte Einschätzung der Feststoffanteile (Ruß, Asche) im Rauchgas kann nicht vorgenommen werden, doch ist neben dem fast vollständigen Fehlen von Asche (reine Stoffe im Einsatz) bei Ruß ein Masseanteil von 2 ... 5 % bezogen auf den Kohlenstoffanteil im Brennstoff anzunehmen.

1 Löschmittel und ihre Eigenschaften

Als Löschmittel bezeichnet man Stoffe, die geeignet sind, durch bestimmte Löschwirkungen (Löscheffekte) die Verbrennung zu unterbinden. /29/

Die Einteilung der Löschmittel kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen. Ein Aspekt ist z. B. die Unterscheidung in Naß- und Trockenlöschmittel, ein anderer ist die Unterscheidung nach dem Aggregatzustand des Löschmittels. Bei der Unterscheidung nach der Löschwirkung differenziert man folgende Hauptlöscheffekte /30/:

- vorwiegend *kühlend* wirkende Löschmittel (z. B. Wasser)
- vorwiegend *erstickend* wirkende Löschmittel (z. B. Kohlendioxid)
- vorwiegend *isolierend* wirkende Löschmittel (z. B. Schäume)
- vorwiegend *antikatalytisch* wirkende Löschmittel (z. B. Pulver)

1.1 Wasser

Wasser ist das scheinbar billigste Löschmittel, da es in großen Mengen (71 % der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt) vorhanden ist, und im allgemeinen immer zur Verfügung steht, vorausgesetzt, dieser Grundsatz wurde bei der Planung der Löschwasserentnahmemöglichkeiten richtig eingeschätzt.

Die hervorragende Löschwirkung des Wassers ist in erster Linie auf sein außerordentlich hohes Wärmebindungsvermögen zurückzuführen. /29/ Für die Erwärmung des Wassers auf seine Siedetemperatur wird eine Wärmemenge zwischen 334,9 und 376,8 kJ/kg benötigt. /30/ Brände von Stoffen der Klasse A können mit Wasser bekämpft werden. Obwohl Wasser das am meisten verwendete Löschmittel ist, kann es nicht uneingeschränkt eingesetzt werden. Prinzipiell ist es untersagt, Metallbrände und Brände von Stoffen, die mit Wasser im chemischen Sinne reagieren, mit Wasser zu löschen. Bei Metallbränden (insbesondere Natrium, Kalium und Magnesium) reagiert das Wasser mit den Stoffen unter Bildung von Wasserstoff (Knallgas).

Kommt Calciumcarbid mit Wasser in Verbindung, werden Calciumhydroxid und Acetylen gebildet.

Das freigewordene Acetylen kann in Verbindung mit dem Luftsauerstoff zu heftigen Explosionen führen. /28/

Wird Wasser auf den Brandstoff aufgebracht, wird eine große Menge der abgegebenen Wärme zur Verdampfung des Wassers verbraucht und somit eine Kühlung des Brandstoffes erreicht. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die Löschmittelverteilung - Tröpfchenausbildung.

Der Kühleffekt des Wassers bewirkt, daß die thermischen Reaktionsbedingungen des Brandes gestört werden und damit eine weitere thermochemische Aufbereitung des Brandstoffes verhindert wird. Bei Wasser ist neben dem Kühleffekt noch von weiteren Löscheffekten auszugehen, genannt sei der Stickeffekt des Wasserdampfes. Die Einsatzbreite des Wassers kann durch Zusätze, die die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Wassers verändern, erhöht werden. Durch die Verwendung von Netzmitteln wird die Oberflächenspannung herabgesetzt und somit die Netzfähigkeit erhöht. Netzwasser wird dort eingesetzt, wo eine Benetzung des Brandstoffes notwendig ist. Dies sollte bei folgenden Brennstoffen erfolgen:

- Kohlen-, Holz- und Gummistaub bzw. andere staubförmige Stoffe (hydrophober Charakter)
- Torf
- Rohbaumwolle
- wasserabweisend imprägnierte Textilien. /29/

Zusätze, wie z. B. Salze bewirken eine Erhöhung der Frostbeständigkeit und der Löschwirkung. /31/

Im Zusammenhang mit der Verwendung von Wasser und anderer wäßriger Löschmittel zur Brandbekämpfung, sind spezielle auf den Umweltschutz orientierte Maßnahmen zu treffen, um zu verhindern, daß durch im Löschwassers enthaltene umweltschädliche Brandstoffe und Brandfolgeprodukte eine Kontaminierung der Umwelt hervorgerufen wird. Hierzu sind die Vorschriften der Löschwasserrückhalterichtlinie /35/ zu beachten.

1.2. Schaum

Der Schaum gehört zur Gruppe der Sonderlöschmittel. Die Entwicklung von Sonderlöschmitteln wurde notwendig, weil z. B. Brände von brennbaren Flüssigkeiten mit Wasser nicht gelöscht werden können.

Der Löschschaum kann in Abhängigkeit von der Verschäumungszahl in drei Arten unterteilt werden:

- Schwerschaum Verschäumungszahl < 20
- Mittelschaum Verschäumungszahl 20 bis 200
- Leichtschaum Verschäumungszahl > 200 bis 1000

Die Verschäumungszahl gibt das Verhältnis zwischen dem erhaltenen Schaumvolumen und dem Volumen der eingesetzten Schaummittellösung an. Darüber hinaus gibt es zur Charakterisierung der Wirksamkeit von Schäumen weitere Kenngrößen wie Wasserhalbwertzeit, Fließfähigkeit, Abbrandwiderstand, Alkoholbeständigkeit u. a.

Man versteht unter Schaum eine innige, feine, gleichmäßige und beständige Verteilung von Gasen in einer Flüssigkeit, wobei die Gasblasen nur durch dünne Flüssigkeitsfilme voneinander getrennt sind. /30/ Schaum gehört zu den isolierend (oder erstickend) wirkenden Löschmitteln. Durch das vollständige Abdecken des Brandherdes mit Schaum kann der zur Verbrennung notwendige Sauerstoff nicht mehr an den Brandstoff gelangen und umgekehrt wird der Stofftransport (Pyrolysegase) in den „Reaktionsraum“, d. h. in die Flammenzone verhindert. Der Verbrennungsvorgang wird gehemmt und kommt schließlich zum Erliegen. Zu den Nebenlöscheffekten des Schaumes ist der Kühleffekt zu rechnen. Durch seine gute Hitzeabschirmung verhindert der Schaum die Ausbreitung des Brandes auf andere brennbare Stoffe. /31/

Unter Bezugnahme auf die schaumbildenden Ausgangsstoffe (grenzflächenaktive) unterscheidet man Proteinschaummittel und synthetische (Mehrbereichs-) Schaummittel. Die Proteinschaummittel und Fluor-Proteinschaummittel werden zur Erzeugung von Schwerschaum verwendet. Beide Schaummittel sind in die Wassergefährdungsklasse 2 „wassergefährdende Stoffe“ eingeordnet. Hervorzuheben ist ihre scheinbar geringe Toxizität gegenüber Bakterien und Fischen im Vergleich zu anderen Schaummitteln. Einer vom Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung durchgeführten Studie über die Umweltverträglichkeit von Schaummitteln ist zu entnehmen, daß die Mehrbereichs-schaummittel zur Erzeugung von Schwer-, Mittel- und Leichtschaum die Umwelt besonders beeinträchtigen. Diese Schaummittel müssen auf Grund ihrer schlechten biologischen

Abbaubarkeit in die Wassergefährdungsklasse 3 „stark wassergefährdende Stoffe“ eingeordnet werden. Besonders biologische Kläranlagen können durch Mehrbereichsschaummittel in ihrer Funktion gestört werden. Die wasserfilmbildenden Schaummittel zur Schwerschäumerzeugung enthalten fluorhaltige Tenside, die schwer abbaubar und fischtoxisch sind. Sie werden aber in die Wassergefährdungsklasse 2 eingeordnet, da zur Unterschreitung der Toxizitätsschwelle eine wesentlich geringere Verdünnung als bei den Mehrbereichsschaummitteln notwendig ist.

Hinsichtlich der bei Löschübungen anfallenden tensidhaltigen Rückstände und dem Gebot, diese nicht in die Abwasserkanalisation und/oder Oberflächengewässer gelangen zu lassen, ist zu berücksichtigen, daß das Wasser bei Einleitung in Abwassersysteme grundsätzlich die selben physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften wie bei der Entnahme aus Oberflächengewässern besitzen muß. Bei Schaumübungen mit einsatzüblichen Schaummitteln werden diese Forderungen nicht oder kaum erfüllt. Aus diesem Grund sind Übungen, bei denen mit Schaum als Löschmittel gearbeitet wird, genehmigungspflichtig. Beim Üben mit Schaummitteln muß die Oberfläche des Übungsplatzes flüssigkeitsdicht sein, damit das Schaummittel-Wasser-Gemisch nicht in den Boden und in das Grundwasser gelangen kann. Auch ein Abfließen in Oberflächengewässer muß ausgeschlossen sein.

Eine weitere prinzipielle Möglichkeit der Herabsetzung der Umweltbelastung ist die Verwendung spezieller Übungsschaummittel.

Für die Lagerung von Schaummitteln gelten die Vorschriften der Verordnung über das Lagern wassergefährdender Flüssigkeiten.

Als wichtigste Forderungen wären zu nennen:

1. Lagerbehälter müssen doppelwandig sein, oder es müssen einwandige Behälter in einem flüssigkeitsdichten Auffangraum stehen.
2. Undichtigkeit der Behälterwände müssen durch ein Leckanzeigegerät selbsttätig angezeigt werden, ausgenommen bei oberirdischen Behältern in einem Auffangraum.
3. Auffangräume müssen so bemessen sein, daß die dem Rauminhalt des Behälters, bei mehreren Behältern die des größten Behälters entsprechende Lagermenge zurückgehalten werden kann. Abläufe des Auffangraums sind nur bei oberirdischen Lagerbehältern zulässig; sie müssen durch Absperrventile gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Öffnen gesichert sein. /31/

1.3 Pulver

Ebenso wie Schaum gehört auch Pulver zu der Gruppe der Sonderlöschmittel.

Pulver kann bei Stoffen verschiedener Brandklassen eingesetzt werden. Deshalb kann es in folgende drei Gruppen eingeteilt werden:

- BC-Pulver
- ABC-Pulver
- Metallbrandpulver

Das BC-Pulver wird zum Löschen von Flammbränden von Gasen und Flüssigkeiten verwendet. Es wird auf der Basis von Natriumhydrogenkarbonat (NaHCO_3) hergestellt, wobei zur Verbesserung der wasserabweisenden Eigenschaften 1 - 3 % Magnesiumstearat und zur Verbesserung der Lager- und Förderfähigkeit 1 - 3 % verschiedene Stoffe zugesetzt werden. Durch den fehlenden Kühleffekt beim Löschen mit Pulver ist eine Rückzündung von flüssigen Brandstoffen an heißen Metallteilen oder anderen heißen Flächen sehr leicht möglich. Durch den kombinierten Einsatz von Pulver und Schaum kann dieser Nachteil weitestgehend beseitigt werden. BC-Pulver besitzen jedoch durch den Gehalt von Magnesiumstearat eine schaumzerstörende Wirkung. Aus diesem Grund wurde schaumverträgliches Löschpulver entwickelt.

Die ABC-Pulver (Ammonphosphat und/oder Ammonsulfat) unterscheiden sich von den BC-Pulvern vor allem dadurch, daß sie auch bei Bränden der Brandklasse A eingesetzt werden können. Deshalb sind ABC-Pulvere auch als Universallöschpulver zu verstehen. Für Metallbrände, z. B. Natrium und Kalium, dürfen ABC-Pulver *nicht* eingesetzt werden. /31/

Metallbrandpulver wurden entwickelt, weil Brände von Metallen, wie z.B. Natrium, Kalium, Lithium u. a., nicht mit „normalen Löschmitteln“ gelöscht werden können. Das Metallpulver geht teilweise mit dem brennenden Metall eine chemische Reaktion ein bzw. ergibt eine Salzschnmelze beim Bedecken des Brandherdes.

Beim Einsatz der Pulver als Löschmittel werden löschwirksame Substanzen in die Verbrennungszone eingebracht, die die Verbrennungsreaktion entscheidend hemmen. Dem Löschpulver werden im allgemeinen mehrere Löscheffekte zugeschrieben. So wird beschrieben, daß die Pulverteilchen den zur Abbruchreaktion notwendigen dritten „Reaktionspartner“ darstellen. Die Pulverteilchen nehmen die überschüssige Energie der freien

Radikale (Wandeffekt) auf, wodurch die Konzentration der „heißen“ Radikale unter einen kritischen Wert gesenkt wird.

Auf die Darstellung weiterer Effekte wird an dieser Stelle verzichtet.

Beim Umgang mit dem Löschmittel Pulver sind wie auch bei allen anderen Löschmitteln besondere Verhaltensregeln zu beachten. Werden Übungen mit Pulver durchgeführt, muß das BlmschG /18/ beachtet werden. Das WHG /21/ schreibt vor, daß Pulverübungen in Wasserschutzgebieten und Grundwassereinzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen unterbleiben müssen.

Zu weiteren Sachverhalten wird nachfolgend auf den Entwurf einer Empfehlung verwiesen, die vom Autor im Rahmen seiner Tätigkeit im AK „GMAG“ des LtWS beim BMU in wesentlichen Teilen erarbeitet wurde (siehe auch „112“ Heft 1/1995, Empfehlungen zum Übungs- und Erprobungseinsatz mit dem Löschmittel Pulver):

Empfehlungen zum Umgang mit dem Löschmittel Pulver bei Übungen und/oder Erprobungen

Zweck dieser Empfehlung ist es, Erprobungen von Pulverlöschmitteln und Pulverlöschgeräten sowie die Ausbildung im Umgang mit Handfeuerlöschern unter Berücksichtigung der Belange des Umweltschutzes, insbesondere des Gewässerschutzes und der menschlichen Gesundheit sicherzustellen.

Übungen und/oder Erprobungen unter Verwendung des Feuerlöschmittels Pulver (gemäß DIN 14 275 und im weiteren Löschpulver genannt) sind hinsichtlich einer umfassenden Ausbildung von Anwendern, z. B. die Feuerwehren, für die Entwicklung und Erprobung von neu- und weiterentwickelten Löschpulvern sowie für die Überprüfung vorhandener Gerätesysteme bzw. die Erprobung neu- und weiterentwickelter Feuerlöschgeräte unverzichtbar.

Bei der Anwendung von Löschpulvern im vorgenannten Sinne ist von folgenden Grundsätzen auszugehen:

1. Erfolgen Übungen und Erprobungen mit bzw. von Löschpulvern derart, daß sie in ortsfesten Einrichtungen oder auf speziellen Grundstücken durchgeführt werden, so ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) zu beachten. Sollten derartige Erprobungen/Übungen nur ausnahmsweise in vorgenannten Objekten durchgeführt werden, so sind diese Erprobungen so zu gestalten, daß
 - schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen oder Geräusche verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind,
 - nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden und
 - die bei Betrieb der Anlage entstehenden Abfälle (Brandrückstände, Löschmittelrückstände) ordnungsgemäß beseitigt werden können.

2. In Wasserschutzgebieten und Grundwassereinzugsgebieten von öffentlichen und privaten Trinkwassergewinnungsanlagen hat die Durchführung von Übungen und Erprobungshandlungen unter Verwendung von Löschpulver zu unterbleiben (siehe auch Wasserhaltungsgesetz (WHG)).
3. Der Einsatz von Löschpulver bei Löschvorführungen ohne Übungs- und Erprobungscharakter hat aus Umweltschutzgründen zu unterbleiben.
4. Übungen mit Löschpulver müssen auf einem befestigten Untergrund durchgeführt werden, wobei der Untergrund so beschaffen sein muß, daß eine umfassende Wiederaufnahme des eingesetzten Löschpulvers problemlos möglich ist und auch durch die eingesetzten Übungsobjekte Negativwirkungen ausgeschlossen werden können.
5. Für Übungen und/oder Erprobungen mit Löschpulver sollte bezüglich der Flüssigkeitsbrandobjekte (B-Klasse) bleifreies Benzin (Vergaserkraftstoff, Siedegrenzenbenzin u. ä.) oder Hexan und bezüglich der Feststoffbrandobjekte (A-Klasse) unbehandeltes, abgelagertes und trockenes Holz (Fichte, Kiefer u. ä.) eingesetzt werden. Für die Entzündung der Holzübungsbrände sollten vorgenannte brennbare Flüssigkeiten eingesetzt werden. Die Auswahl der Prüf- bzw. Übungsobjekte sollte unter Beachtung der DIN EN 3, Teil 1 erfolgen.
6. Bei Übungen und/oder Erprobungen mit Löschpulver, bei denen brennbare Flüssigkeiten als Brandstoff oder zur Entzündung anderer Brandstoffe eingesetzt werden, dürfen derartige Versuche nur unter Einsatz geeigneter, flüssigkeitsdichter Auffang- bzw. Brandwannen durchgeführt werden.
7. Die Verantwortung für die Vorbereitung und Durchführung von Übungen und/oder Erprobungen ist fachkompetenten Übungsleitern bzw. Personal zu übertragen, die über die entsprechenden Befähigungsnachweise verfügen sollten (Sachkundige gemäß DIN 14 406).
8. Löschpulver müssen in ihrer konfektionierten Form (einsatzrelevante Zusammensetzung) die gesetzlich fixierten Forderungen bezüglich Umweltverträglichkeit und physiologischer Unbedenklichkeit erfüllen. Die physiologische Unbedenklichkeit ist auf Verlangen nachzuweisen. Insbesondere dürfen die Löschpulver keine Schwermetallverbindungen

enthalten bzw. nur in solchen Größenordnungen, wie das durch den Gesetzgeber hinsichtlich der Umweltverträglichkeit bzw. toxischer Wirkung toleriert werden kann.

9. Beim Umgang mit Löschpulvern im Sinne der im Rahmen dieser Empfehlung angeführten Einsatzgebiete ist trotz nachgewiesener Ungiftigkeit ein Kontakt mit Körperschleimhäuten (Auge, Mund, Atemwege u. a.) durch geeignete Maßnahmen weitestgehend zu vermeiden. Bei der Anwendung von Löschpulver ist die Windrichtung zu beachten. Insbesondere sollten die z. B. auf Handfeuerlöschern befindlichen Piktogramme und die graphischen Anwenderhinweise der Hersteller beachtet werden.

10. Nach Beendigung der Übungen und/oder Erprobungen sind die angebrachten Pulvermengen mittels geeigneter Mittel und Methoden wieder aufzunehmen und ordnungsgemäß zu entsorgen. Die Entsorgung sollte unter Beachtung der im Abfallschlüssel der TA Abfall (Nr. 39 905) gegebenen Hinweise erfolgen. Die für eine Deponierung relevanten Bundes- und Landesgesetze sind unbedingt einzuhalten.

VERGLEICH - RAUCHGASREINIGUNGSANLAGEN

Institution	Wirkprinzip	Dimension	Art des Abprodukts	Kostenrahmen
Forschungstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)	Propangestützte Nachverbrennung bei 760 °C und Bindung der trockenen aber sauren Gasbestandteile an trockenem Kalkhydrat	32 000 m ³ Rauchgas/h bei Propan gestützter Nachverbrennung bzw. 55 000 m ³ /h ohne Propanstützverbrennung berechnet auf Normalbedingungen	mit CO ₂ , NO _x , SO ₂ u. a. sauren Gasen umgesetztes Kalkhydrat	ca. 4 Mio DM, bei einem Kostenanteil von ca. 600 TM für die Emissionsüberwachungstechnik
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig	zweistuf. Flachschlauchfilteranlage mit Kalk-Koks-Beladung (Feinkorn) in der zweiten Stufe zwecks Bindung der sauren und absorbierbaren Rauchgasbestandteile und Rückführung des Absorptionsmediums in die 1. Stufe, anschl. Austrag	max. Rauchgasdurchsatz 43 000 m ³ /h berechnet auf Normalbedingungen	mit sauren und absorbierbaren Rauchgasbestandteilen beladenes Kalk-Koks-Gemisch (feinkörnig)	geschätzt. Kostenrahmen für die Anlage ca. 5,8 Mio DM einschl. Emissionsüberwachung
Technische Marineschule Wiexbergstr. 54/1 23730 Neustadt in Holstein	Schlauchfilteranlage mit vorgeschalteten Explosionsentladungsschloten, Funkenabscheidern und Aufladung des Rauchgasstromes mit staubförmigem Kalkhydrat	180 000 m ³ Rauchgas / h berechnet auf Normalbedingungen	vor allem mit SO ₂ beladenes Kalkhydrat	ca. 6,428 Mio DM einschließlich aller Baukosten wie Bodengründung u. a.
Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen Brandversuchseinrichtung Erwitte	Propangestützte Nachverbrennung bei 1200 °C, Gegenstromwaschanlage ohne Zusetze, Waschwasser im Kreislauf mit Basizitätskontrolle	drei Teilanlagen mit 2 x 7 500 und 1 x 2 000 m ³ Rauchgas / h berechnet auf Normalbedingungen	keine störenden gasförm. Abprodukte, Entsorgung des belasteten Wassers nach Erfordernis als Sondermüll (1x/a)	ca. 12 Mio DM für die Anlagengerichtung, ca. 0,5 Mio. DM für jährliche Unterhaltung und Instandsetzung (variabel)

VERGLEICH - ABWASSERANLAGEN

Institution	Wirkprinzip	Dimension	Art des Abprodukts	Kostenrahmen
Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)	Sammlung des Abwassers aus Lösversuchen in Sammel tanks, Entsorgung nach Erfordernis, wobei dann bei Notwendigkeit eine Nachbehandlung (Schmutzwasserqualität) erfolgt	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig	Abwasser fällt nicht an	siehe vorher	siehe vorher	siehe vorher
Technische Marineschule Wiexbergstr. 54/1 23730 Neustadt in Holstein	Sammlung der Löschwässer in einem Sammel tank (80 m ³), Nachbehandlung nach Absetzen mittels Kalk und Neutralisation mittels Eisen(III)chlorid,	Durchsatz 4 m ³ /h	Einleitung des vorgereinigten Abwassers mit Schmutzwasserqualität in die öffentl. Kanalisation	Gesamtkosten der Anlage ca. 3,3 Mio DM, wobei das Sammelbecken ca. 1,8 Mio und die Reinigungsstufe ca. 1,5 Mio DM ausmachen
Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen Brandversuchseinrichtung Erwitte	Wasser siehe Anlage zur Rauchgasreinigung	siehe vorher	siehe vorher	siehe vorher