

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Bewertung von Gefahrstoffen entsprechend Feuerweh-Erfassungsmaske sowie Schaffung der Grundlagen zur Datengewinnung bei Bränden und/oder Gefahrstofffreisetzungen zwecks weiteren Ausbaus der Datenbasis

117

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN,
KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

**Bewertung von Gefahrstoffen entsprechend Feuerwehr-
Erfassungsmaske sowie Schaffung der Grundlagen zur Daten-
gewinnung bei Bränden und/oder Gefahrstofffreisetzungen
zwecks weiteren Ausbaus der Datenbasis**

(Zwischenbericht für den Zeitraum vom 01.07.1998 bis 31.03.1999)

Forschungsbericht Nr. 117

Im Auftrag
der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Arbeitskreis V - Ausschuss „Feuerwehrangelegenheiten“

Bearbeiter: Dipl.-Chem. Klaus Steinbach (Projektleiter)
Dr. rer. nat. Sabine Richter
Dipl.-Chem. Frank Schuppe

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Heyrothsberge
Juni 1999

ISSN 0170-0060

Inhaltsverzeichnis

1	Bewertung von Gefahrstoffen entsprechend Feuerwehr-Erfassungsmaske	3
1.1	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	3
1.2	Vergleich des Standes der Aufgabe mit der ursprünglichen Planung	4
1.3	Arbeiten im Rahmen des GSBL	5
1.3.1	Qualitätssicherung	5
1.3.2	Nutzersichten	5
1.3.3	Mitwirkung im Lenkungsausschuss des GSBL	5
1.4	Aktivitäten im Rahmen der Einführung der ERI-CARDS	5
1.5	Aussichten für die Erreichung des Vorhabenziels	6
2.	Schaffung von Grundlagen zur Datengewinnung bei Bränden und/oder Gefahrstofffreisetzungen zwecks weiteren Ausbaus der Datenbasis - Untersuchungen mit dem mobilen GC-MS	7
2.1	Reale Schadensereignisse	7
2.1.1	Lagebeschreibung	7
2.1.2	Durchgeführte Messungen	7
2.1.3	Auswertung der GC-MS-Analysen	9
2.2	Versuche	13
2.2.1	Durchgeführte Messungen	13
2.2.2	Auswertung der GC-MS-Analysen	13
2.3	Auswertung der GC-MS-Daten zur Datengewinnung für die Gefahrstoffdatenbank CHEMIS	18
2.4	Methodenentwicklung	22
2.4.1	Methode für leichtflüchtige organische Verbindungen (Gase)	22
2.4.2	Methode für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	24
3	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	27
4	Literatur	28
	Anlage: Ergebnisse der GC-MS-Analysen	30
	Tabelle 12: Reale Schadensereignisse	32
	Tabelle 13: Versuche	42

1 Bewertung von Gefahrstoffen entsprechend Feuerweh- erfassungsmaske

1.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Plausibilitätsprüfung

Die Bewertung von Gefahrstoffen entsprechend der von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe „GSA-Feuerwehr“ vereinbarten Erfassungsmaske wurde durch das Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt (IdF LSA) weitergeführt. Im o.g. Berichtszeitraum konnten in Auswertung vereinbarter Pflichtquellen, weiterer Literaturquellen sowie durch Eigenbewertung **30** Stoffe bearbeitet werden. Die Bewertung erfolgte unter Verwendung von mit dem Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV), der Arbeitsgruppe „Qualitätssicherung“ des Gemeinsamen Gefahrstoffdatenpools des Bundes und der Länder (GSBL) sowie der Koordinierungsstelle des GSBL abgestimmten Standardsätzen, wobei die bewerteten Sachverhalte auf Erfassungsbelegen erfasst wurden. Die bei bestimmten Stoffen nicht realisierbare Verwendung von Standardsätzen (Nichteignung bzw. ungenügende Präzision der Standardsätze) wurden durch Formulierungen im Rahmen von Freitextfeldern ersetzt. Bei unzureichenden Aussagen in den Informationsquellen erfolgte eine ergänzende Eigenbewertung auf der Grundlage von Analogieschlüssen zu in der Literatur beschriebenen, vergleichbaren Stoffen.

Vieraugenprüfschritt

Die im Rahmen der Plausibilitätsprüfung bearbeiteten Stoffe wurden nochmals durch einen anderen Bearbeiter stichprobenartig geprüft. Bei einem zum primären Prüfergebnis abweichenden Standpunkt wurde unter Bezug auf die ausgewerteten Quellen und das Bewerterhandbuch in gegenseitiger Abstimmung der Bearbeiter eine endgültige Bewertung vorgenommen.

Übernahme der Daten aus den Erfassungsbelegen in dv-lesbare Formate unter Verwendung eines Erfassungsprogramms und Übergabe der Daten an die Datenbankbetreiber in dv-lesbarer Form

Angewandt wird ein Datenerfassungsprogramm zur dv-technischen Übernahme der Bewertungsaussagen. Damit soll neben der formellen Weitergabe der Einzelinformationen an das Umweltbundesamt (UBA) bzw. das BgVV auch die exakte Übernahme dieser Informationen in die Datenbankebene realisiert werden (Zuordnung der Bewertungen in Form von Standardsätzen und Freitextfeldern in die relevanten Datenfelder der jeweiligen Datenbank). Das Programm beinhaltet das Erfassen, Korrekturmöglichkeiten und das Drucken der Stoffinformationen und Quellenangaben. Die Übergabedateien für das BgVV und das UBA werden durch ein spezielles Programm aus den Erfassungsdateien erzeugt.

Eingabe der Daten auf PC-Ebene

Im Rahmen der dv-technischen Umsetzung der Bewertungsergebnisse in Form der vom IdF LSA realisierten PC-Feuerwehreffassungsmaske wurden durch die am Projekt eingesetzten wissenschaftlichen Mitarbeiter(innen) **30** Stoffbewertungen als Daten in die PC-Erfassungs- und Übergabeprogramme eingegeben.

Weiterhin wurde im Berichtszeitraum mit der Einarbeitung in eine Datenerfassungs- und Datenbearbeitungs-Software des GSBL im GSBL-Schnittstellenformat (Software zur lokalen Erfassung und Bearbeitung von Daten aus dem GSBL) begonnen. Perspektivisch ist vorge-

sehen, ausschließlich Bewertungen der Maßnahmen für den Feuerwehreinsatz mit dieser Software durchzuführen. Die unter WINDOWS NT lauffähige Datenerfassungs- und Datenbearbeitungs-Software im GSBL-Schnittstellenformat ist eine wesentliche Voraussetzung für den künftigen Datentransfer zwischen dem GSBL und den bekannten Datenbank-Betreibern der öffentlichen Hand. Dieser Datentransfer erfolgt unter Benutzung entsprechender Daten-Import- und Export-Module. Unabhängig davon bleiben die von den Datenbank-Betreibern der öffentlichen Hand angebotenen Endanwendersichten in ihrer bekannten bzw. in einer neuerarbeiteten WINDOWS-Oberfläche erhalten. Zur Realisierung der Arbeiten am IdF LSA im GSBL-Schnittstellenformat wurde ein Computerarbeitsplatz unter WINDOWS NT eingerichtet.

Überarbeitung von Standardsätzen und der Eingabemaske

Wenngleich die derzeit verwendeten, mit dem GSBL, dem BgVV und dem Arbeitskreis „GSA-Feuerwehr“ abgestimmten Standardsätze entwicklungsbedingt nicht ständig eine ausreichend sichere Reflexion notwendiger Informationen garantieren, werden grundsätzlich die 1996 abgestimmten Standardsätze weiterhin angewandt. Zwischenzeitlich getroffene notwendige Änderungen wurden mit den vorgenannten Einrichtungen (BgVV; GSBL) abgestimmt. Veränderungen und Ergänzungen in der Erfassungsmaske (Standardsätze, Gestaltung der Freitextfelder) werden erfasst und entsprechend der vorgenannten Abstimmungen in die aktuellen Redaktionen des Datenbestandes eingearbeitet. Generelle Änderungen sind mit dem GSBL abzustimmen, um insbesondere Erfordernisse des GSBL-Schnittstellenformates berücksichtigen zu können.

1.2 Vergleich des Standes der Aufgabe mit der ursprünglichen Planung

Aufgrund unzureichender und widersprüchlicher Angaben in den Pflichtquellen sowie aus weiteren Informationmaterialien ist, wie in den Berichterstattungen 1997 und 1998 zum Ausdruck gebracht, ein weiterer Anstieg des Rechercheaufwandes festzustellen (in der Regel fehlen Angaben über physikalisch-chemische Parameter bei Stoffen mit einer weniger starken Verbreitung bzw. Anwendung). Aus diesem Grund müssen insbesondere Recherchemöglichkeiten außerhalb des IdF LSA, d.h. in entsprechenden Fachbibliotheken, genutzt werden. Derzeit muss mit einem durchschnittlichen Bewertungsaufwand von ca. **einem bis eineinhalb** Arbeitstagen pro Stoff ausgegangen werden. Daraus resultiert, dass ca. 30 - 40 % der geplanten 6.000 Stoffe nur teilweise bzw. überhaupt nicht bewertet werden können. Folgende Grundaussagen lassen sich hieraus ableiten:

- Die fehlenden bzw. unzureichenden Ausgangsdaten lassen eine Eigenbewertung nicht mehr zu.
- Der Rechercheaufwand (pro Stoff) ist bei weiteren Stoffen unter Beachtung des vorgenannten Sachverhaltes in einem solchem Maße angestiegen, dass teilweise das Mehrfache des Aufwandes im Vergleich zu einem gängigen Stoff aufgewandt werden müsste.
- Nicht belegbare Datenfelder sind mit einem geeigneten Eintrag wie **„Auf Grund des Fehlens von Basisdaten sind zum konkreten Sachverhalt derzeit keine Aussagen möglich“** zu versehen.

1.3 Arbeiten im Rahmen des GSBL

1.3.1 Qualitätssicherung

Hinsichtlich grundsätzlich unverzichtbarer Qualitätsanforderungen an Gefahrstoffdaten insbesondere bezüglich deren Validität, Konsistenz und Bonität gilt dies uneingeschränkt auch für die Sachverhalte „Brand, Zersetzung, Freisetzung - Maßnahmen zur Bekämpfung“. Zwar wird der vorgenannte Datenbereich ausschließlich von den Feuerwehren (konkret durch das IdF LSA) bearbeitet, doch sind hier insbesondere Abstimmungen zu den Standardtextformulierungen ausländischer Herkunft (WHO, Datenbank BIG aus Belgien) und den Aussagen der chemischen Industrie (Ursprung Sicherheitsdatenblätter) im Zusammenhang mit den abgestimmten Standardtexten der Feuerwehren (erarbeitet durch das IdF LSA im Rahmen der IMK- und BMBF-Forschung) notwendig. Darüber hinaus wurde auch an den Qualitätskriterien für chemisch-physikalische Daten mitgewirkt. Die Arbeiten im Rahmen der Qualitätssicherung laufen auch im Jahre 1999 weiter, wobei derzeit eine Festlegung über weitere Arbeitsinhalte seitens des Lenkungsausschusses „Gemeinsamer Gefahrstoffdatenpool Bund/Länder“ (GSBL) vorbereitet wird.

1.3.2 Nutzersichten

Die 1997 beendete Arbeit der Arbeitsgruppe „Nutzersicht“ des GSBL wurde unter dem neuen Namen „Endanwendersicht“ 1998 wieder aufgenommen. Insbesondere durch den Fortbestand der bekannten Endanwendersichten wie CHEMIS, RESY, IGS, GSA u.a. werden dem Endanwender Feuerwehr auch künftig erprobte und gut nutzbare Sichten, in absehbarer Zeit mit dem Datenhintergrund des GSBL-Daten-Bestandes, zur Verfügung stehen. Die Hauptaktivität im Berichtszeitraum bestand in der Mitwirkung zur Herausarbeitung der fachlich relevanten Einzel- und Gruppenmerkmale und dem Beginn der Abstimmung zu diesen Merkmalen hinsichtlich deren Weiterverwendung im Bereich „Fachliches Datenmodell“. Hierzu ist vom Lenkungsausschuss des GSBL zu entscheiden, mit welcher Priorität die Datenarbeit zu erfolgen hat.

1.3.3 Mitwirkung im Lenkungsausschuss des GSBL

Eine Mitarbeit im Lenkungsausschuss des GSBL erfolgte in Vertretung des Vorsitzenden des Ad-hoc-Arbeitskreises „GSA-Feuerwehr“ nach Absprache.

1.4 Aktivitäten im Rahmen der Einführung der ERI-CARDS

- Das IdF LSA versteht die **ERI-CARDS** wie auch die Gefahrstoffdatenbanken als jeweils **eine Form der Informationsbereitstellung** für den Feuerwehreinsatz bei Gefahrstoffunfällen.
- Das IdF LSA unterstützt somit auch die Zielstellung, mit der Einführung der **ERI-CARDS** ein Informationsmittel zur **Erstinformation** bereitzustellen. Die **Zielgruppe** für die Merkblätter sollten dabei die **Einsatzleiter bzw. die Einsatzkräfte am Unfallort** sein.
- Eine weitergehende Informationsbereitstellung **von Einsatzinformationen** sollte im Bedarfsfall über die **Leitstellen** durch die Nutzung der vorgenannten **Gefahrstoff-Datenbanken** erfolgen.
- Das IdF LSA arbeitete dem Ministerium des Innern des Landes Sachsen-Anhalt in Vorbereitung der Sitzung des Ausschusses Feuerwehrangelegenheiten der Ständigen

Konferenz der Innenministerien der Länder fachliche Erläuterungen und organisatorische Informationen zu.

- Das IdF LSA hält seine Bereitschaft aufrecht, als die Stelle der öffentlichen Hand zur Gefahrstoffbewertung für die Feuerwehren an der weiteren Gestaltung der ERI-CARDS mitzuwirken zu wollen.

1.5 Aussichten für die Erreichung des Vorhabenziels

Zur Senkung des teilweise hohen Rechercheaufwandes außerhalb des IdF LSA - ständige Sichtung des Standardwerkes „Beilstein - Handbuch der Organischen Chemie“ an der Universität Magdeburg - ist neben der Neubeschaffung bzw. Aktualisierung der Fachliteratur (z.B. MERCK-Sicherheitsdatenblätter auf CD-ROM, Merkblätter Kühn-Birett-Neuaufgabe) eine intensive Recherche über INTERNET notwendig geworden. Die Voraussetzungen dafür sind am IdF LSA gegeben. Häufig werden folgende Quellen bzw. Datenbanken mit in die Recherche einbezogen:

- Chemikalien-Sicherheits-Datenbank der Freien Universität Berlin
- ECDIN-Datenbank
- Chemfinder Web-Server
- North American Emergency Response Guidebook
- MSDS (Sicherheitsdatenblätter) der Universität Vermont
- MSDS des Sigma-Aldrich-Server

Hierbei gilt es aber festzustellen, dass neben oftmals zeitaufwendigem Suchen auch ein nicht unerheblicher Kostenaufwand auf den Bearbeiter bei der Nutzung der vorgenannten Stoffinformationssysteme zukommt. Dennoch kann nicht von der **Zielstellung** abgerückt werden, im Rahmen dieser als auch künftiger Aktivitäten eine Verbesserung bei der Datenbereitstellung und deren Nutzung in Form konkreter Nutzersichten in den Bereichen der öffentlichen Hand zu erreichen. Diese Zielstellung gilt gleichermaßen für die Arbeiten, die im Rahmen der Gestaltung des GSBL zu leisten sind. Somit ist die Arbeit am IdF LSA in der dargestellten Weise fortzuführen. Als begleitende Maßnahmen sind notwendigerweise fortzusetzen:

- Die Arbeit der Ad-hoc-Arbeitsgruppe „GSA-Feuerwehr“ ist unter Einbeziehung der Datenbankbetreiber der öffentlichen Hand und ausgewählter Vertreter der Feuerwehren (in der Regel aus Ad-hoc-AG) mit der Zielstellung abzusichern, bei Erfordernis schnellstens wieder in der ursprünglichen Zusammensetzung arbeitsfähig zu sein. Hierzu wurden im Berichtszeitraum Gespräche mit dem Leiter der Ad-hoc-AG „GSA-Feuerwehr“ geführt und eine Beratung im September 1998 abgehalten.
- Mit den Datenbankbetreibern der öffentlichen Hand, deren Datenbanken bei den Feuerwehren genutzt werden, sind die Gespräche über Wege und Möglichkeiten zur Verbesserung des Datenbank-Handlings fortzuführen.
- Die vom GSBL erwartete **fachliche** Mitwirkung in den vorgenannten Facharbeitsgruppen des GSBL (Datenqualität, Nutzersichten u.a.) sowie notwendige Vertretungen im Lenkungsausschuss des GSBL sind abzusichern.
- Durch die Bearbeitung von Basisdaten aus dem GSBL auf einer eigens für die Bearbeitung geschaffenen Software (Erfassungsmodul) ist eine Forcierung der Bearbeitung abzusichern.
- Über direkte Arbeitsvereinbarungen bzw. über Vereinbarungen zur arbeitsteiligen Zusammenarbeit mit den Datenbankbetreibern der öffentlichen Hand sind weitere Möglichkeiten der Ausgestaltung der Gefahrstoffdatenbanken der öffentlichen Hand durch das IdF LSA zu schaffen.

2 Schaffung von Grundlagen zur Datengewinnung bei Bränden und/oder Gefahrstofffreisetzungen zwecks weiteren Ausbaus der Datenbasis - Untersuchungen mit dem mobilen GC-MS

Eine weitere Aufgabenstellung des Themas war, Ergebnisse von Schadstoffmessungen mit dem vorhandenen Gaschromatograph-Massenspektrometer-System hinsichtlich der Schaffung weiterer Grundlagen zur Datengewinnung bei Bränden und/oder Gefahrstofffreisetzungen zwecks Ausbaus der Datenbasis auszuwerten. Hierzu wurden sowohl reale Schadenslagen als auch Versuchsbrände herangezogen.

Die GC-MS-Untersuchungen wurden mit dem mobilen Massenspektrometer EM 640 der Fa. BRUKER DALTONIK GmbH, Bremen durchgeführt [1,2].

Die GC-MS-Messungen erfolgten mit Ausnahme der Versuche unter 2.3 nach der Standard-Einsatz-Methode (Thermodesorption, Adsorptionsmittel: TENAX[®] TA, GC-Säule: 7,5 m; DB1, GC-Temperaturprogramm: 38-240 grd C; Gradient 35 K/min, MassScan: 15-400 u, Trägergas: gereinigte Luft).

2.1 Reale Schadensereignisse

Als reales Schadensereignis wird der Brand in einem Kühlhaus des Schlachthofes Magdeburg ausgewertet, da umfangreiches Datenmaterial zur Verfügung steht.

2.1.1 Lagebeschreibung

Am 07.12.1998 brannte ein leerstehendes Kühlhaus auf dem Gelände eines ehemaligen Schlachthofes in Magdeburg (siehe Abb. 1). Es bestand der Auftrag, die Berufsfeuerwehr Magdeburg bei der Einschätzung der Lage vor allem bezüglich der Gefährdung der Bevölkerung im angrenzenden Stadtgebiet durch Brandgase zu unterstützen.

Bei dem Kühlhaus handelte es sich um ein Gebäude in Stahlbetonkonstruktion auf 4 Stützpfählern mit Stahlbetonzwischendecken. Die Wände bestanden aus Ziegelmauerwerk. Das Gebäude besaß eine Grundfläche von ca. 50 m x 36 m und eine Höhe von ca. 25 m. Es existierten 6 Zwischendecken; die Decken und Wände waren mit Schaumpolystyrol und Kork-Bitumen als Isoliermaterial (siehe Abb. 2) ausgekleidet. Das Dach war mit geteeter Dachpappe gedeckt. Da die Kühlhalle ansonsten leer war, können vorgenannten Materialien als Brandstoffe angesehen werden.

2.1.2 Durchgeführte Messungen

Neben Messungen mit Kurzzeit-Prüfröhrchen, vor allem für Styren und Toluol, wurden über 3 Tage hinweg qualitative GC-MS-Messungen durchgeführt.

Nach einer festgelegten Messstrategie wurden, verteilt auf die betroffenen Gebiete von Magdeburg, in größeren Zeitabständen Proben genommen und die Rauchgaszusammensetzung überprüft. Als günstiger Umstand war die konstante Windrichtung anzusehen: Die Schadstoffwolke zog im gesamten Zeitraum ca. 500 m über bewohntes Gebiet hinweg und löste sich am Ende der Wegstrecke weitestgehend auf.

Als Adsorptionsmittel zur Probenahme wurde das für die Analyse von Brandrauch (speziell für mittel- bis höher siedende Stoffe) bewährte TENAX[®] TA (Poly-2,6-diphenyl-p-phenylenoxid) verwendet.



Abb. 1: Feuerwehreinsatz am brennenden Kühlhaus des Schlachthofes Magdeburg

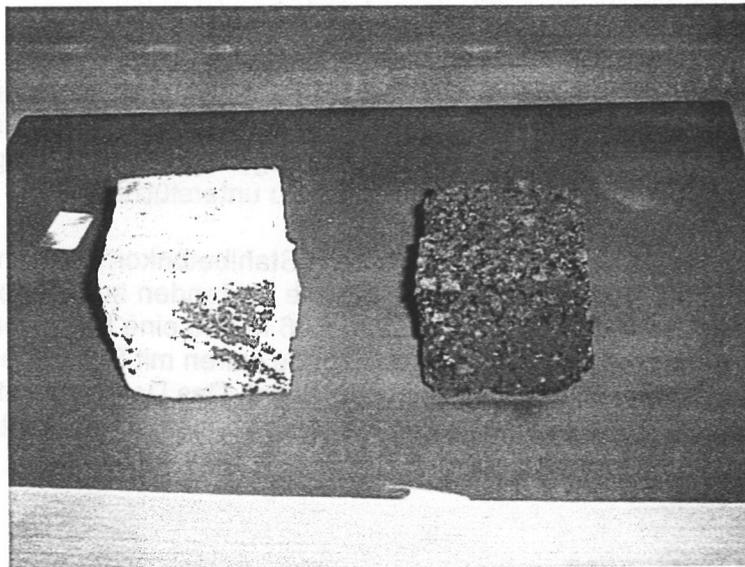


Abb. 2: Hauptbrandstoffe: Schaumpolystyrol (links), Kork-Bitumen (rechts)

2.1.3 Auswertung der GC-MS-Analysen

Repräsentativ wurden für die Auswertung Gefahrstoffinformationen zu den identifizierten Stoffen über die integrierte Gefahrstoffdatenbank CHEMIS (CHEMIS-Auswertung) von 10 GC-MS-Läufen des Einsatzes ausgewählt.

Tabelle 1: Auswahl GC-MS-Analysen im Einsatz „Kühlhaus Magdeburg“

Datum	Analysen-Nr.	Bemerkung	Hauptkomponenten
7.12.98	178.msf	11.00 Uhr, Hallische Str./ Glacis, hohe Rauchbelastung, 10 Hübe	Anthracen, Fluoranthren, Toluol, Benzen, Naphthalen , weitere Aromaten/PAK wie Styren, Fluoren, Acenaphthen, subst. Alkane/Alkene
7.12.98	179.msf	14.55 Uhr, Klosterbergergarten, geringe Rauchbelastung, 25 Hübe	Toluol, Cyclododecan, Anthracen , Alkane/Chlor-, Benzoesäure, weitere Aromaten/PAK wie Styren, Pyren, subst. Naphthalen, Diethylphthalat
7.12.98	180.msf	15.40 Uhr, Hegelgymnasium; Hof, heller Rauch, 5 Hübe	5-Chlor-2-pentanon, Hexadecansäure, 4-(Diethylamino)-benzaldehyd , Acetonitril, Dibutylphthalat, Cycloaliphaten, Aromaten, Chloralkane, Carbonsäuren, subst. Benzensulfonamid
7.12.98	181.msf	16.00 Uhr, Hegelgymnasium; Dachfenster, mäßige Rauchbelastung, 5 Hübe	4-(Diethylamino)-benzaldehyd, Tetradecansäure, Dibutylphthalat , Aromaten/PAK, aliph. Alkohole, Carbonsäuren
8.12.98	182.msf	0.50 Uhr, Hegelgymnasium, sehr geringe Rauchbelastung, 10 Hübe	4-(Diethylamino)-benzaldehyd, Aceton, 1-Hexadecanol , Hexadecansäure, Dibutylphthalat, Aromaten/PAK wie Anthracen, Pyren, Aliphaten, Carbonsäuren
8.12.98	183.msf	7.45 Uhr, Liebigstr./ Hasselbachplatz, keine sichtbare Rauchbelastung, leichter Geruch, 20 Hübe	4-(Diethylamino)-benzaldehyd, 1-Tridecanal, Dibutylphthalat , Hexadecansäure, Aceton, subst. Benzensulfonamid, Aromaten, Aliphaten, Carbonsäuren
8.12.98	184.msf	7.55 Uhr, Bahnhofstr./ Einsteinstr., keine sichtbare Rauchbelastung, leichter Geruch, 20 Hübe	4-(Diethylamino)-benzaldehyd , subst. Ethanon/Naphthalen/ Benzensulfonamid, Cyclododecan, Dibutylphthalat, Aromaten, Carbonsäuren

Tabelle 1 (Fortsetzung): Auswahl GC-MS-Analysen im Einsatz „Kühlhaus Magdeburg“

Datum	Analysen-Nr.	Bemerkung	Hauptkomponenten
8.12.98	187.msf	18.20 Uhr, Bahnhofstr./ Keplerstr., leichte Geruchsbelastung, 10 Hübe	Hexadecanal, 4-(Diethylamino)-benzaldehyd, 1-Pentadecanol, Cyclododecanol, Carbonsäuren, Aromaten
9.12.98	188.msf	13.30 Uhr, Kühlhaus; obere Dachkante, schwache Rauchbelastung, während Schaumangriff, 20 Hübe	4-(Diethylamino)-benzaldehyd, Cyclododecan, Aceton, Aromaten/PAK wie Fluoranthren, Anthracen, Toluol, Styren, subst. Alkanole/ Alkanale
9.12.98	189.msf	14.00 Uhr, Kühlhaus; obere Dachkante, schwache Rauchbelastung, während Schaumangriff, 20 Hübe	1-Heptadecan, 4-(Diethylamino)-benzaldehyd, Hexadecansäure, Aromaten/PAK wie Fluoranthren, Toluol, Anthracen, subst. Alkanole/ Alkanale, Aceton

Die Analysen ergaben in den meisten Fällen eine ähnliche Zusammensetzung des Brandrauches.

Als Hauptbestandteile konnten identifiziert werden:

1. einkernige und kondensierte Aromaten (Toluol, Benzen, Styren, Anthracen, Fluoranthren, Naphthalen),
2. cyclische Aliphaten (Cyclododecan, Cyclododecanol),
3. Diethyl-/Dibutylphthalat,
4. langkettige Alkansäuren/Alkanole/Alkanale (Tetradecansäure, Hexadecansäure, 1-Tridecanol, 1-Pentadecanol, Hexadecanal),
5. Chlor-Aliphaten (1-Chlortetradecan, 1-Chlordecan, 5-Chlor-2-pentanon),
6. subst. Benzensulfonamide (N-Ethyl-4-methyl-, 4-Methyl-N-propyl-),
7. 4-(Diethylamino)-benzaldehyd,
8. Aceton/Essigsäure.

Wie allgemein bekannt, bilden sich die Verbrennungs- und Zersetzungsprodukte in Abhängigkeit von den vorhandenen Brandstoffen, der Brandphase und den damit verbundenen Bedingungen, d.h. der Prozess bei einem Schadenfeuer liefert unterschiedlichste Reaktionsprodukte aus der Verbrennung, Zersetzung und Pyrolyse.

Bei der Pyrolyse von organischen Substanzen laufen in Abhängigkeit von der Zersetzungstemperatur typische Reaktionsschritte ab, die in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst sind [3].

Tabelle 2: Pyrolyse von organischen Stoffen

Temperatur	Zersetzungsreaktion / Zersetzungsprodukte
ca. 100 °C	Trocknung des Stoffes, H ₂ O-Freisetzung
ca. 200 bis 300 °C	Abspaltung von H ₂ O, H ₂ S, CO ₂ , SO ₂ , HCN
ca. 350 °C	Abspaltung von CH ₄ und Homologen
ca. 500 °C	Cracken: niedere Kohlenwasserstoffe
über 600 °C	Cracken: Olefine, Benzen und höhere Aromaten

Neben den „reinen“ Verbrennungsprodukten, den anorganischen Oxiden, treten im Allgemeinen immer Reaktionsprodukte und Nebenprodukte der unvollständigen Verbrennung auf, sowohl anorganischer als auch organischer Natur. In vielen „normalen“ Rauchgasproben werden trotz unterschiedlicher Brandstoffzusammensetzung die gleichen Verbindungen nachgewiesen [4,5], da diese stabile Spaltprodukte oder Oxidationsprodukte sind bzw. sich durch Cyclisierungs- und Kondensationsreaktionen über radikalische Crackprodukte in der Gasphase bevorzugt bilden (thermodynamisch begünstigt). So sind bestimmte Aromaten (Toluol, Styren, Benzen, Xylen), PAK (Naphthalen, Phenanthren) sowie aromatische/aliphatische Aldehyde/Ketone in den meisten Brandgasen zu finden.

Ist das brennende Material bekannt, lässt sich in vielen Fällen grob abschätzen, ob die im Brandfall anfallenden Stoffe oder Stoffgruppen eine erhöhte Gefährdung hervorrufen. Hierzu werden neben halogenhaltigen Materialien (z.B. Polyvinylchlorid; erhöhte Bildung von PCDD/PCDF bei Anwesenheit von aromatenhaltigen Brandstoffen möglich) auch die Materialien Teer und Bitumen gerechnet [6].

Betrachtet man die im Brandfall „Kühlhaus Magdeburg“ vorgelegenen Brandstoffe, kann man Beziehungen zwischen den Ausgangsmaterialien und den identifizierten Verbindungen aus den GC-MS-Analysen anstellen (siehe Tabelle 3).

Die häufig nachgewiesenen Verbindungen 4-(Diethylamino)-benzaldehyd sowie die subst. Benzensulfonamide (N-Ethyl-4-methyl-, 4-Methyl-N-propyl-) finden in der Industrie Verwendung als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Lacken und Farben. Die langkettigen Alkanole/Alkanale (1-Tridecanol, 1-Pentadecanol, Hexadecanal) können aus Spaltungs- und Umlagerungsreaktionen z.B. aus Weichmachern/Reinigungsmitteln (Fettsäuren/ Tenside) entstanden sein, die Chemikalien werden aber auch direkt als „Zwischenprodukt/techn. Hilfsmittel“ (lt. CHEMIS) bei der Herstellung von Baumaterialien verwendet.

Interessant und weiterzuverfolgen ist, inwieweit komplexe chemische Verbindungen das Brandereignis unzerstört „überstehen“. Dieses lässt sich vor allem bei den Inhaltsstoffen von Rauchgasen nachweisen, die zur Einstufung „außergewöhnlich“ im Vergleich zu vielen anderen Rauchgasproben gehören und wo eindeutig eine Beziehung zum Ausgangsmaterial gefunden werden kann (Bestandteil, Hilfsmittel bei der Herstellung u.ä.).

Tabelle 3: Abhängigkeit der Brandgasbestandteile von den Brandstoffen

Brandstoff	Zusammensetzung des Materials [7]	Bestandteile des Brandgases (aus GC-MS-Analysen)
Schaum-polystyrol	<p><i>Bestandteile:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Polystyrol - Additive: <ul style="list-style-type: none"> + Füllstoffe (Anorganika, Celluloseprod.) + Weichmacher (Carbonsäureester, u.a. Phthalate) + Flammschutzmittel (u.a. chlorierte Paraffine, alicyclische Verbindungen, chlorierte Derivate der Phthalsäure) + Farbstoffe, Gleitmittel, Stabilisatoren, Antioxydantien, Radikalstarter 	<ul style="list-style-type: none"> → Diethyl-/Dibutylphthalat → langkettige Alkansäuren → cyclische Aliphaten (Cyclododecan, Cyclo-dodecanol), → Chlor-Aliphaten
Kork	<p><i>Bestandteile:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 30-56 % Säuren (Hydroxyfett-/ Benzoes.) - 5-15 % Wachse - 2-5 % Cellulose - 13-18 % Lignin - Gerbstoffe, Fette, Mineralölsubstanzen 	<ul style="list-style-type: none"> → langkettige Alkansäuren/ Alkanole/Alkanale → Aceton/Essigsäure
Bitumen	<p>aus Erdöl gewonnenes hochmolekulares Kohlenwasserstoff-Gemisch, je nach Fraktion hohe Gehalte an</p> <ul style="list-style-type: none"> - Paraffinen, - alicycl. Verbindungen (Naphthene) - Aromaten bzw. - polaren aromat. Verbindungen (Harzen) <p>für die Verwendung im Bautenschutz oft Zusatz von Schwefel (bis zu 8 Masse-%)</p>	<ul style="list-style-type: none"> → großes Spektrum an aliphatischen Kohlenwasserstoffen → ein- und mehrkernige Aromaten, PAK → schwefelhaltige Verbindungen
Dachpappe /Teer	<p>Material aus saugfähiger Trägereinlage (Rohfilzpappe, Jutegewebe, Textilglasgewebe, Polyestervlies), getränkt mit Bitumen und besandet bzw. beschiefert mit mineralischen Stoffen wie Quarzsand, Kies, Schiefermehl; meist mehrere Lagen mit Klebemasse (Bitumen mit Füllstoffen) verklebt;</p> <p>bei älterem Material verstärkter Einsatz von Teer (hoher Anteil an PAK)</p>	<ul style="list-style-type: none"> → siehe auch unter Bitumen → verstärkte Freisetzung von Aromaten/PAK

2.2 Versuche

2.2.1 Durchgeführte Messungen

GC-MS-Untersuchungen wurden im Rahmen von verschiedenen, am IdF LSA laufenden Forschungsvorhaben, Gutachten, Aufträgen aus der Industrie, für öffentliche Einrichtungen (Reinheitsvergleiche zwischen Originalchemikalien und recycelten Chemikalien, Raumluftuntersuchungen, z.B. nach Renovierungsarbeiten u.ä.) sowie internen Aufgabenstellungen durchgeführt.

Ausgewählte Beispiele sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

2.2.2. Auswertung der GC-MS-Analysen

1. Waldbrand I [8]:

Im Versuch wurde ein Waldbodenaushub (20 x 40 x 12 cm) mit lebender Vegetation und abgestorbenen Vegetationsresten, d.h. Laub, Gras, Nadeln, einer Wärmeexposition mittels propangasbeheiztem Keramikwärmestrahler (spezifische Abstrahlung der Strahleroberfläche ca. 7 W/cm², Leistung in 12 cm Entfernung ca. 3 W/cm²) ausgesetzt. Nach Entzündung der trockenen Grasbestandteile brannte der Aushub unter Entwicklung eines hellen Rauches. Die Proben wurden in der Vollbrandphase und kurz nach dem Ablöschen gezogen.

Tabelle 4: GC-MS-Analysen - Versuch „Waldbrand 1“

Probe	Probenahme	Hauptbestandteile
Probe 1 (357.msf)	nach 5-6 min, 10 Hübe (1 l Luft), in einer Höhe von ca. 50 cm über Material	Naphthalen/subst. Naphthalene, Benzen, Toluol, Styren, Phenanthren, Phenol, Acenaphthylen, Pyridin, Furan-Verb., Essigsäure, Aceton, Nitrile, Alkene
Probe 2 (358.msf)	nach 6 min, 20 Hübe (2 l Luft), in einer Höhe von ca. 50 cm über Material	Naphthalen/subst. Naphthalene (Azulen/Inden), Benzonitril, Styren, Toluol, Benzen, Inden, Phenanthren/Anthracen, langkettige Alkene, Acenaphthylen, Fluoranthren, Essigsäure/-anhydrid, Pyridin, Aceton, subst. Benzofurane, Isochinolin
Probe 3 (359.msf)	nach 10 min, 10 Hübe (1 l Luft), in einer Höhe von ca. 50-100 cm über Material, abgelöscht	Furan-Verb., vor allem Furanaldehyde, Benzen, Toluol, Phenol, längerkettige aliph. Alkane/Alkene, Essigsäure/-anhydrid, Pyridin, Aceton, subst. Benzofurane, Isochinolin
Probe 4 (360.msf)	nach 11-12 min, 20 Hübe (2 l Luft), in einer Höhe von ca. 50-100 cm über Material, abgelöscht	Furan-Verb., vor allem Furanaldehyd, Furanmethanol, Benzen/subst. Benzene, längerkettige aliph. Alkane/Alkanole, Benzaldehyd, Toluol, Benzonitril, kein Nachweis von Naphthalen- und Phenanthren-Verb., Aceton, Benzofuran, Limonen, Acetophenon, Mequinol, Vanillin, Anthracen

Tabelle 5: Versuche

Nr.	Versuch	Analysen-Nr.	Bemerkung	Material	gemessene Hauptkomponenten
1	Waldbrand I	357.msf 358.msf 359.msf 360.msf	Wärmeexposition durch propan- gasbeheizten Keramikwärmestrahler (Leistung 3,0 W/cm ²) Probenahme siehe Tabelle 4	Waldbodenaushub (20 x 40 x 12 cm) mit Vegetationsresten (Laub, Gras, Nadeln), z.T. abgestorben	Naphthalen/subst. Naphthalene, Benzen, Toluol, Styren, Phenol, Inden, Anthracen/Phenanthren, Benzotrifluorid, Acenaphthylen, längerketige Alkane/Alkane/Alkanole
2	Waldbrand II	366.msf 367.msf 368.msf 370.msf 371.msf 372.msf	Kleinbrandversuch (Brandhaus) Probenahme siehe Tabelle 7	ca. 45 kg Vegetations- mix (Nadel-, Laubgehölz, Grasbewuchs, Nadeln)	Benzen, Naphthalen/subst. Naphthalene, Toluol, Xylen, Styren, Phenol, Furan-Verbindungen, Acenaphthylen, Anthracen/Phenanthren, Benzaldehyd
3	Recycling	460.msf 462.msf	Kleinbrandversuch (Versuchsfeld)	gepresstes Recycling- material, Ballenform, 150 x 100 x 60 cm	Benzen, Naphthalen, Toluol, Styren, Biphenyl, Dibutylphthalat, Heptadecen, Hexadecansäure
4	Aluminium- Pressmüll	217.msf 218.msf 219.msf	Vor-Ort-Probenahme beim Press- vorgang in Industriepresse	Aluminium-Pressmüll (Spraydosen)	Butan, Pentan, Hexan, Dimethylether, Limonene, Trichlormonofluormethan, Aceton
5	Schutzkleidung	221.msf 225.msf 232.msf	Untersuchung der Ausdünstungen bei geringer Wärmeexposition (z.B. warme Witterung, ca. 30 grd C)	Feuerwehreinsatz- jacken, blau	Aceton, Acetophenon, Naphthalen, Toluol, Xylen, Benzylalkohol

In allen Fällen wurde auch Schwefeldioxid nachgewiesen, worauf auch in der angegebenen Literatur hingewiesen wird (Anmerkung: schlechte Nachweisbarkeit mit den gegebenen GC-MS-Bedingungen).

Tabelle 6: Quantitative Differenzierung der Inhaltsstoffanteile

Stoff	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
Benzen	+++	++	++	++
Toluen	+++	++	++	+
Phenol	+	+	++	-
Styren	+++	+	-	-
Naphthalen/subst. Naphthalene	+++	+++	+	-
Acenaphthylen	++	+	-	-
Phenanthren	+++	+	-	gering
Furan-Verb.	+	+	++	+++
Essigsäure/Aceton	+	+	+	gering
Inden	+	+	gering	-
längerkett. Alkane/ Alkene/Alkohole	++	++	++	++
Limonen/Vanillin	-	-	+	+
Pyridin	++	+	+	+

Die durchgeführten Analysen lassen im Allgemeinen nur qualitative Aussagen zu. Die Differenzierungen in Tabelle 6 beruhen auf den Relationen der Größenordnungen der Flächenintegrale (= Area [cnts]).

In einigen Fällen können ableitend vom vermessenen Internen Standard (je 500 ng d8-Toluen, d10-Xylen, d8-Naphthalen) grobe Abschätzungen zu Konzentrationen getroffen werden.

So bewegen sich bei der Probe 1 die Konzentrationen unter den gegebenen Bedingungen (Temperatur des Wärmestrahlers, zeitlicher Verlauf, Probenahmeort) bei Toluen um 4 ppm (MAK-Wert: 50 ppm), von Naphthalen um 1 ppm (TRK-Wert: 10 ppm), die Konzentrationen der Probe 2 liegen bei den angegebenen Stoffen noch niedriger. Die Benzen-Konzentration dürfte besonders bei Probe 1 im Bereich des TRK-Wertes von 2,5 ppm oder höher liegen.

Deutlich erkennbar ist der relativ hohe Anteil PAK bei den Proben 1 und 2, die in der Phase der Wärmebeaufschlagung mit dem gasbeheizten Wärmestrahler (Oberflächentemperatur ca. 1000 grd C, Abstand zum Brandobjekt ca. 10 cm) genommen wurden. Das Grasgemisch war Temperaturen von ca. 600-800 grd C ausgesetzt. SCHUPPE [9] zitiert in seiner Studie MC MAHON [10], der als entscheidende Einflussfaktoren zur PAK-Bildung bei Wald- und Buschbränden die Sauerstoffversorgung und vor allem die Temperatur ansieht. Das Temperaturoptimum für die Bildung von komplexen PAK wird mit 700-800 grd C angegeben (Bildung niederer PAK bereits ab 400 grd C), was im Versuch gegeben war.

Probe 3 und 4 wurden nach Entfernung des Wärmestrahlers in der Pyrolysephase genommen, die Temperaturen bewegten sich in dieser Zeit zwischen 200 und 250 grd C. Neben Benzen und substituierten Benzenen wurden vor allem Furan-Verbindungen nachgewiesen. Letztere haben ihren Ursprung in den Pentose-Bausteinen der Gräser und Holzbestandteile, während die aromatischen Struktureinheiten der Lignin-Polymere die Hauptquelle für die Aromaten in den Verbrennungsgase bilden [9].

2. Waldbrand II [8]:

Es wurde ein Kleinbrandversuch mit 45 kg Vegetationsmix (typische Mischwaldvegetation einschließlich Unterwuchs) durchgeführt. Erläuterungen zur Probenahme und Ergebnisse aus den GC-MS-Analysen sind in Tabelle 7 dargestellt. Detaillierte Angaben zu den Inhaltsstoffen des Brandrauches sind den in der Anlage beigefügten GC-MS-Reports (Tabelle 13) zu entnehmen.

Tabelle 7: GC-MS-Analysen - Versuch „Waldbrand 2“

Probe	Probenahme	Hauptbestandteile
Probe 1 (366.msf)	nach 1,5 min 10 Hübe (1 l)	Benzen, Naphthalen/subst. Naphthalene, Toluol, Styren, Xylen, Phenol, Benzaldehyd, Furan-Verb., Inden, Acenaphthylen, Limonen, Essigsäure
Probe 2 (367.msf)	nach 3 min 20 Hübe (2 l)	Benzen, Naphthalen/subst. Naphthalene, Toluol, Styren, Xylen, Essigsäure, Phenanthren, Acenaphthylen, Phenol, Limonen, Inden, Furan-Verb.
Probe 3 (368.msf)	nach 5 min 10 Hübe (1 l)	Benzen, Naphthalen/subst. Naphthalene, Toluol, Styren, Xylen, Phenol, Furan-Verb., Benzaldehyd, Limonen, Inden, Acenaphthylen, Phenanthren, Essigsäure
Probe 4 (370.msf)	nach 10 min 10 Hübe (1 l)	Naphthalen/subst. Naphthalene, Xylen, Benzen, Toluol, Styren, Furan-Verb., Phenanthren, Acenaphthylen, Acenaphthen, Inden, Benzaldehyd
Probe 5 (371.msf)	nach 15 min 20 Hübe (2 l)	Naphthalen/subst. Naphthalene, Benzen, Toluol, Furan-Verb., Styren, Xylen, Benzaldehyd, Fluoranthren, Anthracen/Phenanthren, Acenaphthylen
Probe 6 (372.msf)	nach 17 min 25 Hübe (2,5 l)	Benzen, Naphthalen/subst. Naphthalene, Toluol, Xylen, Furan-Verb., Phenol, Styren, Benzaldehyd, Anthracen/Phenanthren

Die Hauptbestandteile des Rauchgases des Versuches „Waldbrand 2“ entsprechen im Allgemeinen denen des Versuches „Waldbrand 1“. Neben einkernigen Aromaten sind die PAK und Furan-Verbindungen (vor allem Furan-Aldehyde, Alkyl-Furane, Benzofuran, Dibenzofuran) vorrangig anzutreffen. Verbindungen wie Essigsäure, Pyridin, Limonen und Vanillin treten ebenfalls auf. Besonders in der Vollbrandphase (Proben 3, 4, 5) werden verstärkt PAK gebildet (s.o.)

Diese Ergebnisse liegen in guter Übereinstimmung mit den Untersuchungen von RYAN UND MC MAHON [11]. Sie ermittelten allein im untersuchten C₄-C₁₂-Bereich bei der Verbrennung von Kiefernadeln u. a. Toluol, Furfural, Limonen, p-Xylen, m-Diethylbenzen neben Benzen, Styren, Benzofuran, o-Xylen, Dimethylstyren sowie zahlreichen Alkanen, Alkenen und sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffen wie Furan und Phenol.

Für die Bildung der PAK gilt das bereits unter Versuch „Waldbrand 1“ Gesagte.

In den Proben 2, 3 und 4 (Vollbrandphase) wurden bezogen auf die Flächenintegrale

(= Area [cnts]) höhere Konzentrationen für Benzen, Toluol, Xylen, Naphthalen im Vergleich zu den Proben 1 (Phase der Brandentwicklung) sowie 5 und 6 (Restbrandphase) gemessen.

3. Recycling [12]:

Im Rahmen eines Gutachtens wurden Kleinbrandversuche mit in Ballenform gepresste Recyclingmaterialien durchgeführt. Als Brandstoffe sind vor allem verschiedene Plastikmaterialien, Aluminiumfolien, Papier, oft in Form von Kombinationsmaterialien (z.B. Tetrapacks) anzusehen.

Neben Untersuchungen zum Zünd- und Abbrandverhalten wurden auch die Rauchgase hinsichtlich ihrer Zusammensetzung untersucht.

Neben den üblichen Rauchgasbestandteilen, vor allem Aromaten, waren Dibutylphthalat (Weichmacher in Kunststoffen) und langkettige Alkane/Alkene/Alkansäuren (Weichmacher/Reinigungsmittel) verstärkt anzutreffen (siehe auch Abschnitt 2.1.3).

4. Aluminium-Pressmüll [13]:

Nicht vollständig geleerte Aluminium-Sprayflaschen setzen beim Verarbeiten in der Industrie (Pressen, Zerkleinern, Wiederaufbereiten) erhebliche Mengen an Treibmitteln und weitere Bestandteile frei. Durch die Betreiber solcher Anlagen sind hier Vorkehrungen zu treffen, dass kontinuierliche Messungen vorgenommen werden und festgelegte MAK-Werte hinsichtlich des Arbeitsschutzes nicht überschritten werden.

Beim Pressvorgang in einer Industriepresse wurden entsprechende Proben genommen und analysiert.

Hauptbestandteile der durchgeführten GC-MS-Analysen waren vor allem die niederen Alkane (Butan, Isobutan, Pentan, Hexan) als auch Dimethylether, Aceton, FCKW (Trichlormonofluormethan) und Limonen.

Propan, sicher ebenfalls in vorliegend, konnte mit den gegebenen GC-MS-Bedingungen der Standard-Methode nicht nachgewiesen werden.

SCHOMBURG [14] wies in einem Gemisch aus Komponenten von Treibgasen für Sprayflaschen mittels gasanalytischer Untersuchung Propan, Difluordichlormethan, Dimethylether, Methanol, i-Butan, n-Butan, Ethanol, i-Propanol, Trichlorfluormethan, Dichlormethan, n-Propanol, n-Hexan und Isomere nach.

Die Tatsache, diese leichtflüchtigen Verbindungen sicher nicht vollständig nachgewiesen zu haben, war Anlass, die Leistungsfähigkeit des EM 640 an der unteren analytischen Grenze zu überprüfen, d.h. Gase zu trennen und nachzuweisen. Die Standard-Methode sollte diesbezüglich optimiert werden (siehe Abschnitt 2.4).

5. Schutzkleidung [15]:

Am IdF LSA werden Untersuchungen zur Hitzebeständigkeit von Schutzkleidung, vor allem Feuerwehreinsatzjacken, mittels Wärmestrahlerwand durchgeführt [16,17].

Hierbei fiel auf, dass es auch ohne große Wärmeexposition zu Ausdünstungen unter Geruchsbegleitung kam. Diese traten schon bei warmer Witterung, also bei Temperaturen ab ca. 25-30 grd C auf.

Nachgewiesen wurden vor allem Aceton und Benzylalkohol, welche als Lösungs-/ Reinigungsmittel bei der Herstellung Verwendung finden.

2.3 Auswertung der GC-MS-Daten zur Datengewinnung für die Gefahrstoffdatenbank CHEMIS

Aus 10 GC-MS-Untersuchungen von realen Schadensereignissen (Einsatz Kühlhaus Magdeburg) und 18 von Brandversuchen wurden die identifizierten Hauptbestandteile (mit einem Peakflächenanteil ab ca. 0,3 Area%, d.h. mehr als 0,3 % Anteil der entsprechenden identifizierten Substanz bezogen auf den Gesamtanteil aller identifizierten Substanzen) auf ihr Vorhandensein in der Gefahrstoff-Datenbank CHEMIS überprüft (siehe Tabellen 12 und 13, Anlage). Hierbei wurde in Spalte 8 unterschieden in:

- ja → Substanz in CHEMIS enthalten, umfassend, d.h. auch feuerwehrspezifisch bewertet
- ja* → Substanz in CHEMIS enthalten, meist nur wenige Grunddaten angegeben, bei einigen Unterfunktionen [F2]: „Zu diesem Stoff keine Angaben!“
- nein → Substanz nicht in CHEMIS enthalten

Einen allgemeinen Überblick über die Anzahl der identifizierten Hauptkomponenten zu jeder GC-MS-Analyse gibt Tabelle 8, wobei differenziert wurde nach • Stoffen gesamt, • Stoffen, die in CHEMIS enthalten sind, • Stand der Bewertung und • Stoffe, die in der Gefahrstoffverordnung enthalten sind. Doppelungen wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 8: Anwesenheit der Stoffe in CHEMIS, Teil 1: Reale Schadensereignisse

Analysen-Nr.	Substanzen gesamt	in CHEMIS	Bewertung in CHEMIS umfassend/gering	in GefStoffV	in CHEMIS nicht GefStoffV
178	26	23	21/2	20	2
179	20	19	16/3	16	3
180	24	22	20/2	18	4
181	22	18	15/3	15	3
182	19	17	16/1	13	2
183	22	20	20/0	17	3
184	22	20	15/5	16	4
187	20	18	16/2	13	5
188	25	21	19/2	16	5
189	23	17	13/4	13	4
Σ	223	195	171/24	157	35

Tabelle 8: Anwesenheit der Stoffe in CHEMIS, Teil 2: Versuche

Analysen-Nr.	Substanzen gesamt	in CHEMIS	Bewertung in CHEMIS umfassend/gering	in GefStoffV	in CHEMIS nicht GefStoffV
357	35	30	28/2	26	4
358	35	30	28/2	24	6
359	40	35	28/7	27	8
360	32	25	20/5	20	5
366	47	41	38/3	38	3
367	33	25	25/0	22	3
368	43	37	34/3	31	6
370	41	35	32/3	30	5
371	44	36	31/5	32	4
372	40	34	32/2	13	4
460	25	25	24/1	23	2
462	27	25	23/2	20	5
217	17	15	14/1	14	1
218	12	11	10/1	11	0
219	10	9	8/1	9	0
221	9	9	9/0	9	0
225	16	15	15/0	15	0
232	13	13	13/0	13	0
Σ	519	450	412/38	377	56

Allgemein kann festgestellt werden, dass die meisten identifizierten Substanzen in der CHEMIS enthalten sind. Hierbei handelt es sich um gängige, meist nach Gefahrstoffverordnung geregelte Stoffe. Die Konstellation, dass ein Stoff nach Gefahrstoffverordnung geregelt und nicht in der CHEMIS enthalten ist, trat nicht auf.

Bezogen auf die Gesamtzahl der identifizierten Substanzen (742; Anzahl gleich 100 % gesetzt), ergeben sich folgende Anteile:

- **Stoffe in CHEMIS:** **86,9 %** (87,4 %* / 86,7 %**)
- **nicht in CHEMIS enthalten:** **13,1 %** (12,6 % / 13,3 %)
- **Stoffe umfassend bewertet:** **78,6 %** (76,7 % / 79,4 %)
- **Stoffe teilweise bewertet:** **8,4 %** (10,8 % / 7,3 %)
(oft nur Name genannt)
- **Stoffe in GefStoffV enthalten:** **72,0 %** (70,4 % / 72,6 %)
- **in CHEMIS, nicht in GefStoffV:** **12,3 %** (15,7 % / 10,8 %)
- **in GefStoffV enthalten, nicht in CHEMIS:** **0,0 %**

Hierbei spielt es kaum eine Rolle, ob es sich um reale Brände* oder Versuchsbrände** handelt (Prozentzahlen siehe oben). Die Tatsache, dass die bei Versuchen nachgewiesenen Zersetzungsprodukte zu einem unbedeutend geringeren Anteil in der CHEMIS enthalten sind, konnte schon in den vorangegangenen Berichten [4] festgestellt werden.

Es wurden insgesamt 64 verschiedene Verbindungen identifiziert, die nicht in CHEMIS enthalten sind. Es handelt sich in den meisten Fällen um solche, die einmal sehr spezifisch sind und selten (oft nur als Zwischenprodukte mit kurzer Lebensdauer) vorkommen und nicht nach Gefahrstoffverordnung geregelt sind.

Die Mehrzahl dieser Verbindungen kann man in eine der folgenden Gruppierungen einordnen:

- Cyclische Verbindungen (Cycloalkane, -alkene, cycl. Ketone, Diene),
- substituierte Alkane, Alkene, Ketone, Alkanole (vorwiegend C₅-C₁₅),
- substituierte Benzene,
- substituierte Indan-, Inden-, Indol-Verbindungen,
- substituierte Naphthalene und Phenanthrene
- substituierte Furane und Benzofurane
- weitere ungesättigte Verbindungen wie Diene, Diine

Aufgrund der geringen Verbreitung bzw. Anwendung dieser Stoffe fehlen oft schon Angaben über physikalisch-chemische Parameter. Da diese Stoffe oftmals auch nicht nach dem Chemikaliengesetz geregelt sind, wäre schon deshalb ein hoher Rechercheaufwand nicht mehr gerechtfertigt, um diese Stoffe in CHEMIS zu integrieren.

Verbindungen (Ausnahme Interne Standards), die mehrfach nachgewiesen wurden und keine ausgesprochenen „Exoten“ darstellen, sollten vorgemerkt werden:

Tabelle 9: Mehrfach identifizierte Verbindungen

Verbindung	CAS-Nummer	Häufigkeit
Benzensulfonamid, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7	7
Benzofuran, 2-methyl	4265-25-2	4
1,3,8-p-Menthatrien	21195-59-5	4
1H-Inden, 1-methylen	2471-84-3	3
1H-Inden, 3-methyl	767-60-2	3
1H-Indol, 6-methyl	3420-02-8	3

Tabelle 9 (Fortsetzung): Mehrfach identifizierte Verbindungen

Verbindung	CAS-Nummer	Häufigkeit
3-Furaldehyd	498-60-2	3
5-Undecen	4941-53-1	3
1H-Inden, 1-methyl	767-59-9	2
1-Hexan, 3,5,5-trimethyl-	4316-65-8	2

Es handelt sich hierbei vor allem um Substanzen mit höherer CAS-Nummer.

Betrachtet man den Zeitraum 1997-1999, in dem die laufende Forschungsaufgabe mit o.g. Thema mit den bisher 3 Teilprojekten bearbeitet wurde, kann man eine kontinuierliche Fortschreibung der Gefahrstoffdatenbank CHEMIS und damit auch eine damit verbundene Bewertung der mittels GC-MS analysierten Verbindungen erkennen.

Tabelle 10: Erkennbare Fortschreibung CHEMIS

Identifizierte Verbindungen	Teil I (01/97-10/97)	Teil II (11/97-06/98)	Teil III (07/98-05/99)
in CHEMIS enthalten	72,5 %	80,4 %	86,9 %
umfassend (u.a. feuerwehrspezifisch) bewertet	62,9 %	66,6 %	78,6 %

2.4 Methodenentwicklung

In zunehmendem Maße werden für spezielle analytische Aufgabenstellungen Methoden festgelegt, die genaue Angaben darüber enthalten, wie bestimmte Komponenten analysiert werden sollen. Dieses ist nur möglich, wenn Stoffe in bestimmte Substanzklassen mit ähnlichen Eigenschaften (vor allem Siedepunkt, Polarität, Adsorptionsverhalten) zusammengefasst werden können.

So finden heute neben den deutschen DIN-Normen und VDI-Richtlinien internationale Methoden (EPA, NIOSH, OSHA, ASTM) Verwendung. Auf dieser Grundlage werden in Spezial- und Routinelabors Applikationen erarbeitet.

In den Methoden wird das komplette analytische Verfahren, d.h. Probenvorbereitung (Sammlung, Anreicherung) und Probenaufgabe sowie die Parameter für die Substanztrennung im GC (Säulenmaterial, -länge, T-Programm, Trägergas u.a.), beschrieben.

Ausgehend von den Untersuchungen der Proben aus dem Pressvorgang der Aluminium-sprayflaschen sollte untersucht werden, inwieweit leichtflüchtige organische Stoffe (niedrige aliphatische Kohlenwasserstoffe und Halogenkohlenwasserstoffe) mit den vorhandenen gerätetechnischen Mitteln getrennt und nachgewiesen werden können.

Hierzu sollte zum Einen die Leistungsfähigkeit des Gerätesystems GC-MS 640 an seiner unteren Grenze getestet werden, zum Anderen die Standard-Methode (siehe Kapitel 2) diesbezüglich variiert werden. Aufgabe war nicht, eine komplexe Methode für die Analyse dieser Gase zu entwickeln in Anlehnung an bestehende Standards und Laborvorschriften, sondern mit unseren Gegebenheiten die Standard-Methode soweit zu verändern, dass ein befriedigendes Ergebnis für ein schnelles Screeningverfahren erreicht wird.

Analog sollte eine Methode für PAK entwickelt werden, denn auch die o.g. Versuchsergebnisse zeigen wiederum, dass diese Stoffklasse bei Bränden bevorzugt gebildet wird.

2.4.1 Methode für leichtflüchtige organische Verbindungen (Gase)

Für die Analyse von Gasen und leichtflüchtigen Komponenten hat sich in den letzten Jahren der Einsatz von PLOT-Kapillarsäulen (Porous Layer Open Tubular), z.T. mit Al_2O_3 -Beschichtung und KCl- oder Na_2SO_4 -Desaktivierung bewährt [14,18].

Als Adsorptionsmedium zur Probenahme werden bei o.g. Stoffen vor allem Carbosieve SIII allein oder in Kombination mit einem anderen Adsorbens (z.B. Carboxen 569) [19], Anasorb CMS [20], u.U. auch Aktivkohle/Kokosnuss eingesetzt.

Ziel der Aufgabenstellung war es, unter Variation der vorhandenen technischen Mittel (GC-Säulen, Adsorptionsröhrchen) die Standard-Methode so zu ändern, dass sie auch für leichtflüchtige Komponenten für ein Screening eingesetzt werden kann [21].

Ausgangssituation:

Standard-Einsatz-Methode

GC-Säule:	7,5 m-DB1
Adsorptionsmittel:	TENAX® TA
Desorptionszeit:	1,5 min
Desorptionstemperatur:	240 grd C
Injektionszeit:	15 s
Anfangstemperatur:	38 grd C
Endtemperatur:	240 grd C
Temperaturgradient:	35 K/min
Trägergas / -druck:	gereinigte Luft / 300 hPa

Es lagen vor:

- ⇒ GC-Tennsäulen:
- 7,5 m-DB1
 - 12,5 m-DB5
 - 3,5 m-DB5
- ⇒ Adsorptionsmedien:
- TENAX® TA
 - TENAX® GR
 - GK-Sorb® 350
 - GK-Sorb® 310 / TENAX® TA
- ⇒ Testsubstanzen:
- Prüfgas 100 ppm 2-Methylpropen
 - Prüfgasgemisch je 100 ppm der folgenden Gase in Helium: Methan, Ethan, Propan, Butan, 2-Methylpropan
 - Realprobe FCKW-Gemisch aus PUR-Verbundwerkstoff

In Vorversuchen wurden zunächst aus einer Vielzahl von Adsorptionsröhrchen die für diese Aufgabenstellung geeigneten ausgewählt [22].

Mit den o.g. Röhrchen erfolgten danach 3 verschiedene Untersuchungen:

Erstens wurden 100 ml Prüfgas 100 ppm 2-Methylpropen aufgegeben und danach mit 100 ml Luft (1 Hub mit Prüfröhrchenpumpe) gespült. Die Ergebnisse sollten eine erste Aussage über die Adsorptionskraft der Adsorbentien für diese Kohlenwasserstoffe liefern. Danach erfolgte eine Probenahme aus dem Sandwich-Verbundwerkstoff. Dieser enthielt, wie in Vorversuchen geklärt werden konnte, Dichlordifluormethan und Trichlorfluormethan. Dabei wurde die Möglichkeit der Anreicherung stark polarer Verbindungen geprüft. Schließlich erfolgte noch die Probenahme der Verbindungen aus dem Prüfgasgemisch.

Die Analyse der Röhrchen nach Aufgabe von 100 ppm 2-Methylpropen erbrachte, dass dieses Gas auf allen Röhrchen angereichert wurde. Die Identifizierung über die Vergleiche mit den Bibliotheksspektren erbrachten eine gute Übereinstimmung (Angaben der Purity-Werte):

- TENAX® TA: 846
- TENAX® GR: 905
- GK-Sorb® 350: 928
- GK-Sorb® 310/TENAX® TA: 825

Es kann festgestellt werden, dass der Nachweis bestimmter einzelner Gase möglich ist. Voraussetzung hierfür allerdings ist, dass die wenigen vorhandenen Molekülbruchstücke dieser Verbindungen zur Identifizierung ausreichen und diese sich möglichst nicht mit denen des Trägergases (Luft) überlagern.

Die Probenahme der FCKW aus dem PUR-Sandwich-Verbundmaterial erbrachte folgende Ergebnisse:

- TENAX® TA: Dichlordifluormethan 922, Trichlorfluormethan 934
- TENAX® GR: Trichlorfluormethan 938
- GK-Sorb® 350: Dichlordifluormethan 959, Trichlorfluormethan 940
- GK-Sorb® 310/TENAX® TA: Trichlorfluormethan 914

Hier zeigen sich schon Unterschiede. Nur noch 2 Röhrchen erlauben die Wiederfindung des Dichlordifluormethans. Die Verbindungen mit Chlor- und Fluoratomen lassen sich im Allgemeinen gut nachweisen, die Purity-Werte liegen über 900.

Als Letztes wurde nun das Prüfgasgemisch mit den 5 Bestandteilen aufgegeben:

- TENAX[®] TA: 2-Methylpropan 907
- TENAX[®] GR: 2-Methylpropan 889
- GK-Sorb[®] 350: Propan 640, 2-Methylpropan 946
- GK-Sorb[®] 310/TENAX[®] TA: 2-Methylpropan 905

Im Ergebnis der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass lediglich Propan und 2-Methylpropan überhaupt wiederzufinden sind. Propan lässt sich nur mit dem GK-Sorb[®] 350 detektieren. Eine Ursache wäre, dass auf den anderen Adsorbentien keine Anreicherung erfolgt ist. Wahrscheinlicher aber und z. T. an den Spektren erkennbar ist, dass die Gase in der Kapillarsäule nicht getrennt werden können, da die Retentionszeiten zu dicht beieinander liegen. Dies ist in erster Linie auf die fehlende Wechselwirkung mit der stationären Phase zurückzuführen.

Vorversuche hinsichtlich GC-Säule wurden auch mit der 7,5 m-Säule durchgeführt, was natürlich zu noch schlechteren Trennungen führte. Daher wurden für alle weiteren Analysen nur noch die 12 m-DB5-Säule eingesetzt. Um die Trennung so gut wie möglich zu gestalten, wurde isotherm bei 40 grd C gearbeitet. Die Analysendauer betrug 3 Minuten.

Nach diesen Erkenntnissen kann die erarbeitete Methode nur eine Empfehlung für ein Screening sein, wie sich in diesem entsprechenden Fall, leichtflüchtige organische Verbindungen (Gase) unter den gegebenen Bedingungen mit der bestmöglichen Genauigkeit nachweisen lassen:

GC-Säule:	12,5 m-DB5
Adsorptionsmittel:	GK-Sorb [®] 350
Desorptionszeit:	0,8 min
Desorptionstemperatur:	240 grd C
Injektionszeit:	10 s
Anfangstemperatur:	40 grd C (3 min)
Endtemperatur:	40 grd C
Säulendruck:	300 hPa

Die Verwendung entsprechender GC-Säulen (siehe oben) sowie Stickstoff als Trägergas könnten bei entsprechenden Aufgabenstellungen zu besseren Ergebnissen führen.

2.4.2 Methode für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Es besteht großes Interesse an der Bestimmung dieser Stoffe, da viele dieser Verbindungen carcinogen wirken und daher gesundheitlich außerordentlich bedenklich sind. PAK werden bei fast jeder Verbrennung gebildet. Bei Sauerstoffmangel oder zu geringer Temperatur während der Verbrennung kommt es zur Bildung von C₂H₂-Bruchstücken, die dann bei höheren Temperaturen radikalisch zu Benzen und PAK-Grundkörpern cyclisieren. Diese Reaktionsprodukte sind wiederum in der Lage, größere PAK zu bilden. Daher ist die Anzahl der im Brandrauch vorkommenden PAK stets sehr groß (siehe auch Kapitel 2.2.2). PAK lagern sich bevorzugt an die im Brandrauch vorhandene Rußmatrix an, was ihre Bioverfügbarkeit teilweise mindert.

Für den Nachweis gibt es auch hier verschiedene Methoden je nach spezieller Aufgabenstellung. Nach DIN ISO 12884 [21] werden die zu analysierenden Stoffe nicht allein auf Adsorptionsröhrchen angereichert, sondern zusätzlich auf speziellen Filtern. Dies ist nötig, da bei der Probenahme wegen der geringen Konzentration in der Luft größere Durchsätze nötig sind. Dabei verdampfen die zunächst adsorbierten leichterflüchtigen PAK schon wie-

der. Mittels des Filters kann dies verhindert werden. Da auch der Filter PAK-belastet ist, muss dieser ebenfalls analysiert werden. Dazu wird mit Dichlormethan oder Toluol desorbiert und eingeeengt. Die Lösung wird dann gaschromatographisch analysiert. Die Analyse nach DIN erfolgt mit dem folgenden Temperaturprogramm: 60 grd C (2 min) - 8 K/min - 290 grd C (12 min); Injektor: 275-300 grd C; Trägergas: Helium (40 cm/s).

Auch die HPLC wird zur Bestimmung von PAK eingesetzt [23].

Zur Modifizierung der Standard-Einsatz-Methode wurde nach 2 Verfahren vorgegangen. Ausgangspunkt waren jeweils 9 PAK (in Bränden häufig nachgewiesen, 6 davon aus der Liste der 16 PAK nach EPA [24]):

Acenaphthen, Anthracen, Benzofuran, Dibenzofuran, Fluoren, Inden, Naphthalen, Phenanthren, Pyren.

Zum Einen wurde eine Lösung der Stoffe in Trichlormethan hergestellt, zum Anderen wurden die Stoffe in einem Kolben vermischt (Menge der Stoffe in Abhängigkeit des Dampfdruckes) und die Beprobung aus der Dampfphase vorgenommen.

Die Analyse erfolgte mit einem nach Vorversuchen erstellten Temperaturprogramm, als Kapillarsäule diente eine 3,5 m-DB5-Säule. Variiert wurde mit folgenden Adsorptionsmitteln:

TENAX® TA, TENAX® GR, Molsieb 5A und TENAX® TA/GK-Sorb® 350.

Die Probenahme aus der Dampfphase erwies sich als vorteilhafter. Die Peakflächen der detektierten PAK (Mittelung aus 3 Vermessungen) sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Peakflächen detektierter PAK

Substanz	TENAX® TA	TENAX® GR	Molsieb 5A	TENAX® TA/ GK-Sorb® 350
Acenaphthen	8.420.275	11.379.967	5.097.190	17.312.750
Anthracen	1.712.933	2.196.400	942.110	3.655.650
Benzofuran	500.414.500	585.291.800	117.627.000	394.705.000
Dibenzofuran	13.197.600	12.062.333	13.492.825	16.377.750
Fluoren	2.283.725	2.341.100	1.588.780	2.891.875
Inden	463.409.500	449.505.667	80.178.750	451.016.667
Naphthalen	345.810.000	309.620.000	367.982.000	360.242.500
Phenanthren	-	-	-	-
Pyren	-	1.803.000	-	2.020.597

Die Auswertung zeigt, dass nach der Aufgabe von gasförmigen Proben fast alle PAK unter Verwendung der verschiedenen Röhrchen wiedergefunden wurden. Lediglich Phenanthren konnte wegen des sehr niedrigen Dampfdruckes nicht detektiert werden. Pyren war nur mit zwei Röhrchen nachweisbar.

Daher war eine Auswertung nur über die Peakflächen möglich. Die Tabelle verdeutlicht, dass es bei den Flächeneinheiten des Acenaphthens Unterschiede bis 100 % gibt. Bei den anderen Substanzen liegen die Schwankungen aber nur bei ca. 10-20 %. In der Summe liefert das Kombinationsröhrchen TENAX® TA/GK®-Sorb 350 die grössten Peakflächen. Bei Verwendung dieser Adsorbensmischung kann angenommen werden, dass auch beim Auftreten geringer Mengen PAK diese noch sicher detektiert werden können. Bei den Versu-

chen konnten Empfehlungen von Herstellern nicht bestätigt werden, dass das Molsieb 5A für diese Analysen besonders geeignet ist.

Aus den Ergebnissen können folgende Parameter für die Analyse von PAK abgeleitet werden:

GC-Säule:	3,5 m-DB5
Adsorptionsmittel	TENAX® TA/GK-Sorb® 350
Desorptionszeit:	2 min
Desorptionstemperatur:	240 grad C
Injektionszeit:	20 s
Anfangstemperatur:	70 grad C (0,5 min)
Endtemperatur:	240 grad C (2 min)
Temperaturgradient:	40 K/min
Säulendruck:	300 hPa

Ähnliche Überlegungen wurden auch für höhermolekulare Alkanole (C₇ - C₁₄), die in o.g. Bränden häufig nachgewiesen wurden, angestellt [21].

3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Entsprechend der Aufgabenstellung wurden im Berichtszeitraum 30 weitere Stoffe mittels der vorgegebenen Erfassungsmaske feuerwehrspezifisch bewertet.

Mit der Einarbeitung in eine Datenerfassungs- und Datenbearbeitungs-Software des GSBL im GSBL-Schnittstellenformat (Software zur lokalen Erfassung und Bearbeitung von Daten aus dem GSBL) wurde begonnen.

In die Suche nach relevanten Daten für eine feuerwehrspezifische Bewertung (physikalisch-chemische Grunddaten, Sicherheitsdatenblätter u.ä.) wurden verstärkt INTERNET-Recherchen mit einbezogen.

Die Mitarbeit im Rahmen des GSBL, insbesondere in den Arbeitsgruppen „Qualitätssicherung und „Endanwendersicht“ sowie im Lenkungsausschuss wurde fortgesetzt.

Zur Schaffung weiterer Grundlagen für eine Datengewinnung und den Ausbau der Datenbasis (CHEMIS) wurden GC-MS-Analysen von realen Schadensereignissen und Versuchsbränden ausgewertet.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die meisten bei Schadensereignissen und bei Versuchsbränden identifizierten Substanzen in CHEMIS enthalten waren (ca. 87%). Hierbei handelt es sich in der Regel nach Gefahrstoffrecht geregelte Stoffe.

Ca. 9 % der mittels GC-MS-Analyse identifizierten Verbindungen, die im Verzeichnis von CHEMIS aufgeführt sind, werden ohne weitere wertende Aussagen, d.h. oft nur unter Angabe des Stoffnamens und der CAS-Nummer „angeboten“. Eine feuerwehrelevante Bewertung fehlt gänzlich. Dies ist ein Ansatzpunkt für weitere Stoffbewertungen im Rahmen einer Fortführung des Themas.

Bei einigen identifizierten Stoffen, die nicht in CHEMIS enthalten sind, handelt es sich um sehr spezielle Chemikalien, nicht selten um chemische Zwischenprodukte, die auch nicht nach Gefahrstoffverordnung geregelt sind. Aufgrund der geringen Verbreitung bzw. Anwendung fehlen in den meisten Fällen auch Angaben zu den physikalisch-chemischen Parametern. Über eine Integration in CHEMIS bzw. in den GSBL sollte in Abstimmung mit den Datenbankbetreibern entschieden werden.

Je nach analytischer Aufgabenstellung sollten abweichend von der Standard-Einsatz-Methode auch für ein schnelles Screening die Methoden bezüglich Probenaufbereitung (u.a. Adsorptionsmittel) und analytischer Parameter in Anlehnung an Standards und erprobte Laborvorschriften modifiziert werden. Erste Grundlagen hierzu wurden im Berichtszeitraum für die Stoffklassen „leichtflüchtige organische Verbindungen (Gase)“ und „polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)“ erarbeitet.

Die Untersuchungen bezüglich weiterer geeigneter Adsorptionsmedien in Form konfektioniierter Röhrchen sowohl zur Erfassung eines vielfältigen Substanzspektrums (Brandgase) als auch spezieller Stoffklassen sollten kontinuierlich fortgesetzt werden.

Die Arbeiten im Rahmen der Entwicklung weiterer GC-MS-Methoden, vor allem die Herausarbeitung geeigneter Probenahme- und Probenvorbereitungspraktiken, sollten fortgeführt werden.

4 Literatur

- [1] BRUKER DALTONIK GmbH: Arbeitsmaterialien GC-MS EM 640
Homepage <http://www.bruker-daltonik.de/products.html>
- [2] Richter, S.: Mit „GC-MS“ den Gefahrstoffen auf der Spur, Feuerwehr in Sachsen-Anhalt, 7 (1997) 3
- [3] Roth, L.; Weller, U.: Gefährliche Chemische Reaktionen, ecomed, Loseblattausgabe, Landsberg/Lech 1997
- [4] Steinbach, K.; Richter, S.; Schuppe, F.: Bewertung von Gefahrstoffen entsprechend Feuerwehr-Erfassungsmaske sowie Schaffung von Grundlagen zur Datengewinnung bei Bränden und/oder Gefahrstofffreisetzungen zwecks Ausbaus der Datenbasis, Forschungsberichte Nr. 110 und 115, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, 1997 und 1998
- [5] Matz, G.; Harder, A.; Schillings, A.; Rechenbach, P.: Schnellanalyse bei Chemieunfällen und Bränden mit mobilem GC-MS, Forschungsbericht BMBF 01 VQ 9109/3, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1995
- [6] vfdb-Richtlinie 10/03 „Schadstoffe bei Bränden“
- [7] RÖMPP Chemie Lexikon, CD, Vers. 1.0, 9.Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1995
- [8] Möschwitzer, G.; Steinbach, K.: Modellhafte Sanierung von Altlasten am Beispiel des kampfstoffkontaminierten Rüstungsaltlastenstandortes Löcknitz in Mecklenburg-Vorpommern (Unterarbeitspaket AP 160: Verhalten kampfstoffkontaminierter Böden im Brandfalle), im Auftrage des Landesamtes für Umwelt und Natur (LAUN) Mecklenburg-Vorpommern, Berlin/Heyrothsberge/Faßberg, 1999
- [9] Schuppe, F.: Schadgase im Brandfall - Brandstoffspezifik, Relevanz und Bewertungskonzept, Institutsbericht Nr. 321, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, 1993
- [10] Mc Mahon, C. K.; Tsoukalas, S. N.: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Forest Fire Smoke, Carcinogenesis, Vol. 3, 1978, S. 61-73
- [11] Ryan, P. W.; Mc Mahon, C. K.: Some Chemical and Physical Characteristics of Emissions from Forest Fire, Paper No. 76-2.3, pres. at the 69th Annual Meeting of the Air Poll. Contr. Ass., Portland, Oregon, 22.6.-1.7.1976
- [12] Steinbach, K.: Gutachten über eine mögliche Brandentstehung in der VIVO Recyclinganlage Holzkirchen/Landkreis Miesbach infolge Inbrandsetzung von Rauchpulver für Imitationszwecke in Verbindung mit Behältnissen aus brennbarem Kunststoff, im Auftrage des Amtsgerichts Miesbach, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, 1999
- [13] Pleß, G.: interne Untersuchungen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, 1998, nicht veröffentlicht
- [14] Schomburg, G.: Gaschromatographie - Grundlagen, Praxis, Kapillartechnik, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1987
- [15] Richter, S.; Marquard, U.: interne Untersuchungen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, 1998, nicht veröffentlicht

- [16] Pasch, U.: Anforderungsprofil für Schutzkleidung der Feuerwehr für die Brandbekämpfung, Forschungsbericht Nr. 99, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 1996
- [17] Marquardt, U.: Thermische Eigenschaften der Feuerwehreinsatzkleidung bei variabler Feuchte und Nässe, Diplomarbeit, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, 1998
- [18] Chrompack: Reproduzierbare Kapillarsäulen, Katalog, Chrompack International, 1996
- [19] Schillings, A.: Anreicherung von leichtflüchtigen Schadstoffen an unterschiedliche Adsorbentien zur thermischen Desorption und quantitative Analyse mit Gaschromatographie-Massenspektrometrie, Diplomarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1993
- [20] Das Handbuch für Luftprobenahme - Katalog und Führer, SKC. MTC Messtechnik - Chemie GmbH, Müllheim, 1998
- [21] Trenn, A.: Ausarbeitung von Methoden für spezielle Substanzklassen zur Analytik mit dem GC-MS EM 640, Diplomarbeit, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt/ Fachhochschule Magdeburg, 1998
- [22] DIN ISO 12884: Luftbeschaffenheit - Bestimmung von gasförmigen und partikelgebundenen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in der Außenluft - Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien und anschließender gaschromatischer/massenspektrometrischer Analyse, Ausgabe 01/98
- [23] Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Bodenproben, Merkblätter Nr. 1, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 1994
- [24] Hübschmann, H.-J.: Handbuch der GC/MS, S. 456, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1996

Anlage

Ergebnisse der GC-MS-Analysen

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Tabelle 13: Versuche

Erläuterungen zu den Tabellen

In den Tabellen 12 und 13 wurden die Daten der GC-MS-Analysen aus den Reports des Datenauswerteprogramms (DA) des GC-MS EM 640 übernommen.

Spalte 2: Area% - prozentualer Anteil der Substanz an der Gesamtmenge der identifizierten Substanzen (anhand Peakfläche). Es wurden die Hauptkomponenten bis ca. 0,2 Area% berücksichtigt.

Spalte 3: Die selben Substanzen können auf Grund der Suche in verschiedenen Spektrenbibliotheken in unterschiedlichen Schreibweisen (z.B. deutsch/englisch, Großschreibweise) angegeben sein, deshalb auch Angabe der CAS-Nr. in Spalte 4

Spalte 5: (*) - Suche über das DA in CHEMIS ergab kein Gefahrensymbol (d.h. Substanz nicht in GefStoffV)

Spalte 7: ja - Substanz nach GefStoffV bewertet
nein - Substanz nicht nach GefStoffV bewertet

Spalte 8: ja - Substanz in CHEMIS enthalten, umfassend, d.h. auch feuerwehrspezifisch bewertet
ja* - Substanz in CHEMIS enthalten, meist nur wenige Grunddaten angegeben, bei einigen Unterfunktionen [F2]: „Zu diesem Stoff keine Angaben!“
nein - Substanz nicht in CHEMIS enthalten

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 178

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef. Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	21,0	Anthracene	120-12-7	Xn		ja	ja
2	18,8	FLUORANTHENE	206-44-0	Xn		ja	ja
3	11,5	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
4	5,1	Benzene	71-43-2	FT	8	ja	ja
5	4,9	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja	ja
6	3,0	Octane	111-65-9	F	2350	ja	ja
7	3,0	1-Hexene, 3,5,5-trimethyl-	4316-65-8	(*)		nein	nein
8	2,5	Styrene	100-42-5	Xn	85	ja	ja
9	2,2	1-Hexadecanol	36653-82-4	Xi		ja	ja*
10	1,7	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja	ja
11	1,5	8,9-Dihydrocyclopenta[def]phenanthrene	27410-55-5	(*)		nein	nein
12	1,5	Fluorene	86-73-7	(*)		nein	ja
13	1,4	1H-Indene, 1-phenyl-	1961-96-2	(*)		nein	nein
14	1,3	Dibenzofuran	132-64-9			ja	ja
15	1,1	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
16	1,1	Benzofuran	271-89-6	(*)		nein	ja
17	1,1	ACENAPHTHENE	83-32-9			ja	ja
18	1,0	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja	ja
19	0,9	Dibenzothiophene	132-65-0	(*)		nein	ja*
20	0,9	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja	ja
21	0,9	p-Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
22	0,8	1-Octene	111-66-0	F		ja	ja
23	0,6	Decane	124-18-5			ja	ja
24	0,5	Diethyl Phthalate	84-66-2	Xi		ja	ja
25	0,4	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja	ja
26	0,4	BENZONITRILE	100-47-0	Xn		ja	ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 179

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	27,6	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
2	8,5	Cyclododecane	294-62-2	(*)		nein	ja*
3	5,8	Naphthalene-D8- (Intermer Standard)	1146-65-2	(*)		nein	nein
4	5,7	Pentane, 2,4-dimethyl-	108-08-7	F	2000	ja	ja*
5	5,4	Anthracene	120-12-7	Xn		ja	ja
6	5,1	Heptane	142-82-5	F	2000	ja	ja
7	2,6	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja	ja
8	4,2	Decane, 1-chloro-	1002-69-3	(*)		nein	ja*
9	2,0	PYRENE	129-00-0	Xn		ja	ja
10	1,6	p-Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
11	1,5	Decane	124-18-5			ja	ja
12	1,4	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
13	1,4	Dibenzofuran	132-64-9			ja	ja
14	1,1	NAPHTHALENE, 1-METHYL-	90-12-0	Xn		ja	ja
15	1,0	Styrene	100-42-5	Xn	85	ja	ja
16	1,0	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja	ja
17	0,8	Diethyl Phthalate	84-66-2	Xi		ja	ja
18	0,8	Fluorene	86-73-7	(*)		nein	ja
19	0,4	Biphenyl	92-52-4	XiN	1	ja	ja
20	0,3	Phenol	108-95-2	T	19	ja	ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 180

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	13,8	2-Pentanone, 5-chloro-	5891-21-4			ja	ja*
2	8,7	HEXADECANOIC ACID	57-10-3	(*)		nein	ja
3	8,4	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein	ja
4	5,6	Acetonitrile	75-05-8	F T	70	ja	ja
5	4,6	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja	ja
6	4,2	Tetradecanoic acid	544-63-8			ja	ja
7	3,2	Cyclopropane, octyl-	1472-09-9	(*)		nein	nein
8	2,9	Anthracene	120-12-7	Xn		ja	ja
9	2,0	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
10	2,0	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
11	1,8	Benzenesulfonamide, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7	(*)		nein	nein
12	1,3	METHYLENE CHLORIDE	75-09-2	Xn	360	ja	ja
13	1,2	2-BUTANONE	78-93-3	F Xi	590	ja	ja
14	1,0	Butane, 1-chloro-2-methyl-	616-13-7	(*)		nein	ja*
15	0,8	1-Nonanol	143-08-8			ja	ja
16	0,8	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja	ja
17	0,7	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja	ja
18	0,7	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
19	0,6	Dibenzofuran	132-64-9			ja	ja
20	0,4	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja	ja
21	0,4	FLUORENE	86-73-7	(*)		nein	ja
22	0,4	Benzene	71-43-2	F T		ja	ja
23	0,3	Phenol	108-95-2	T	19	ja	ja
24	0,3	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 181						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	13,0	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein ja
2	6,6	Tetradecanoic acid	544-63-8			ja ja
3	6,1	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja ja
4	5,7	Anthracene	120-12-7	Xn		ja ja
5	5,0	Acetonitrile	75-05-8	FT	70	ja ja
6	3,1	1-Pentadecanol	629-76-5	(*)		nein ja*
7	2,8	Benzenesulfonamide, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7			nein nein
8	1,9	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1-phenyl-	3018-20-0	(*)		nein nein
9	1,9	PYRENE	129-00-0	Xn		ja ja
10	1,7	Acetone	67-64-1	F	1200	ja ja
11	0,8	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
12	0,8	Decanal	112-31-2			ja ja*
13	0,7	Isopropyl alcohol	67-63-0	F	490	ja ja
14	0,7	Naphthalene	91-20-3	Xn	50	ja ja
15	0,6	PHENANTHRENE, 9-METHYL-	883-20-5	(*)		nein nein
16	0,5	Diethyl Phthalate	84-66-2	Xi		ja ja
17	0,5	Decanoic acid	334-48-5	(*)		nein ja*
18	0,5	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja ja
19	0,5	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
20	0,4	2-Nonen-1-ol, (E)-	31502-14-4	(*)		nein nein
21	0,4	Benzene	71-43-2	F T		ja ja
22	0,4	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 182

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	16,2	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein	ja
2	9,5	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
3	7,2	1-Hexadecanol	36653-82-4	Xi		ja	ja*
4	5,7	HEXADECANOIC ACID	57-10-3	(*)		nein	ja
5	4,0	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja	ja
6	3,4	PYRENE	129-00-0	Xn		ja	ja
7	3,2	Acetonitrile	75-05-8	FT	70	ja	ja
8	2,2	ANTHRACENE	120-12-7	Xn		ja	ja
9	2,1	Benzenesulfonamide, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7	(*)		nein	nein
10	1,7	Tetradecanoic acid	544-63-8			ja	ja
11	1,6	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
12	1,1	3-Ethylheptanoic acid	14272-47-0	(*)		nein	nein
13	1,0	Hexane	110-54-3	F Xn	180	ja	ja
14	0,8	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
15	0,8	Heptanal	111-71-7	Xi		ja	ja
17	0,6	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja	ja
18	0,6	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja	ja
19	0,5	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn		ja	ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 183

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	16,0	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein	ja
2	8,7	1-Tridecanol	112-70-9	(*)		nein	ja
3	7,5	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja	ja
4	3,4	HEXADECANOIC ACID	57-10-3	(*)		nein	ja
5	2,9	Benzenesulfonamide, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7	(*)		nein	nein
6	2,2	Hexane	110-54-3	F Xn	180	ja	ja
7	2,1	Diethyl Phthalate	84-66-2	Xi		ja	ja
8	2,0	Dodecanoic acid	143-07-7			ja	ja
9	1,9	Acetonitrile	75-05-8	FT	70	ja	ja
10	1,8	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
11	1,3	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
12	1,0	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
13	0,9	Octanoic acid	124-07-2	Xi		ja	ja
14	0,8	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja	ja
15	0,8	ANTHRACENE	120-12-7	Xn		ja	ja
16	0,7	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja	ja
17	0,7	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja	ja
18	0,7	2-Octen-1-ol	22104-78-5	(*)		nein	nein
19	0,5	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	103-11-7	Xi	-	ja	ja
20	0,5	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja	ja
21	0,4	ETHYLBENZENE	100-41-4	F Xn	440	ja	ja
22	0,4	Benzyl alcohol	100-51-6	Xn		ja	ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühnhaus, Analysen-Nr. 184						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	22,0	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		ja
2	4,5	Benzenesulfonamide, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7	(*)		nein
3	3,9	Cyclododecane	294-62-2	(*)		ja*
4	2,5	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja
5	2,5	FLUORANTHENE	206-44-0	Xn		ja
6	2,1	Tetradecanoic acid	544-63-8			ja
7	1,9	Pentanoic acid, 3-methyl-	105-43-1	C		ja*
8	1,7	1H-Indole, 2,3-dihydro-1,3,3-trimethyl-2-methylene-	118-12-7	(*)		ja*
9	1,6	2-Cyclopropen-1-one, 2,3-diphenyl-	886-38-4	(*)		ja*
10	1,3	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja
11	0,9	Nonanoic acid	112-05-0	C		ja
12	0,8	Benzenamine, N,N-Diethyl-	91-66-7	TN	31	ja
13	0,6	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja
14	0,5	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja
15	0,5	ETHYLBENZENE	100-41-4	F Xn	440	ja
16	0,4	2-Heptenal, (E)-	18829-55-5	(*)		nein
17	0,3	Styrene	100-42-5	Xn	85	ja
18	0,3	Toluene	108-88-3	F Xn	190	ja
19	0,3	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja
20	0,2	Decanal	112-31-2			ja*
21	0,2	Butanoic acid	107-92-6	C		ja
22	0,2	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 187

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	13,5	Hexadecanal	629-80-1	(*)		nein	nein
2	11,0	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein	ja
3	9,6	1-Pentadecanol	629-76-5	(*)		nein	ja*
4	6,4	Cyclododecanol	1724-39-6	(*)		nein	ja
5	5,5	Acetonitrile	75-05-8	FT	70	ja	ja
6	4,2	HEXADECANOIC ACID	57-10-3	(*)		nein	ja
7	2,9	Tetradecane, 1-chloro-	2425-54-9	(*)		nein	ja*
8	2,4	Benzenamine, N,N-Diethyl-	91-66-7	TN	31	ja	ja
9	1,8	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
10	1,6	Benzenesulfonamide, 4-methyl-N-propyl-	1133-12-6	(*)		nein	nein
11	1,6	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
12	1,4	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja	ja
13	1,4	ACETONE	67-64-1	F	1200	ja	ja
14	1,3	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja	ja
15	0,9	Ethylamine	75-04-7	F+ Xi	9	ja	ja
16	0,8	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja	ja
17	0,8	Butanoic acid	107-92-6			ja	ja
18	0,5	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
19	0,5	2-Propanol, 2-methyl-	75-65-0	F Xn	300	ja	ja
20	0,4	Acetaldoxime	107-29-9	Xi		ja	ja

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 188

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	10,4	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein	ja
2	7,7	Cyclododecane	294-62-2			nein	ja*
3	7,5	FLUORANTHENE	206-44-0	Xn		ja	ja
4	7,1	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
5	6,2	Anthracene	120-12-7	Xn		ja	ja
6	4,7	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
7	3,0	Benzene	71-43-2	FT		ja	ja
8	2,5	ETHANOL, 2-BUTOXY-	111-76-2	Xn	100	ja	ja
9	1,8	Propane, 1-nitro-	108-03-2	Xn	92	ja	ja
10	1,8	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja	ja
11	1,5	Benzenesulfonamide, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7	(*)		nein	nein
12	1,5	ETHYLBENZENE	100-41-4	F Xn	440	ja	ja
13	1,3	7-Heptadecene, 1-chloro-	56554-78-0	(*)		nein	nein
14	1,2	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
15	1,2	Hexane	110-54-3	F Xn	180	ja	ja
16	1,1	HEXADECANOIC ACID	57-10-3	(*)		nein	ja
17	1,1	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja	ja
18	0,8	Decane, 1-chloro-	1002-69-3	(*)		nein	ja*
19	0,8	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja	ja
20	0,8	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja	ja
21	0,7	FLUORENE	86-73-7	(*)		nein	ja
22	0,7	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja	ja
23	0,6	Ethanol, 2-(1-methylethoxy)-	109-59-1	Xn	22	ja	ja
24	0,5	2-Phenylnaphthalene	35465-71-5	(*)		nein	nein
25	0,5	Hexane, 3-ethyl-4-methyl-	3074-77-9	(*)		nein	nein

Tabelle 12: Reale Schadensereignisse

Einsatz Magdeburg/Kühlhaus, Analysen-Nr. 189						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	14,7	Naphthalene-D8- (Interner Standard)	1146-65-2	(*)		nein nein
2	10,4	1-Heptadecene	6765-39-5	(*)		nein ja*
3	7,3	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein ja
4	7,2	Xylol D10 (Interner Standard)				nein nein
5	6,3	HEXADECANOIC ACID	57-10-3	(*)		nein ja
6	5,4	BENZENE-D6 (Interner Standard)	1076-43-3	FT		ja ja
7	4,7	Benzene-D5-, methyl-D3- (Interner Standard)	2037-26-5	F Xn		ja ja*
8	3,4	Decanal	112-31-2	(*)		ja ja*
9	2,5	FLUORANTHENE	206-44-0	Xn		ja ja
10	2,1	Benzenesulfonamide, N-ethyl-4-methyl-	80-39-7	(*)		nein nein
11	1,8	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
12	1,7	Anthracene	120-12-7	Xn		ja ja
13	1,6	BENZENE, 1,2-DIMETHYL-	95-47-6	Xn	440	ja ja
14	1,5	Acetone	67-64-1	F	1200	ja ja
15	0,9	Pentane, 2,2,3,4-tetramethyl-	1186-53-4	(*)		nein nein
16	0,9	Acetic acid, hydrazide	1068-57-1	(*)		nein ja*
17	0,6	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja ja
18	0,6	1-Heptene, 5-methyl-	13151-04-7	(*)		nein nein
19	0,6	BENZENE	71-43-2	FT		ja ja
20	0,5	ETHANOL, 2-BUTOXY-	111-76-2	Xn	100	ja ja
21	0,5	Tetradecanoic acid	544-63-8			ja ja
22	0,4	1-Hexene, 3,3,5-trimethyl-	13427-43-5	(*)		nein nein
23	0,3	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 357						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	19,8	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
2	18,5	BENZENE	71-43-2	F T	8	ja ja
3	8,9	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
4	7,8	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja ja
5	6,3	PHENOL	108-95-2	T	19	ja ja
6	6,1	Anthracene/Phenanthrene (?)	120-12-7	Xn		ja ja
7	2,7	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja ja
8	1,8	BENZALDEHYDE, 3-METHYL-	620-23-5	(*)		ja ja*
9	1,7	Benzofuran	271-89-6	(*)		nein ja
10	1,7	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja ja
11	1,6	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja ja
12	1,5	4-Tetradecanol	1653-33-4			nein nein
13	1,1	Naphthalene-D8- (Intermer Standard)	1146-65-2	(*)		nein nein
14	1,0	PHENYLETHYNE	536-74-3	Xi		ja ja
15	1,0	2-BUTENE	107-01-7	F+		ja ja
16	0,9	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
17	0,9	Pyridine	110-86-1	F Xn	15	ja ja
18	0,8	ETHYLBENZENE/Xylene (?)	100-41-4	F Xn	440	ja ja
19	0,8	INDENE	95-13-6	(*)		nein ja
20	0,8	Fluorene	86-73-7	(*)		nein ja
21	0,7	2-Propenenitrile	107-13-1	F T	7	ja ja
22	0,6	1H-Indene, 1-methyl-	767-59-9	(*)		nein nein
23	0,6	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja ja
24	0,6	Dibenzofuran	132-64-9			ja ja
25	0,5	1,3-CYCLOPENTADIENE	542-92-7		200	ja ja
26	0,5	Benzofuran, 7-methyl-	17059-52-8	(*)		nein nein
27	0,4	Acenaphthene	83-32-9			ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 357 (Fortsetzung)							
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,4	ISOQUINOLINE	119-65-3	Xn		ja	ja
29	0,4	INDOLE	120-72-9	Xn		ja	ja
30	0,4	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	T	22	ja	ja
31	0,3	Benzene-D5-, methyl-D3- (Interner Standard)	2037-26-5	F Xn		ja	ja*
32	0,3	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein	ja
33	0,3	PYRROLE	109-97-7			ja	ja
34	0,2	3-Furaldehyde	498-60-2	(*)		nein	nein
35	0,2	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
36	0,1	Sulfur Dioxid	7446-09-5	T	1,3	ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 358						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	23,3	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
2	15,6	1H-Indene, 1-methylene-	2471-84-3	(*)		nein
3	6,6	Benzonitrile	100-47-0	Xn		ja ja
4	6,1	1-Heptadecene	6765-39-5	(*)		nein ja*
5	4,9	Styrene	100-42-5	Xn	85	ja ja
6	4,5	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
7	4,2	FLUORANTHENE	206-44-0	Xn		ja ja
8	3,7	Benzene	71-43-2	F T	8	ja ja
9	3,4	Naphthalene-D8- (Intermer Standard)	1146-65-2	(*)		nein nein
10	2,5	Indene	95-13-6	(*)		nein ja
11	1,9	ANTHRACENE	120-12-7	Xn		ja ja
12	1,9	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja ja
13	1,5	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja ja
14	1,5	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja ja
15	1,4	PHENYLETHYNE	536-74-3	Xi		ja ja
16	1,2	Benzofuran	271-89-6	(*)		nein ja
17	1,0	Dibenzofuran	132-64-9			ja ja
18	1,0	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein ja
19	0,9	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
20	0,8	BENZENE, 1,2,3,5-TETRAMETHYL-	527-53-7			ja ja
21	0,6	INDOLE	120-72-9	Xn		ja ja
22	0,6	Fluorene	86-73-7	(*)		nein ja
23	0,5	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	T	22	ja ja
24	0,5	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
25	0,5	Naphthalene, 1-isocyano-	1984-04-9	(*)		nein nein
26	0,5	Benzene-D5-, methyl-D3- (Intermer Standard)	2037-26-5	F Xn		ja ja*
27	0,5	Tetradecanoic acid	544-63-8			ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 358 (Fortsetzung)							
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,4	ISOQUINOLINE	119-65-3	Xn		ja	ja
29	0,4	Benzofuran, 2-methyl-	4265-25-2	(*)		nein	nein
30	0,4	Pyridine	110-86-1	F Xn	15	ja	ja
31	0,3	OCTANE, 1-CHLORO-	111-85-3	(*)		nein	ja
32	0,2	1H-INDENE, 3-METHYL-	767-60-2	(*)		nein	nein
33	0,2	DECANE	124-18-5			ja	ja
34	0,2	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
35	0,1	Acetic acid, anhydride	108-24-7	C	20	ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 359						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	9,3	1-Heptadecene	6765-39-5	(*)		nein ja*
2	7,3	Naphthalene-D8- (Interner Standard)	1146-65-2	(*)		nein nein
3	6,4	Benzene	71-43-2	F T	8	ja ja
4	6,3	2-FURANCARBOXALDEHYDE	98-01-1	T	20	ja ja
5	4,3	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
6	3,2	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja ja
7	2,9	XyloI D10 (Interner Standard)				nein nein
8	2,5	PHENOL	108-95-2	T	19	ja ja
9	2,4	2-FURANCARBOXALDEHYDE, 5-METHYL-	620-02-0			ja ja*
10	2,3	Decane, 1-chloro-	1002-69-3	(*)		nein ja*
11	2,2	ACETONE	67-64-1	F	1200	ja ja
12	1,9	Dodecane	112-40-3	(*)		nein ja
13	1,8	FURAN, 2-METHYL-	534-22-5	F Xn		ja ja
14	1,7	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein ja
15	1,5	Pentadecane	629-62-9	(*)		nein ja*
16	1,4	MEQUINOL	150-76-5	Xn		ja ja
17	1,3	3-Tetradecene, (Z)-	41446-67-7	(*)		nein nein
18	1,2	PYRENE	129-00-0	Xn		ja ja
19	1,2	Benzene-D5-, methyl-D3- (Interner Standard)	2037-26-5	F Xn		ja ja*
20	1,2	Benzyl alcohol	100-51-6	Xn		ja ja
21	0,9	PYRIDINE	110-86-1	F Xn	15	ja ja
22	0,9	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja ja
23	0,8	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja ja
24	0,7	2-Furanmethanol	98-00-0	Xn	41	ja ja
25	0,7	Acetaldoxime	107-29-9	Xi		ja ja
26	0,7	Phenol, 3,4-dimethyl-	95-65-8	T N		ja ja
27	0,7	2-Hexyne	764-35-2	(*)		nein nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 359 (Fortsetzung)

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,7	Benzofuran	271-89-6	(*)		nein	ja
29	0,7	Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)-	1450-72-2	(*)		nein	ja*
30	0,6	1-Octene	111-66-0	F		ja	ja
31	0,5	DIBENZOFURAN	132-64-9			ja	ja
32	0,5	Acetonitrile	75-05-8	F T	70	ja	ja
33	0,5	Vanillin	121-33-5	Xn		ja	ja
34	0,4	Benzene, 1,3-dimethyl-	108-38-3	Xn	440	ja	ja
35	0,4	1-Hexene, 5-methyl-	3524-73-0	(*)		nein	nein
36	0,3	Hexane	110-54-3	F Xn	180	ja	ja
37	0,3	BENZENE, 1,4-DIETHYL-	105-05-5	(*)		nein	ja
38	0,3	PHENOL, 2-METHYL-	95-48-7	T	22	ja	ja
39	0,2	FURAN, 2,5-DIMETHYL-	625-86-5	F		ja	ja*
40	0,1	SULFUR DIOXID	7446-09-5	T	1,3	ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 360						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	10,3	2-FURANCARBOXALDEHYDE	98-01-1	T	20	ja ja
2	9,2	BENZENE	71-43-2	FT	8	ja ja
3	7,8	Cyclohexadecane	295-65-8	(*)		nein nein
4	5,2	Naphthalene-D8- (Interner Standard)	1146-65-2	(*)		nein nein
5	3,3	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
6	2,6	2-Furanmethanol	98-00-0	Xn	41	ja ja
7	2,3	Xylol D10 (Interner Standard)				nein nein
8	2,2	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
9	1,7	4-Cyclopentene-1,3-diol, cis-	29783-26-4	(*)		nein nein
10	1,6	Decane, 1-chloro-	1002-69-3	(*)		nein ja*
11	1,3	BENZONITRILE	100-47-0	Xn		ja ja
12	1,2	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
13	1,2	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja ja
14	1,2	1-Nonanol, 4,8-dimethyl-	33933-80-1	(*)		nein nein
15	1,2	MEQUINOL	150-76-5	Xn		ja ja
16	1,2	Acetonitrile	75-05-8	FT	70	ja ja
17	1,0	2-FURANCARBOXALDEHYDE, 5-METHYL-	620-02-0			ja ja*
18	1,0	DIBENZOFURAN	132-64-9			ja ja
19	1,0	Dodecane	112-40-3	(*)		nein ja
20	0,9	Acetaldoxime	107-29-9	Xi		ja ja
21	0,9	Pentadecane	629-62-9	(*)		nein ja*
22	0,8	Benzene-D5-, methyl-D3- (Interner Standard)	2037-26-5	F Xn		ja ja*
23	0,8	Acetone	67-64-1	F	1200	ja ja
24	0,7	PYRIDINE	110-86-1	F Xn	15	ja ja
25	0,6	Vanillin	121-33-5	Xn		ja ja
26	0,4	2,4-Hexadiene, 2,5-dimethyl-	764-13-6	(*)		nein nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 1

Waldbrand I, Analysen-Nr. 360 (Fortsetzung)						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
27	0,4	D-Limonene	5989-27-5	Xi N		ja ja
28	0,3	Benzofuran	271-89-6	(*)		nein ja
29	0,3	DIBENZOFURAN, 4-METHYL-	7320-53-8	(*)		nein nein
30	0,2	ANTHRACENE	120-12-7	Xn		ja ja
31	0,2	BENZALDEHYDE, 3-METHYL-	620-23-5	(*)		nein ja*
32	0,1	SULFUR DIOXIDE	7446-09-5	T	1,3	ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 366						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	13,2	Benzene	71-43-2	F T	8	ja ja
2	10,4	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
3	6,6	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
4	5,4	1H-Indene, 1-methylene-	2471-84-3	(*)		nein nein
5	3,3	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja ja
6	3,1	1,3,8-p-Menthatriene	21195-59-5	(*)		nein nein
7	3,0	Ethylbenzene	100-41-4		440	ja ja
8	2,7	Butane, 1-chloro-	109-69-3	F	191	ja ja
9	2,6	PHENOL	108-95-2	T	19	ja ja
10	2,5	2-Propenamide, N-ethyl-	5883-17-0	(*)		nein nein
11	2,3	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja ja
12	2,1	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
13	1,8	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja ja
14	1,8	2-Propenenitrile	107-13-1	F T	7	ja ja
15	1,6	1-Butanol, 2-ethyl-	97-95-0	Xn		ja ja
16	1,6	1-Hexadecanol	36653-82-4	Xi		ja ja*
17	1,6	BENZENE, 1-ETHENYL-4-METHYL-	622-97-9	Xn	490	ja ja
18	1,1	Pentane, 3-methyl-	96-14-0	F	700	ja ja
19	1,0	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja ja
20	1,0	3-Furaldehyde	498-60-2	(*)		nein nein
21	0,9	Indene	95-13-6	(*)		nein ja
22	0,9	D-Limonene	5989-27-5	Xi N		ja ja
23	0,8	DIBENZOFURAN	132-64-9			ja ja
24	0,8	Hydroxylamine, o-pentyl-	5963-74-6	(*)		nein nein
25	0,7	BENZENE, 1,3,5-TRIMETHYL-	108-67-8	Xi N	100	ja ja
26	0,7	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	T	22	ja ja
27	0,6	Pyrole	109-97-7			ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 366 (Fortsetzung)

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,6	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja	ja
29	0,5	Anthracene	120-12-7	Xn		ja	ja
30	0,5	1,3-CYCLOPENTADIENE	542-92-7		200	ja	ja
31	0,5	3-Butenenitrile, 2-methyl-	16529-56-9	F Xn		ja	ja*
32	0,5	2-Furanmethanol	98-00-0	Xn	41	ja	ja
33	0,5	SULFUR DIOXIDE	7446-09-5	T	1,3	ja	ja
34	0,5	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja	ja
35	0,4	Limonene	138-86-3	Xi N		ja	ja*
36	0,4	1H-INDOLE, 6-METHYL-	3420-02-8	(*)		nein	nein
37	0,4	FURAN, 2-METHYL-	534-22-5	F Xn		ja	ja
38	0,3	INDOLE	120-72-9	Xn		ja	ja
39	0,3	PYRIDINE	110-86-1	F Xn	15	ja	ja
40	0,3	Acenaphthene	83-32-9			ja	ja
42	0,3	Heptane	142-82-5	F	2000	ja	ja
43	0,3	CYCLOHEXANONE	108-94-1	Xn	80	ja	ja
44	0,2	2-Furancarboxaldehyde	98-01-1	T	20	ja	ja
45	0,2	Fluorene	86-73-7	(*)		nein	ja
46	0,2	Isooctanol	26952-21-6	(*)		nein	ja
47	0,1	Dibenzofuran	132-64-9			ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 367						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	13,6	BENZENE	71-43-2	F T	8	ja ja
2	10,8	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
3	5,6	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
4	4,2	8-Hydroxymethyl-trans-bicyclo[4.3.0]-3-nonene	?			
5	3,9	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
6	3,3	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja ja
7	3,1	ACETIC ACID	64-19-7	C	25	ja ja
8	2,5	PHENOL	108-95-2	T	19	ja ja
9	2,4	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	T	22	ja ja
10	2,2	Anthracene	120-12-7	(*)		ja ja
11	2,1	BENZENE, 1-ETHENYL-4-METHYL-	622-97-9	Xn	490	ja ja
12	2,0	D-Limonene	5989-27-5	Xi N		ja ja
13	1,9	Acenaphthylene	208-96-8	(*)		ja ja
14	1,9	Benzaldehyde	100-52-7	Xn		ja ja
15	1,8	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	(*)		ja ja
16	1,7	2-FURANCARBOXALDEHYDE	98-01-1	T	20	ja ja
17	1,6	Indene	95-13-6	(*)		nein ja
18	1,4	BIPHENYL	92-52-4	Xi N	1	ja ja
19	1,2	FURAN, 2-METHYL-	534-22-5	F Xn		ja ja
20	1,1	5-Undecene	4941-53-1	(*)		nein nein
21	1,1	Dibenzofuran	132-64-9	(*)		ja ja
22	0,8	1-Butyne, 3-methyl-	598-23-2	(*)		nein nein
23	0,8	1-BUTENE, 3-METHYL-	563-45-1	F Xi		ja ja
24	0,7	1-Octanol, dimethyl-	1333-49-9	(*)		nein nein
25	0,5	Naphthalene, dimethyl-	581-42-0	(*)		nein ja
26	0,5	CYCLOPENTANONE	120-92-3	Xi		ja ja
27	0,5	1H-INDOLE, 6-METHYL-	3420-02-8	(*)		nein nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 367 (Fortsetzung)

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,5	2-PROPANONE, 1-HYDROXY-	116-09-6	(*)		nein	nein
29	0,5	Fluorene	86-73-7	(*)		nein	ja
30	0,4	1H-INDENE, 3-METHYL-	767-60-2	(*)		nein	nein
31	0,4	PYRROLE	109-97-7			ja	ja
32	0,2	PYRIDINE	110-86-1	F Xn	15	ja	ja
33	0,2	1,2-Ethandiol, diacetate	111-55-7	(*)		nein	nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 368						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	11,0	BENZENE	71-43-2	F T	8	ja ja
2	5,8	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
3	4,9	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
4	4,3	BENZENE, 1-ETHENYL-4-METHYL-	622-97-9	Xn	490	ja ja
5	3,2	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
6	2,7	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja ja
7	2,5	PHENOL	108-95-2	T	19	ja ja
8	2,4	1,3,8-p-Menthatriene	21195-59-5	(*)		nein nein
9	2,1	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
10	2,1	DIBENZOFURAN	132-64-9			ja ja
11	2,0	2-FURANCARBOXALDEHYDE	98-01-1	T	20	ja ja
12	1,9	NAPHTHALENE, 1-METHYL-	90-12-0	Xn		ja ja
13	1,8	BENZALDEHYDE, 3-METHYL-	620-23-5	(*)		nein ja*
14	1,7	D-Limonene	5989-27-5	Xi N		ja ja
15	1,7	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja ja
16	1,7	Naphthalene, 2-methyl-	91-57-6	Xn		ja ja
17	1,6	Anthracene	120-12-7	Xn		ja ja
18	1,6	Indene	95-13-6	(*)		nein ja
19	1,6	NAPHTHALENE, 1-ETHYL-	1127-76-0	(*)		nein ja
20	1,6	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	T	22	ja ja
21	1,2	Cyclododecane	294-62-2	(*)		nein ja
22	1,2	MEQUINOL	150-76-5	Xn		ja ja
23	1,2	5-Undecene	4941-53-1	(*)		nein nein
24	1,0	FURAN, 2-METHYL-	534-22-5	F Xn		ja ja
25	0,9	Butanoic acid, 3-methyl-	503-74-2	T C		ja ja*
26	0,9	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja ja
27	0,8	3-Buten-2-one	78-94-4	F T	-	ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 368 (Fortsetzung)

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,8	Limonene	138-86-3	Xi N		ja	ja*
29	0,8	CYCLOPENTANONE	120-92-3	Xi		ja	ja
30	0,7	1-Pentadecene	13360-61-7	(*)		nein	nein
31	0,7	Benzofuran	271-89-6	(*)		nein	ja
32	0,6	1H-INDOLE, 6-METHYL-	3420-02-8	(*)		nein	nein
33	0,6	Pyrrrole	109-97-7			ja	ja
34	0,5	PYRIDINE	110-86-1	F Xn	15	ja	ja
35	0,3	3-Penten-1-ol, (Z)-	764-38-5	(*)		nein	nein
36	0,3	1H-INDENE, 3-METHYL-	767-60-2	(*)		nein	nein
37	0,3	QUINOLINE	91-22-5	Xn		ja	ja
38	0,3	1,3-CYCLOPENTADIENE	542-92-7		200	ja	ja
39	0,3	Fluorene	86-73-7	(*)		nein	ja
41	0,2	Cyclohexanone	108-94-1	Xn		ja	ja
42	0,2	ACETONE	67-64-1	F	1200	ja	ja
43	0,2	PYRENE	129-00-0	Xn		ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 370						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef. Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	21,5	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
2	7,5	1H-Indene, 1-methylene-	2471-84-3	(*)		nein nein
3	4,3	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
4	3,2	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
5	3,1	BENZENE	71-43-2	FT	8	ja ja
6	3,0	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja ja
7	2,9	PHENOL	108-95-2	T	19	ja ja
8	2,6	Anthracene	120-12-7	Xn		ja ja
9	2,6	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja ja
10	2,5	Naphthalene, 2-methyl-	91-57-6	Xn		ja ja
11	2,4	1H-Indene, 1-methyl-	767-59-9	(*)		nein nein
12	2,3	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja ja
13	1,8	ACENAPHTHENE	83-32-9			ja ja
14	1,7	Indene	95-13-6	(*)		nein ja
15	1,7	BENZENE, 1-ETHENYL-4-METHYL-	622-97-9	Xn	490	ja ja
16	1,7	2-Furancarboxaldehyde	98-01-1	T	20	ja ja
17	1,5	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	T	22	ja ja
18	1,1	Acetophenone, 4'-hydroxy-	99-93-4			ja ja*
19	1,1	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
20	1,0	Cyclotetradecane	295-17-0	(*)		nein nein
21	1,0	Dibenzofuran	132-64-9			ja ja
22	1,0	MEQUINOL	150-76-5	Xn		ja ja
23	0,9	NAPHTHALENE, 1-METHYL-	90-12-0	Xn		ja ja
24	0,8	Benzofuran, 4,7-dimethyl-	28715-26-6	(*)		nein nein
25	0,8	D-Limonene	5989-27-5	Xi N		ja ja
26	0,6	BENZOFURAN, 2-METHYL-	4265-25-2	(*)		nein nein
27	0,6	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 370 (Fortsetzung)

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,5	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	99-87-6			ja	ja
29	0,5	FURAN, 2-METHYL-	534-22-5	F Xn		ja	ja
30	0,5	CYCLOPENTANONE	120-92-3	Xi		ja	ja
31	0,5	Naphthalene, dimethyl-	573-98-8	(*)		nein	ja*
32	0,5	PHENYLETHYNE	536-74-3	Xi		ja	ja
33	0,5	Phenol, 3,4-dimethyl-	95-65-8	T N		ja	ja
34	0,4	1-Octanol, dimethyl-	1333-49-9	(*)		nein	nein
35	0,4	2-PROPANONE, 1-HYDROXY-	116-09-6	(*)		nein	ja
36	0,3	Fluorene	86-73-7	(*)		nein	ja
37	0,3	Cyclododecane	294-62-2	(*)		nein	ja*
38	0,2	PYRROLE	109-97-7			ja	ja
39	0,2	Cyclohexanone	108-94-1	Xn		ja	ja
40	0,2	PYRIDINE	110-86-1	F Xn		ja	ja
41	0,1	SULFUR DIOXIDE	7446-09-5	T		ja	ja
					15		
					1,3		

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 371

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	9,8	NAPHTHALENE	91-20-3	(*)	50	ja	ja
2	7,1	Benzene	71-43-2	FT	8	ja	ja
3	6,1	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
4	3,9	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja	ja
5	3,8	PHENOL	108-95-2	(*)		ja	ja
6	3,8	2-FURANCARBOXALDEHYDE	98-01-1	T	20	ja	ja
7	3,2	Benzaldehyde	100-52-7	(*)		ja	ja
8	2,8	BENZOFURAN	271-89-6	(*)		nein	ja
9	2,2	1,3-Heptadiene, 2,3-dimethyl-	74779-65-0	(*)		nein	nein
10	2,2	FLUORANTHENE	206-44-0	(*)		ja	ja
11	2,0	1,3,8-p-Menthatriene	21195-59-5	(*)		nein	nein
12	2,0	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
13	1,9	FURAN, 2-METHYL-	534-22-5	F Xn		ja	ja
14	1,8	2-PROPENAMIDE, 2-METHYL-N-PHENYL-	1611-83-2	(*)		nein	nein
15	1,8	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	(*)	22	ja	ja
16	1,7	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	(*)		ja	ja
17	1,6	BIPHENYL	92-52-4	Xi N	1	ja	ja
18	1,6	Acenaphthylene	208-96-8	(*)		ja	ja
19	1,6	Anthracene	120-12-7	(*)		ja	ja
20	1,3	1-Butanol, 3-methyl-	123-51-3	Xn	360	ja	ja
21	1,2	Dibenzofuran	132-64-9	(*)		ja	ja
22	1,0	2-Furanmethanol	98-00-0	Xn	41	ja	ja
23	1,0	Indene	95-13-6	(*)		nein	ja
24	1,0	BENZALDEHYDE, 3-METHYL-	620-23-5	(*)		nein	nein
25	0,9	BENZOFURAN, 2-METHYL-	4265-25-2	(*)		nein	nein
26	0,8	PYRROLE	109-97-7			ja	ja
27	0,8	MEQUINOL	150-76-5	(*)		ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 371 (Fortsetzung)						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
28	0,7	LIMONENE	138-86-3	(*)		ja ja*
29	0,7	FURAN, 2,5-DIMETHYL-	625-86-5	F		ja ja*
30	0,6	ETHANONE, 1-(2-FURANYL)-	1192-62-7			ja ja*
31	0,6	METHYL ISOBUTYL KETONE	108-10-1	F	82	ja ja
32	0,6	2-BUTANONE	78-93-3	F Xi	590	ja ja
33	0,5	Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)-	1450-72-2	(*)		nein ja*
34	0,5	Naphthalene, 2-methyl-	91-57-6	(*)		ja ja
35	0,5	1,3-Pentadiene, (E)-	2004-70-8	F		ja ja*
36	0,5	PYRENE	129-00-0	(*)		ja ja
37	0,5	BENZENE, 1-ETHENYL-4-ETHYL-	3454-07-7	(*)		nein nein
38	0,4	2-Hexen-4-yne, (Z)-	30626-48-3	(*)		nein nein
39	0,4	CYCLOPENTANONE	120-92-3	Xi		ja ja
40	0,4	Acetone	67-64-1	F	1200	ja ja
41	0,3	Fluorene	86-73-7	(*)		nein ja
42	0,3	Cyclohexanone	108-94-1	(*)	80	ja ja
43	0,3	PYRIDINE	110-86-1	F Xn	15	ja ja
44	0,2	3-Furaldehyde	498-60-2	(*)		nein nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 372						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	7,8	Benzene	71-43-2	F T	8	ja ja
2	7,3	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
3	5,6	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
4	4,9	2-FURANCARBOXALDEHYDE	98-01-1	T	20	ja ja
5	4,3	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
6	3,3	PHENOL	108-95-2	T	19	ja ja
7	3,2	1,3,8-p-Menthatriene	21195-59-5	(*)		nein nein
8	2,6	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja ja
9	2,3	NAPHTHALENE, 1-METHYL-	90-12-0	Xn		ja ja
10	2,1	1-Pentadecanol	629-76-5	(*)		nein ja*
11	2,1	FURAN, 2-METHYL-	534-22-5	F Xn		ja ja
12	2,0	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
13	2,0	3-Buten-2-one	78-94-4	F T	-	ja ja
14	1,9	BENZOFURAN	271-89-6	(*)		nein ja
15	1,9	PHENOL, 4-METHYL-	106-44-5	T	22	ja ja
16	1,9	Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	Xi N	245	ja ja
17	1,5	MEQUINOL	150-76-5	Xn		ja ja
18	1,5	CYCLOPENTANONE	120-92-3	Xi		ja ja
19	1,4	D-Limonene	5989-27-5	Xi N		ja ja
20	1,2	BENZENE, 1-ETHENYL-4-METHYL-	622-97-9	Xn	490	ja ja
21	1,1	Benzofuran, 2-methyl-	4265-25-2	(*)		nein nein
22	1,1	5-Undecene	4941-53-1	(*)		nein nein
23	1,1	Anthracene	120-12-7	Xn		ja ja
24	1,0	1-Butanol, 3-methyl-	123-51-3	Xn	360	ja ja
25	0,9	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja ja
26	0,9	Indene	95-13-6	(*)		nein ja
27	0,8	PYRROLE	109-97-7			ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 2

Waldbrand II, Analysen-Nr. 372 (Fortsetzung)

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
28	0,7	Dibenzofuran	132-64-9			ja	ja
29	0,7	Cyclobutane, 1,2-diethyl-, trans-	19341-98-1	(*)		nein	nein
30	0,7	BENZALDEHYDE, 3-METHYL-	620-23-5	(*)		nein	nein
31	0,7	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja	ja
32	0,5	Cyclohexanol, 4-methyl-	589-91-3	Xn		ja	ja
33	0,4	Limonene	138-86-3	Xi N		ja	ja*
34	0,4	Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)-	1450-72-2	(*)		nein	nein
35	0,3	Pyridine	110-86-1	F Xn	15	ja	ja
36	0,3	PHENYLETHYNE	536-74-3	Xi		ja	ja
37	0,3	Vanillin	121-33-5	Xn		ja	ja
38	0,3	Cyclohexanone	108-94-1	Xn	80	ja	ja
39	0,2	FLUORENE	86-73-7	(*)		nein	ja
40	0,2	1,2-Ethandiol, diacetate	111-55-7	(*)		nein	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 3

Recycling, Analysen-Nr. 460						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	38,3	1-Pentadecanol	629-76-5	(*)		nein ja*
2	21,6	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja
3	10,7	BENZENE	71-43-2	F T	8	ja
4	7,1	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja
5	4,0	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja
6	2,5	ANTHRACENE	120-12-7	Xn		ja
7	2,0	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja
8	1,4	PHENYLETHYNE	536-74-3	Xi		ja
9	1,4	BENZONITRILE	100-47-0	Xn		ja
10	1,0	Decane	124-18-5			ja
11	0,9	Hexane	110-54-3	F Xn	180	ja
12	0,8	ETHYLBENZENE	100-41-4	F Xn	440	ja
13	0,8	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja
14	0,7	Dibenzofuran	132-64-9			ja
15	0,7	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja
16	0,7	Acetic acid, anhydride	108-24-7	C	20	ja
17	0,5	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja
18	0,4	Indene	95-13-6	(*)		nein ja
19	0,3	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja
20	0,3	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja
21	0,3	Phenol	108-95-2	T	19	ja
22	0,3	1,2-BENZENEDICARBOXYLIC ACID	88-99-3			ja
23	0,2	BENZENE, CHLORO-	108-90-7	Xn N	46	ja
24	0,2	2-Furancarboxaldehyde	98-01-1	T	20	ja
25	0,1	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 3

Recycling, Analysen-Nr. 462						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	44,8	1-Undecanol	112-42-5	(*)		nein ja*
2	19,7	HEXADECANOIC ACID	57-10-3	(*)		nein ja
3	7,3	Tetradecanoic acid	544-63-8			ja ja
4	6,1	Dibutyl phthalate	84-74-2	Xn		ja ja
5	3,5	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
6	2,6	Benzene	71-43-2	FT	8	ja ja
7	2,2	STYRENE	100-42-5	Xn	85	ja ja
8	1,4	2-Cyclopropen-1-one, 2,3-diphenyl-	886-38-4	(*)		nein ja*
9	1,0	2-Heptanol	543-49-7	Xn		ja ja
10	0,8	Cyclobutylamine	2516-34-9	(*)		nein nein
11	0,8	Acenaphthene	83-32-9			ja ja
12	0,8	Toluene	108-88-3	F Xn	190	ja ja
13	0,7	Acenaphthylene	208-96-8	Xi		ja ja
14	0,7	PHENYLETHYNE	536-74-3	Xi		ja ja
15	0,6	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja ja
16	0,6	1,2-BENZENEDICARBOXYLIC ACID	88-99-3			ja ja
17	0,5	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja ja
18	0,5	Benzonitrile	100-47-0	Xn		ja ja
19	0,5	Dibenzofuran	132-64-9			ja ja
20	0,5	Benzofuran	271-89-6	(*)		nein ja
21	0,4	Phenol	108-95-2	T	19	ja ja
22	0,3	BENZENE, CHLORO-	108-90-7	Xn N	46	ja ja
23	0,2	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja ja
24	0,2	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja ja
25	0,2	2-FURANCARBOXALDEHYDE	98-01-1	T	20	ja ja
26	0,1	FLUORENE	86-73-7	(*)		nein ja
27	0,1	Benzene, 1-ethynyl-4-methyl-	766-97-2	(*)		nein nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 4

Aluminium-Pressmüll, Analysen-Nr. 217						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	57,5	Butane	106-97-8	F+	2350	ja ja
2	11,5	Pentane	109-66-0	F N	2950	ja ja
3	9,5	DIMETHYL ETHER	115-10-6	F+	1910	ja ja
4	2,3	TRICHLOROMONOFLUOROMETHANE	75-69-4	Xn	5600	ja ja
5	1,9	Acetone	67-64-1	F	1200	ja ja
6	1,9	Decanal	112-31-2			ja ja*
7	1,6	Cyclohexene, 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-	13898-73-2	(*)		nein nein
8	1,5	Benzaldehyde, 4-(diethylamino)-	120-21-8	(*)		nein ja
9	1,3	Isobutane	75-28-5	F+ T	2350	ja ja
11	1,2	Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	Xi N	245	ja ja
12	0,9	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja ja
13	0,8	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
14	0,7	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja ja
15	0,6	1,2-Benzisothiazole	272-16-2	(*)		nein nein
16	0,5	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja ja
17	0,5	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 4

Aluminium-Pressmüll, Analysen-Nr. 218

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	26,2	Hexane (oder Pentane)	110-54-3	F Xn	180	ja	ja
2	13,5	Limonene	138-86-3	Xi N		ja	ja*
3	8,7	Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	Xi N	245	ja	ja
4	5,8	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-	76-13-1		3800	ja	ja
5	4,8	2-Dodecenal	4826-62-4	(*)		nein	nein
6	3,8	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
7	3,6	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
8	2,5	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
9	1,9	ETHYLBENZENE	100-41-4	F Xn	440	ja	ja
10	1,8	ETHYL ACETATE	141-78-6	F	1400	ja	ja
11	1,3	Isobutane	75-28-5	F+ T	2350	ja	ja
12	1,2	Benzene	71-43-2	F T	8	ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 4

Aluminium-Pressmüll, Analysen-Nr. 219

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	52,1	Hexane (oder Pentane)	110-54-3	F Xn	180	ja	ja
2	21,0	Limonene	138-86-3	Xi N		ja	ja*
3	5,0	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
4	4,3	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
5	2,5	Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	Xi N	245	ja	ja
6	1,4	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
7	0,9	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
8	0,8	BENZOTHIAZOLE	95-16-9	Xn		ja	ja
9	0,8	Trichloroethylene	79-01-6	Xn		ja	ja
10	0,5	Pyridine, 2-nitro-	15009-91-3	(*)		nein	nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 5

Schutzkleidung, Analysen-Nr. 221

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	76,2	Acetone	67-64-1	F	1200	ja	ja
2	5,2	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
3	3,7	p-Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
4	3,3	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
5	3,2	Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	Xi N	245	ja	ja
6	2,5	Dibenzofuran	132-64-9			ja	ja
7	2,5	Naphthalene	91-20-3	Xn	50	ja	ja
8	2,1	Benzaldehyde	100-52-7	Xn		ja	ja
9	1,3	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja	ja

Tabelle 13: Versuche, Teil 5

Schutzkleidung, Analysen-Nr. 225						
No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV in CHEMIS
1	51,6	Acetone	67-64-1	F	1200	ja ja
2	6,3	Naphthalene	91-20-3	Xn	50	ja ja
3	4,7	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja ja
4	4,0	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja ja
5	3,7	NAPHTHALENE, 1-METHYL-	90-12-0	Xn		ja ja
6	3,3	Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	Xi N	245	ja ja
7	3,3	Dibenzofuran	132-64-9			ja ja
8	3,0	Benzyl alcohol	100-51-6	Xn		ja ja
9	2,9	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja ja
10	2,3	Toluene	108-88-3	F Xn	190	ja ja
11	2,3	Benzaldehyde	100-52-7	Xn		ja ja
12	1,6	BENZOIC ACID	65-85-0	Xi		ja ja
13	1,5	Acenaphthene	83-32-9			ja ja
14	0,6	Isobutane	75-28-5	F+ T	2350	ja ja
15	0,6	Acetic acid	64-19-7		25	ja ja
16	0,3	Benzene, (1-methylpropoxy)-	10574-17-1	(*)		nein nein

Tabelle 13: Versuche, Teil 5

Schutzkleidung, Analysen-Nr. 232

No.	Area%	Substance	CAS-No.	Gef.Symb.	MAK [mg/m ³]	in GefStoffV	in CHEMIS
1	52,3	Benzyl alcohol	100-51-6	Xn		ja	ja
2	14,6	TOLUENE	108-88-3	F Xn	190	ja	ja
3	4,9	BENZALDEHYDE	100-52-7	Xn		ja	ja
4	3,0	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	Xn		ja	ja
5	3,0	BENZOTHAZOLE	95-16-9	Xn		ja	ja
6	2,9	1-PROPANOL, 2-METHYL-	78-83-1	Xn	300	ja	ja
7	2,3	ACETOPHENONE	98-86-2	Xn		ja	ja
8	2,1	NAPHTHALENE	91-20-3	Xn	50	ja	ja
9	2,1	Xylene	106-42-3	Xn	440	ja	ja
10	1,7	Biphenyl	92-52-4	Xi N	1	ja	ja
11	1,0	Diphenyl ether	101-84-8	Xi	7	ja	ja
12	0,9	Dibenzofuran	132-64-9			ja	ja
13	0,2	Nitric oxide (oder Nitrous Oxide)	10102-43-9			ja	ja