
Materialien

Nr. 41

Brand- und Zersetzungsprodukte

Abschlußbericht des Projekts
„Integration von Daten zu Brand- und
Zersetzungsprodukten in das
Informationssystem für gefährliche/
umweltrelevante Stoffe (IGS)“

Projektleitung: Dr. Rita Conrady-Pigorsch (LUA)
Dr. Adrian Beard (Institut für Umwelt-, Sicherheits-
und Energietechnik e.V. - UMSICHT)

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Jürgen Stein (UMSICHT)
Dr. Thomas Marzi (UMSICHT)
Dr. Wolfgang Kiauka (UMSICHT)

Im Auftrag des
Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen

Essen 1997

38623
Landesumweltamt
Nordrhein-Westfalen
Bibliothek
UH 35
00006-41

IMPRESSUM

Herausgegeben vom

Landesumweltamt Nordrhein - Westfalen (LUA NRW)

Wallneyer Str.6 • 45133 Essen • Telefon (02 01) 79 95 - 0

Redaktion: Dr. Rita Conrady-Pigorsch

ISSN: 0947 - 5206

Gedruckt auf 100% Altpapier ohne Chlorbleiche

Bereitschafts- und Informationsdienst des LUA NRW:

- Nachrichtensbereitschaftszentrale (24-Std.-Dienst):
Telefon (02 01) 71 44 88
- Umweltdaten aus NRW; Hinweise zu Aufgaben, Schriften und Karten, etc. des LUA NRW
im World Wide Web:
Internet → <http://www.lua.nrw.de>

Vorwort

Eine wesentliche Gefahrenquelle bei Bränden stellen die bei der Verbrennung entstehenden Brandgase und Zersetzungsstoffe dar. Hinweise auf die für verschiedene Brandgüter zu erwartenden Brandgase und ihre toxikologische Relevanz sind daher wichtige Informationen für Einsatzkräfte während der Bekämpfung eines Brandes. Sie sind aber auch für die Beurteilung der Sicherheit von Anlagen und Lägern von Bedeutung und können für die Analytik wichtige Hinweise geben.

Ziel des hier beschriebenen Projektes ist es, diese Informationen zu erarbeiten und für das Informationssystem gefährliche Stoffe (IGS) des Landes NRW nutzbar zu machen. Hierzu wurde das Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, Oberhausen, mit der Recherche, der Entwicklung einer geeigneten Datenstruktur und der Erstellung einer Datensammlung beauftragt. Neben der Erfassung von Originalmeßdaten zu Brandversuchen und Ereignisbränden wurden auch Standardsätze zu Brandprodukten formuliert, die für den direkten Einsatz im Brandfall geeignet sind.

Ich danke dem Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik für die umfassende und sehr gute Arbeit. Mein Dank gilt den weiteren Beteiligten an dem Projekt, besonders der projektbegleitenden Arbeitsgruppe und dem Institut der Feuerwehr in Heyrothsberge.

Ich hoffe, daß dieser Bericht dazu beiträgt, den Themenbereich zielführend fortzuentwickeln.

Essen, im März 1997



Dr. Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	4
3	Verbrennung und Brandproduktbildung	7
3.1	Der Vorgang der Verbrennung	7
3.2	Brandprodukte	12
4	Daten zu Brandprodukten	18
4.1	Ereignisbrände	18
4.2	Brandversuche	20
4.3	Meßtechnik	27
4.4	Forschung zu Brandprodukten	32
4.5	Recherche nach Literatur zu Brandprodukten	34
4.5.1	Recherche in Fachzeitschriften	34
4.5.2	Online-Recherchen	34
5	Datenbank zu Brandprodukten	38
5.1	Stoffbegriff und Stoffinformationen	40
5.2	Daten zu Brandversuchen	43
5.3	Daten zu Ereignisbränden	48
5.4	Regeln zur Bildung von Brandprodukten	52
5.5	Bewertete Kurzinformationen: Standardsätze	59
5.6	Anwendungen und Handelsnamen	68
5.7	Literatur und Adressen	70
5.8	Qualitätskriterien	72
5.9	Einbindung der Daten(bank) in IGS	74
6	Auswertung der Datenbasis	75
6.1	Datenbankstatistik	75
6.2	Überprüfung der Regeln anhand des Datenbestandes	80
6.3	Schlußfolgerungen aus den ermittelten Daten	83
7	Glossar	87
8	Literatur	114

9	Adressen	119
10	Anhang	125
10.1	Fachzeitschriften	125
10.2	Stoffgruppen	125
10.3	Datensätze zu schwefelhaltigen Brandprodukten	127
10.4	Thermodynamische Grundlagen von Verbrennungsvorgängen	129

Abbildungen

Abb. 2.1:	Auswirkungen von Brandzersetzungsprodukten	6
Abb. 3.1:	Schematische Darstellung der in einem Feuer ablaufenden Prozesse	7
Abb. 3.2:	Schematische Darstellung der Folgeerscheinungen eines Brandes	8
Abb. 3.3:	Schematischer Temperatur/Zeit-Verlauf bei Bränden	11
Abb. 3.4:	Mögliche Brandprodukte	13
Abb. 3.5:	HCN-Freisetzung bei oxidativer thermischer Zersetzung von Polyurethan in einer Laborapparatur bei einer Aufheizgeschwindigkeit von 20 °C/min	17
Abb. 4.1:	Großbrandversuchsanlage INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)	21
Abb. 4.2:	Kleinbrandversuchsstand der FfB (Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Universität Karlsruhe (TH))	22
Abb. 4.3:	Laborapparatur des VCI (Verband der chemischen Industrie)	24
Abb. 4.4:	Laborapparatur nach DIN 53436	25
Abb. 4.5:	Meßtechnik für Chemieunfälle und Brände	31
Abb. 5.1:	Datenbank PHLOGISTON	39
Abb. 5.2:	Eingangsmenü der Datenbank PHLOGISTON	40
Abb. 5.3:	Formular "Stoffe"	41
Abb. 5.4:	Formular "Brandprodukt-Info"	42
Abb. 5.5:	Formular "Brandversuch"	44
Abb. 5.6:	Formular "Ereignisbrand"	49
Abb. 5.7:	Formular "Regeln"	53
Abb. 5.8:	Schema zur Erstellung der Standardsätze	60
Abb. 5.9:	Formular "Standardsätze"	61
Abb. 5.10:	ToxI für einzelne Brandprodukte	64
Abb. 5.11:	Formular "Anwendungen"	69
Abb. 5.12:	Formular "Handelsnamen"	70
Abb. 5.13:	Formular "Literatur"	71
Abb. 5.14:	Formular "Adressen"	72
Abb. 6.1:	Aufteilung der 187 Brandstoffe mit Brandprodukt- bzw. Toxikologiedatensätzen nach Stoffkategorien	75
Abb. 6.2:	Anzahl der Brandstoffe mit einer bestimmten Anzahl an Brandprodukteinträgen	77
Abb. 6.3:	Brandstoffe und Brandprodukteinträge zugeordnet zu Brandstoffkategorien	78
Abb. 6.4:	Brandstoffe und Einträge zur Brandprodukttoxizität zugeordnet zu Brandstoffkategorien	79

Abb. 10.1: Verlauf der freien Enthalpie für eine Verbrennungsreaktion mit Zwischenproduktbildung nach [MORR83]	129
Abb. 10.2: Anordnungsmöglichkeiten von miteinander verbundenen und "freien" Teilchen innerhalb eines geschlossenen System mit begrenzten Gitterplätzen	131

Tabellen

Tab. 3.1:	Definition von Brandphasen für bestehende Kombinationen aus Brandbedingungen	12
Tab. 4.1:	Möglichkeiten und Aussagefähigkeit von Brandversuchen in verschiedenen Maßstäben	27
Tab. 4.2:	Physikalisch-chemische Meßprinzipien und Analyseverfahren für Gase und Dämpfe bei Bränden	29/30
Tab. 5.1:	Attribute des Formulars "Brandversuch", Teil 1	45
Tab. 5.2:	Attribute des Formulars "Brandversuch", Teil 2	46
Tab. 5.3:	Liste der Versuchs- bzw. Brandparameter für das Formular "Brandversuch", Teil 1	46
Tab. 5.4:	Attribute des Formulars "Brandversuch", Teil 3	47
Tab. 5.5:	Attribute des Formulars "Ereignisbrand", Teil 1	50/51
Tab. 5.6:	Attribute des Formulars "Ereignisbrand", Teil 2	51/52
Tab. 5.7:	Allgemeine Brandregeln	54
Tab. 5.8:	Regeln zu Bränden von Kunststoffen/Polymeren	54
Tab. 5.9:	Regeln zu Bränden von Pestiziden	54
Tab. 5.10:	Regeln zu Bränden von Kohlenwasserstoffen	55
Tab. 5.11:	Regeln zu Bränden halogenhaltiger organischer Brandstoffe	56
Tab. 5.12:	Regeln zu Bränden stickstoffhaltiger organischer Brandstoffe	57
Tab. 5.13:	Regeln zu Bränden schwefelhaltiger organischer Brandstoffe	58
Tab. 5.14:	Regeln zu Bränden mit Beteiligung von anorganischen Stoffen	58
Tab. 5.15:	Erläuterung einzelner Datenfelder des Formulars "Standardsätze"	62
Tab. 5.16:	Standardsatzbewertungen für kohlenstoffhaltige Brandstoffe	66
Tab. 5.17:	Standardsatzbewertungen für halogenhaltige Brandstoffe	66
Tab. 5.18:	Standardsatzbewertungen für stickstoffhaltige Brandstoffe	67
Tab. 5.19:	Standardsatzbewertung für schwefelhaltige Brandstoffe	67
Tab. 6.1:	Wichtige Kleinbrandversuchsstände bzw. Laborapparaturen	76
Tab. 6.2:	Brandstoffe mit mehr als 99 Brandproduktatensätzen	77
Tab. 6.3:	Anorganische bzw. niedermolekulare schwefelhaltige Brandprodukte	81
Tab. 10.1:	Ausgewählte und verkürzt wiedergegebene Datensätze zu schwefelhaltigen Brandprodukten (Pestizide, Polysulfon, Holz, Rohöl und Reifen)	127/128

1 Zusammenfassung

Das Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik e.V. (UMSICHT), Oberhausen, wurde vom Landesumweltamt (LUA) Nordrhein-Westfalen beauftragt, Daten zu Brandprodukten zu recherchieren, ein Konzept für eine geeignete Datenstruktur zu entwickeln und eine Datensammlung zu erstellen, die als Basis für die Ergänzung des Informationssystems für gefährliche/umweltrelevante Stoffe (IGS, in der Anwendung IGS-Fire) dienen sollte. Es wurden neben Originalmeßdaten aus der Literatur zu Brandversuchen und Ereignisbränden auch zusammenfassende und verallgemeinerte Standardsätze zu Brandprodukten formuliert. Diese Standardsätze sollen eine schnelle Bewertung von Brandsituationen ermöglichen und damit für den direkten Einsatz im Brandfall geeignet sein. Das Institut der Feuerwehr (IdF) Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge, wurde vom LUA ergänzend beauftragt, die Standardsätze kritisch zu überprüfen und bei der geplanten bundesweiten Absprache mitzuwirken. An dieser Stelle danken wir Herrn Brandoberrat Steinbach vom IdF für die gute und erfolgreiche Zusammenarbeit.

Das Projekt umfaßte folgende Arbeitspakete:

a) Erschließung von Datenquellen

Es wurden umfangreiche Literaturrecherchen in Online-Datenbanken und in Fachbibliotheken durchgeführt, so daß mittlerweile 746 einschlägige Literaturstellen bekannt sind. In einer Rundbriefaktion wurden 27 Feuerwehren, Forschungsstellen und Herstellerfirmen im deutschsprachigen Raum angeschrieben und um Unterstützung des Projektes gebeten. Auch zu 23 ausländischen Institutionen wurde Kontakt mit z.T. sehr positivem Echo aufgenommen. Auf diese Weise wurden wichtige Informationen über aktuelle Forschungsprojekte zu Brandprodukten und wertvolle Literaturhinweise gewonnen. Negativ sind alle Versuche verlaufen, Daten der chemischen Industrie zu den von ihnen durchgeführten oder beauftragten Brandversuchen zu erhalten. Hier liegt noch ein erhebliches Potential an unveröffentlichten Daten, das wohl nur mit größerem politischen oder gesetzgeberischem Druck erschlossen werden kann.

b) Auswertung der Quellen

Es liegen in der Datenbank Daten zu Brandversuchen von 187 Stoffen aus 81 Literaturstellen vor. Die Zahl der Daten je Stoff schwankt zum Teil erheblich, da es zwar eine Vielzahl von Branduntersuchungen gibt, jedoch häufig die gleichen Stoffe untersucht wurden. Insbesondere sind Stoffe Gegenstand der Untersuchungen, die man für ausgesprochen problematisch hielt (z.B. Polyvinylchlorid (PVC)) oder für die es schon Vergleichswerte gab (z. B. bei der Entwicklung neuer Testapparaturen). Besonders häufig vertreten sind weiterhin Massenkunststoffe wie PVC, Polyurethan und Polystyrol.

c) Standardsätze und Bewertungskriterien

Für die Standardsätze wurde eine Datenstruktur entwickelt, bei der die relevanten Brandprodukte zu einem Stoff tabellarisch aufgelistet und mit einer Angabe zur Bildungswahrscheinlichkeit und zur toxikologischen Relevanz versehen werden. Inzwischen liegen zu 144 Brandstoffen insgesamt 791 standardisierte Angaben zu Brandprodukten vor. Für die Angaben zur Bildungswahrscheinlichkeit und toxikologischen Relevanz wurden Bewertungskriterien definiert, die ebenfalls in der Datenbank abgelegt sind. Die endgültige Formulierung der Standardsätze wurde mit dem Institut der Feuerwehr (IdF) Sachsen-Anhalt abgestimmt, um eine Plausibilitäts- und Qualitätskontrolle von dritter Seite zu gewährleisten.

d) Regeln zu Brandprodukten

Es wurden ausgehend von Stoffmerkmalen der Brandstoffe Regeln zur Bildung von Brandprodukten erarbeitet. Diese wurden am erweiterten Datenbestand auf Plausibilität geprüft und auch vom IdF einer kritischen Durchsicht unterzogen. Mit Hilfe der Regeln erscheint es möglich, einige Angaben zu wahrscheinlichen Brandprodukten direkt abzuleiten und als Standardsätze abzulegen. Dieser Ansatz sollte in einem Folgeprojekt weiter verfolgt werden.

e) Anwendungen und Handelsnamen

Zwischen Brandstoffen und technischen Anwendungen bzw. Handelsnamen wurden Verknüpfungen hergestellt und in die Datenbank eingearbeitet - nach Absprache mit dem Auftraggeber zunächst für die Produktgruppe Kunststoffe und für einige Pestizide. Es wurden zu 236 Anwendungen und Einsatzbereichen und zu 698 Handelsnamen Verweise auf die enthaltenen Kunststoffe und auf den jeweiligen Hersteller (insgesamt 230 Hersteller) ermittelt.

f) Ereignisbrände

Bisher sind zu Ereignisbränden relativ wenige Meßdaten zu Brandprodukten veröffentlicht worden. Die TU Hamburg-Harburg ist auf dem Gebiet der Entwicklung der notwendigen Meßtechnik zusammen mit einigen Feuerwehren tätig. Ein Datenaustausch mit dieser Arbeitsgruppe wurde in die Wege geleitet. Für Ereignisbrände wurde eine eigene Datenstruktur konzipiert und in ACCESS implementiert. Dieser Datenbankteil wurde der Feuerwehr Hamburg, der TU Hamburg-Harburg und dem IdF zur Prüfung zur Verfügung gestellt, damit die von diesen Arbeitsgruppen in Zukunft erhobenen Meßdaten direkt erfaßt werden können.

g) Einbindung der Daten in IGS

Die von UMSICHT erarbeiteten projektbezogenen Daten sind in einer IGS-konformen ACCESS[®]-Datenbank mit dem Arbeitsnamen PHLOGISTON erfaßt und stehen dem LUA zur Verfügung. Die Strukturierung der Daten erfolgte in Absprache mit dem LUA.

Eine Einbindung der Daten in IGS ist vom LUA im Zuge der Realisierung des IGS unter Windows geplant. In einem ersten Schritt werden die zusammenfassenden Standardsätze zu Brandprodukten in die Windows-Version IGS-fire 3.1 im Herbst 1997 integriert. Die Bereitstellung der detaillierten Literaturdatensammlung ist – in Abhängigkeit vom Anwenderbedarf – im Rahmen der halbjährlichen IGS-Datenupdates für Anfang 1998 geplant. Ein Konzept für die geeignete Datenbereitstellung wird zur Zeit erarbeitet. Als integrativer Teil des IGS-Datenbestandes gelten für die Brandgasdaten die aktuellen Bezugsbedingungen der IGS-Anwendungen.

2 Einleitung

Einen der entscheidenden Schritte in der Kulturgeschichte des Menschen stellt die Erzeugung, Bewahrung und kontrollierte Verwendung des Feuers dar. Einerseits werden Verbrennungsvorgänge heutzutage in technisch aufwendigen Verbrennungsanlagen vor allem zur Energieerzeugung und Schadstoffbeseitigung genutzt, andererseits kommt es immer wieder zu ungewollten Bränden bzw. Schadenfeuern, bei denen oft Menschen zu Tode kommen sowie erheblicher Sachschaden entsteht. Neben der zerstörenden Wirkung von Bränden durch die freiwerdende Verbrennungsenergie geht eine große Gefahr von den freiwerdenden Brandprodukten aus. So läßt sich aus Brandstatistiken ableiten, daß ca. 90 % der Todesfälle bei Bränden in Europa auf Vergiftungen durch Brandprodukte zurückzuführen sind [LEMK94]. Art und Gefährlichkeit der Brandprodukte hängen dabei erheblich von den am Brand beteiligten Stoffen sowie von den Brandbedingungen ab. Die Brandprodukte können direkt über die Atmosphäre auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Sachwerte schädigend einwirken. Zusätzlich können das Löschwasser, die festen Brandrückstände oder der Boden um die Brandstelle kontaminiert sein.

Um die Gefahren beurteilen zu können, die von Brandprodukten ausgehen können, sind somit Informationen von großer Wichtigkeit, die es ermöglichen, Art, Menge und Toxizität möglicher Verbrennungsprodukte einzuschätzen. Bei Ereignisbränden oder Brandversuchen gewonnene Meßdaten zu Brandprodukten können in solche Beurteilungen einbezogen werden. Da die Brandproduktbildung erheblich von den Brandbedingungen abhängt, ist zu berücksichtigen, daß die Daten in jedem Fall nur eine Entscheidungshilfe darstellen können und nicht konkret jedes reale Brandereignis abbilden.

Informationen zu Brandprodukten und deren Bildungsbedingungen sind sowohl bei einem gerade stattfindenden Brandereignis als auch im Rahmen des vorbeugenden Brandschutzes und der Brandnachsorge erforderlich.

- **Vorbeugender Brandschutz**

Die Informationen können im Rahmen einer Sicherheitsanalyse zur Beurteilung von Anlagen, die der Störfallverordnung unterliegen, genutzt werden. Darüber hinaus ist die Beurteilung von Baustoffen hinsichtlich der möglichen Gefahren durch freigesetzte Brandprodukte bereits bei der Planung von Gebäuden möglich.

- **Im Brandfall**

Informationen zu Brandprodukten können im Brandfall eine Hilfe bei der schnellen Beurteilung des Gefährdungspotentials sein. Die Daten können z.B. die Entscheidung über erforderliche Schutzausrüstungen und abzusperrende Schutzzonen sowie die Information und Warnung der Bevölkerung erleichtern. Weiterhin kann fundierter über eine Rückhal-

zung oder Behandlung des Löschwassers entschieden werden, und es können gezielte Analysen auf einzelne Schadstoffe vorgenommen werden.

- **Brandnachsorge**

Bei der Brandnachsorge ermöglichen Daten aus vergleichbaren Ereignisbränden oder Brandversuchen eine gezielte Suche nach zu erwartenden Schadstoffen und eine Beurteilung möglicher Gefährdungen durch verunreinigtes Wasser, verunreinigten Boden und Brandrückstände.

Als Entscheidungshilfe für den Bereich Brandschutz wurde für die behördliche Anwendung das Datenbankprogramm "IGS-Fire" entwickelt. Bei IGS-Fire handelt es sich um ein spezielles Anwendungsprogramm des "Informations- und Kommunikationssystems für gefährliche / umweltrelevante Stoffe" (IGS), das vom Landesumweltamt NRW betrieben wird. IGS-Fire enthält physikalisch-chemische und sicherheitstechnische Kenndaten wie beispielsweise Angaben zu Zündtemperaturen und Flammpunkten einzelner Gefahrstoffe. Um den Anwendern von IGS-Fire Daten zur Art, Menge und Toxizität möglicher Brandprodukte zur Verfügung zu stellen, wurde das Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik e.V. (UMSICHT), Oberhausen, vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen beauftragt, die in der wissenschaftlichen Literatur enthaltenen Daten zu Brandprodukten systematisch zu sammeln und aufzubereiten. Dazu wurde eine Datenbank als eigenständige Access[®]-Anwendung unter dem Namen PHLOGISTON¹ erstellt. PHLOGISTON soll zu einem späteren Zeitpunkt in IGS-Fire integriert werden und beinhaltet die Möglichkeit, in einer sogenannten Detailebene gezielt nach Meßdaten von Brandprodukten einzelner Brandstoffe, der Toxizität von Brandgasen oder nach einzelnen Brandereignissen zu recherchieren. Unter Brandprodukten werden in der Detailebene auch die bei Pyrolysen und Schwelbränden auftretenden Zersetzungsprodukte verstanden. Zusätzlich enthält die Datenbank bewertete und übersichtlich zusammengestellte Informationen zu den wesentlichen Brandprodukten einzelner Brandstoffe und deren toxischer Relevanz. Der Zugriff auf die Datensätze wird durch besondere Suchmöglichkeiten erleichtert, z.B. können die Brandproduktaten mit Hilfe von Anwendungsbezeichnungen und Handelsnamen des Brandstoffes recherchiert werden. Weiterhin sind in der Datenbank Adressen von einigen Herstellern von Anwendungen und Adressen von Brandexperten sowie ein umfangreiches Literaturverzeichnis enthalten.

Der vorliegende Bericht stellt die wichtigsten theoretischen Grundlagen zur Chemie und Physik von Bränden vor und erläutert unterschiedliche Untersuchungsapparaturen, die für die Ermittlung von Daten zu Brandprodukten eingesetzt werden. Ferner wird die Datenbank PHLOGISTON beschrieben, und die gesammelten Daten werden kritisch ausgewertet. Als Anhang wurde ein Glossar zusammengestellt, in dem wichtige Begriffe aus dem Bereich Brandschutzwesen nachgeschlagen werden können.

¹Phlogiston (griechisch: phlogistós = verbrannt) ist nach einer ersten Theorie der Verbrennung von Georg Ernst Stahl (1697) eine Substanz, die in allen Stoffen in mehr oder weniger großer Menge enthalten ist und die bei Verbrennung, Atmung oder Verwesung diesem Stoff entweicht.

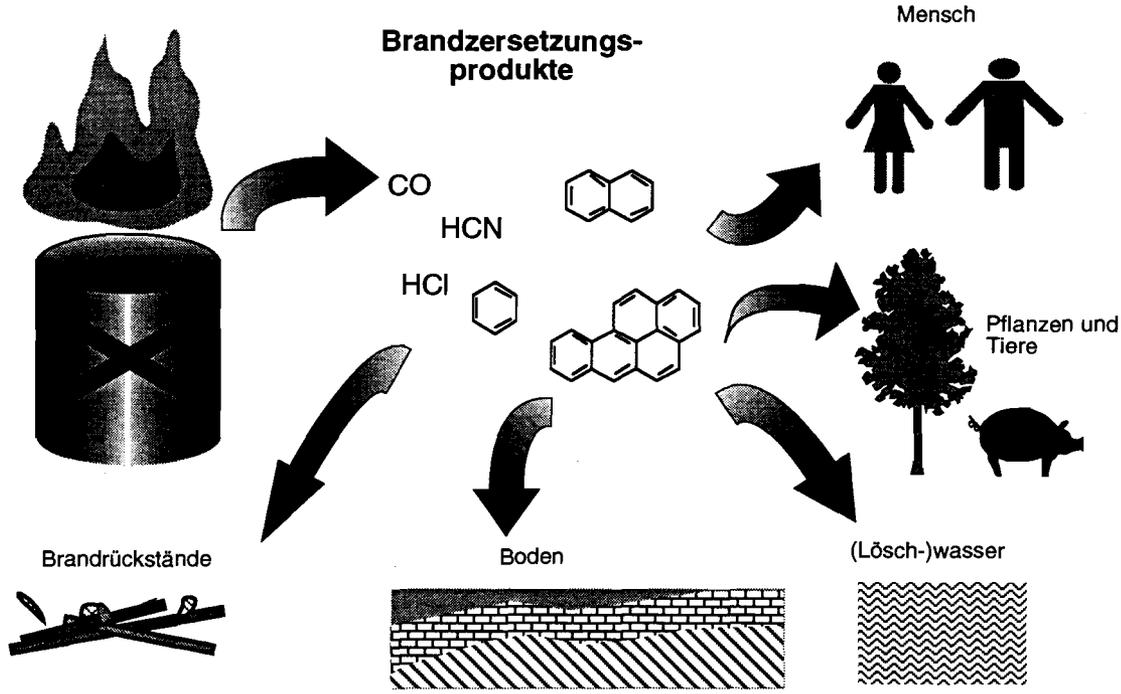


Abb. 2.1: Auswirkungen von Brandzersetzungsprodukten.

3 Verbrennung und Brandproduktbildung

3.1 Der Vorgang der Verbrennung

Bei Verbrennungsprozessen handelt es sich um die exotherme Reaktion eines Stoffes mit einem Oxidationsmittel. Die Verbrennung tritt auf in Verbindung mit Flammen und/oder Glimmen und gegebenenfalls mit Rauch. Als Oxidationsmittel dient der in der Luft enthaltene molekulare Sauerstoff. In Abbildung 3.1 sind die bei einer Verbrennung ablaufenden Prozesse schematisch dargestellt.

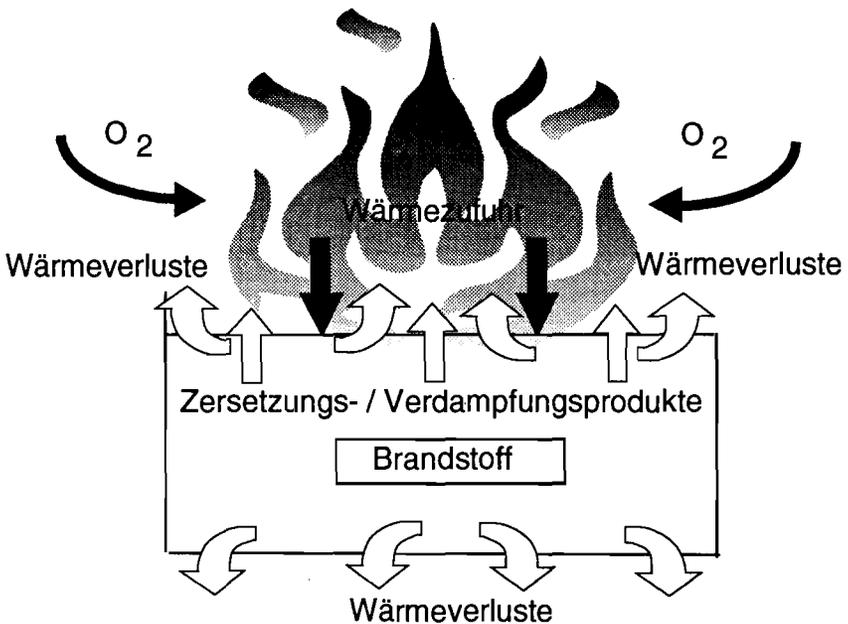


Abb. 3.1: Schematische Darstellung der in einem Feuer ablaufenden Prozesse (nach [SIMM95]).

Bei einem Feuer bewirkt die Wärmezufuhr aus der Reaktionszone die Verdampfung bzw. thermische Zersetzung (Pyrolyse) des Brandstoffes. Bei der Pyrolyse werden Bindungen in

der Struktur des Brandstoffes aufgebrochen und es werden Produkte mit kleineren Molekülen freigesetzt. Die Zersetzungsprozesse finden in der Regel bereits unter Beteiligung von Sauerstoff statt, d.h. die entstehenden Pyrolysegase sind teiloxidiert. Im weiteren Verlauf finden abhängig von den Brandbedingungen weitere Reaktionen statt. Von Bedeutung für den Verbrennungsprozeß sind weiterhin die Luftzufuhr (Ventilation), die Wärmeabgabe an die Umgebung sowie die Art, Menge und Anordnung der am Brand beteiligten Stoffe.

Ein Feuer kann, wie in Abb. 3.2 dargestellt, sowohl durch seine energetischen Auswirkungen, wie z.B. Hitze, als auch durch die gebildeten Brandprodukte eine Gefährdung von Lebewesen und Sachwerten darstellen. Thema des vorliegenden Berichtes sind jedoch die Auswirkungen von Brandprodukten. Unter dem Begriff Brandprodukte sind im folgenden die oxidierten und die bei Pyrolysen gebildeten Produkte zu verstehen.

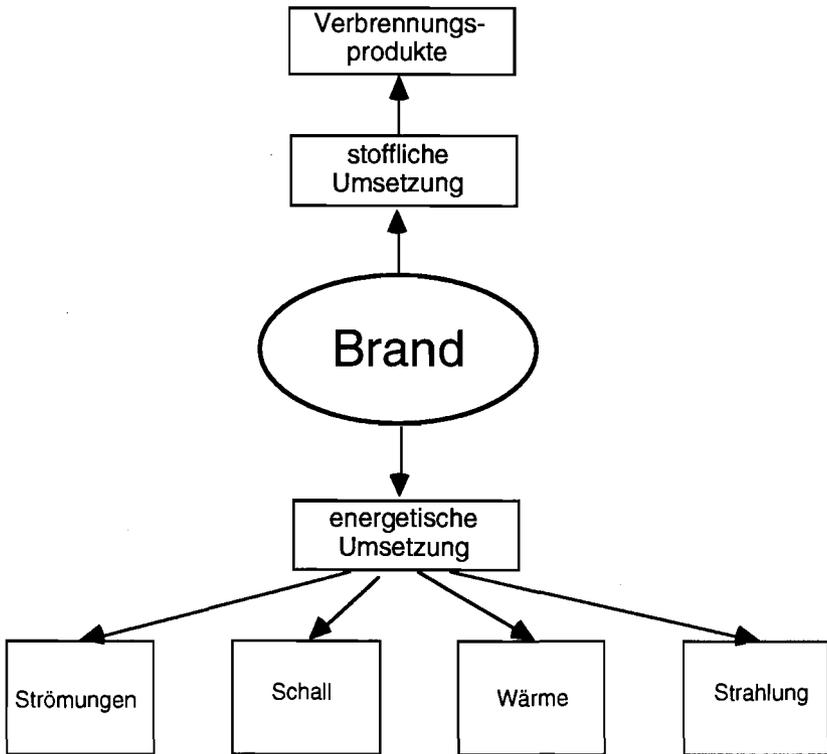
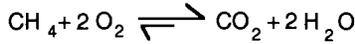


Abb. 3.2: Schematische Darstellung der Folgeerscheinungen eines Brandes.

Bei der vollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen erhält man als Verbrennungsprodukte Kohlendioxid und Wasser:

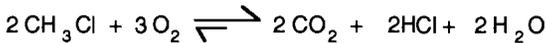


Für den Ablauf einer chemischen Reaktion ist die Differenz zwischen der freien Enthalpie der Brandprodukte $G(\text{Pr})$ und der freien Enthalpie der Brandstoffe $G(\text{Ed})$ entscheidend:

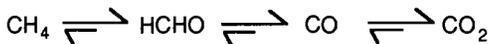
$$G(\text{Pr}) - G(\text{Ed}) = \Delta G .$$

Ist die Differenz der freien Enthalpien negativ ($\Delta G < 0$), läuft eine Reaktion nach Aufbringen der Aktivierungsenergie von selbst ab. Bei positiver Enthalpiedifferenz ($\Delta G > 0$) ist dagegen für den Ablauf der Reaktion die Zufuhr von Energie erforderlich. Die thermodynamischen Grundlagen sind ausführlicher im Anhang 10.4 dargestellt.

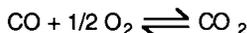
Als Produkte der Verbrennungsreaktion entstehen meist, wie z.B. im Falle des Kohlendioxids, Verbindungen, in denen das oxidierte Element seine höchstmögliche stabile Oxidationsstufe erreicht. Bei den gebildeten Reaktionprodukten muß es sich jedoch nicht in jedem Fall um die jeweilige Sauerstoffverbindung eines Elements handeln. So sind z.B. die Oxide der Halogene, in denen die Halogene eine positive Oxidationszahl aufweisen, instabile Verbindungen ($\Delta G > 0$). Ihre Beständigkeit nimmt in der Reihenfolge J, Br, Cl, F ab. Lediglich die Reaktion zu bestimmten Jod-Sauerstoff-Verbindungen ist exotherm. Aus den am Brand beteiligten Halogenatomen entstehen daher als stabilste Verbindungen Halogenwasserstoffe. Ihre Stabilität nimmt in der Reihe vom Jod zum Fluor zu [HOLL76].



Neben den Produkten vollständiger Verbrennung treten bei Bränden auch Produkte unvollständiger Verbrennung auf. Dabei handelt es sich um Zersetzungsprodukte oder unvollständig oxidierte Stoffe, wie z.B. Kohlenmonoxid und organische Verbindungen. Ihre Bildung ist u.a. darauf zurückzuführen, daß die Reaktion des Kohlendioxids aus organischem Material über Zwischenprodukte erfolgt. Formalkinetisch ist bei der Oxidation kohlenstoffhaltiger Verbindungen oberhalb von 600°C bis 700°C von einem Radikalkettenmechanismus über Formaldehyd und Kohlenmonoxid als stabile Zwischenprodukte zu Kohlendioxid auszugehen [SCHU94].



Die Gleichgewichtsreaktion zwischen Kohlenmonoxid und Kohlendioxid wird im folgenden näher erläutert [HOLL76].



Die Gleichgewichtskonstante hierzu ist wie folgt definiert:

$$K = \frac{(CO_2)}{(CO) \cdot (O_2)^{0,5}} \quad \text{oder} \quad \frac{(CO)}{(CO_2)} = \frac{1}{K \cdot \sqrt{(O_2)}}$$

mit K: Gleichgewichtskonstante,
(CO₂): Gleichgewichtskonzentration an CO₂,
(CO): Gleichgewichtskonzentration an CO,
(O₂): Gleichgewichtskonzentration an O₂.

Das Verhältnis Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid im Gleichgewicht ist somit umgekehrt proportional zur Quadratwurzel der vorliegenden Sauerstoffkonzentration. Bei hohen Sauerstoffkonzentrationen liegt das Gleichgewicht hierdurch fast vollständig auf der Produktseite des Kohlendioxids. Bei geringen Sauerstoffkonzentrationen wird entsprechend mehr Kohlenmonoxid gebildet. Für andere Zwischenprodukte liegen ähnliche Beziehungen vor. Weiterhin werden Art und Menge der gebildeten Produkte durch kinetische Aspekte beeinflusst. Häufig reicht nämlich die Verweilzeit eines Zwischenproduktes in einer Brandzone mit bestimmten Brandbedingungen nicht aus, um die Ausbildung eines Gleichgewichtszustandes zu ermöglichen. In diesem Fall werden Stoffe freigesetzt, die bei vorliegendem Gleichgewicht nicht oder nur in geringen Konzentrationen auftreten würden.

Ein Feuer ist ein inhomogenes Gebilde mit zeitlich und räumlich unterschiedlichen Zustandsbedingungen und Stoffkonzentrationen. Dies wird bereits an der Flamme eines Propangasbrenners deutlich, in der Konzentrationsprofile für Pyrolyseprodukte, Hauptoxidationsprodukte und Edukte auftreten. Innerhalb einer Flamme können Oxidations- und Pyrolysezonen voneinander unterschieden werden [SIMM95].

Bei einem Brand liegen Brandzonen mit unterschiedlichen Verbrennungsbedingungen vor. So kann es z.B. auch nicht zu einer vollständigen Gleichgewichtsausbildung kommen, da ständig Reaktionsprodukte aus einer Reaktionszone abgeführt werden bzw. Sauerstoff zugeführt wird. Die Reaktionsprodukte werden dabei freigesetzt oder gelangen in Brandzonen mit anderen Brandbedingungen. Weiterhin werden die energetischen Verhältnisse der Verbrennungs- und Zersetzungsreaktionen von der Wärmezufuhr bzw. Wärmeabfuhr beeinflusst. Hierdurch kann es z.B. auch zur Zersetzung eines selbst nicht brennbaren Stoffes kommen, wenn Verbrennungsreaktionen anderer am Brand beteiligter Stoffe die erforderliche Zersetzungsenergie liefern.

Auch der zeitliche Verlauf eines Brandes zeigt verschiedene Phasen, die nach Roth-Weller und Lembke in Abbildung 3.3 dargestellt sind [ROTH90], [LEMK94].

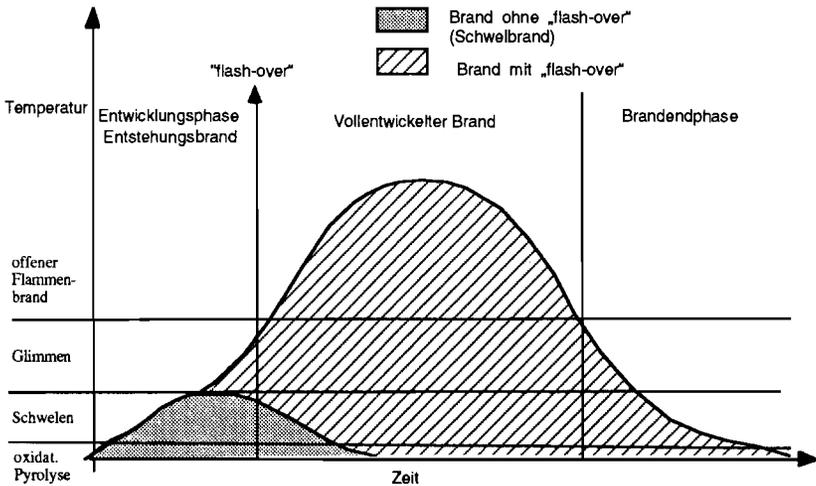


Abb. 3.3: Schematischer Temperatur/Zeit-Verlauf bei Bränden (nach [ROTH90], [LEMK94]).

In der Entzündungsphase (nicht in der Abbildung dargestellt) wird durch die Zündung des gebildeten Brennstoff/Luftgemisches die benötigte Aktivierungsenergie frei. In der Entwicklungsphase (Entstehungsbrand) ist der Brand um den Entzündungsherd lokalisiert, die Brandtemperatur ist niedrig, steigt aber laufend und mit wachsender Geschwindigkeit an. Aus dem Entstehungsbrand entwickelt sich durch eine schlagartige Ausbreitung des Feuers, dem sogenannten "flash-over" oder "Überspringen der Flammen", der vollentwickelte Brand. Der "flash-over" kann u.a. durch die Aufheizung von brennbaren Stoffen in der Nähe des Entstehungsbrandes, die Bildung und Entzündung von zusätzlichen Pyrolysegasen oder plötzlichem Sauerstoffzutritt auftreten. Unterbleibt der "flash-over", so erlischt der Brand. Brandtemperatur und Energiefreisetzung erreichen nach dem "flash-over" ein Maximum. Rauchgas und Hitzeentwicklung sind ebenfalls in dieser Phase am stärksten. In der Endphase des Brandes sinken Temperaturen und Brandgeschwindigkeit; das Feuer brennt langsam aus [ROTH90].

Nach dem technischen Bericht der International Organization for Standardization (ISO) ist zwischen den in Tabelle 3.1 definierten Brandphasen zu unterscheiden [ISO9122-T1-T6]. Die Brandphasen ergeben sich durch Kombination einzelner Brandbedingungen.

Tab. 3.1: Definition von Brandphasen für bestehende Kombinationen aus Brandbedingungen [ISO9122-T1-T6].

Kennzeichnung

Schwelbrand (selbst unterhaltend)
flammenlose, oxidative Zersetzung
flammenlose, nicht oxidative Zersetzung
sich entwickelnder Brand
voll entwickelter Brand (mäßig ventiliert)
voll entwickelter Brand (gut ventiliert)

3.2 Brandprodukte

Neben den energetischen Auswirkungen eines Feuers können bei einem Brand Gefahren durch Brandprodukten in fester, flüssiger und gasförmiger Form auftreten. Unter Brandprodukten sind sowohl Verbrennungsprodukte als auch thermische Zersetzungsprodukte zu verstehen. Die größte akute Gefährdung geht von den gasförmigen Produkten aus, da sie durch Einatmen oder Hautresorption direkt auf die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen bzw. durch Korrosion auf Sachwerte einwirken können. Bei den flüssigen Brandprodukten kann es sich zum einen um Aerosole und zum anderen um organische Pyrolyseöle handeln. Pyrolyseöle können vor allem bei Bränden entstehen, an denen Polymere beteiligt sind. Weiterhin kann das Löschwasser entweder den Brandstoff oder die Brandprodukte in gelöster Form enthalten. Pyrolyseöle und kontaminiertes Löschwasser können zu einer Gefährdung von Boden, Gewässern und Grundwasser führen. Zu den festen Brandprodukten gehören die teilweise verbrannten Brandstoffe, kontaminierte Gegenstände wie Brandschutt und eventuell belasteter Boden sowie im Brandgas enthaltene Partikel (z.B. Ruß). Dabei sind an die Partikel oft Schadstoffe angelagert. In Abbildung 3.4 sind die möglichen Brandprodukte schematisch dargestellt.

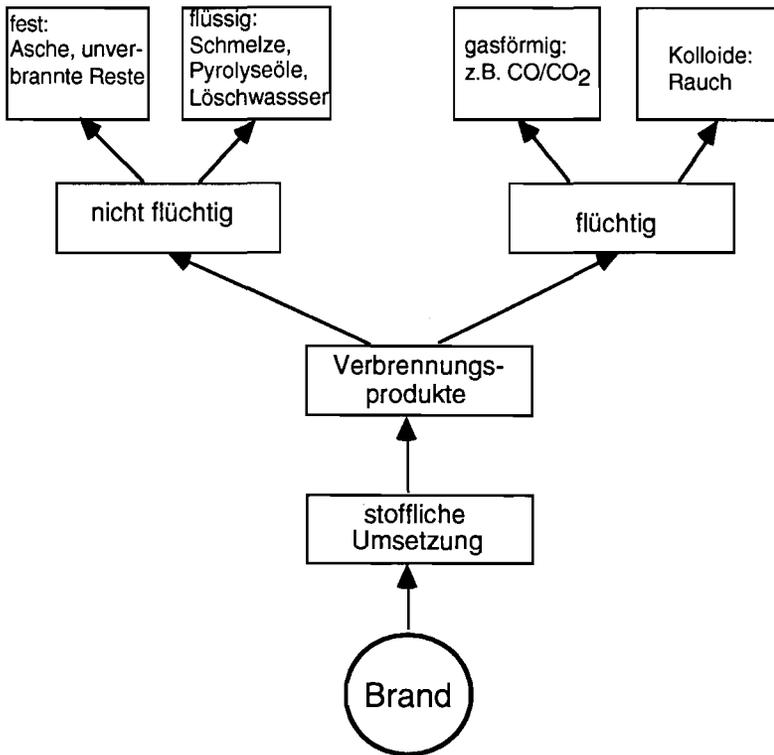


Abb. 3.4: Mögliche Brandprodukte.

In der Regel sind unterschiedliche Stoffe bzw. Stoffgemische an einem Brand beteiligt, wobei die beteiligten Stoffe über ihre Zusammensetzung und ihren strukturellen Aufbau maßgeblich die Zusammensetzung der Brandgase bestimmen. Die Ermittlung der am Brand beteiligten Stoffe ist mitunter schwierig, da technische Formulierungen im allgemeinen eine relativ große Zahl von Reinstoffen enthalten, die nicht in allen Fällen bekannt sind. So bestehen Kunststoffe neben dem polymeren Grundstoff aus einer Vielzahl von Weichmachern und Füllstoffen, die ebenfalls zu Art und Menge der Brandprodukte beitragen können.

Von Bedeutung für die Freisetzung von Brandprodukten sind auch Stoffeigenschaften wie die Brennbarkeit eines Stoffes. Die Brennbarkeit eines festen Stoffes wird u.a. durch die Entzündungstemperatur [DIN50060] gekennzeichnet. Bei der Entzündungstemperatur handelt es sich um die niedrigste Temperatur, bei der eine anhaltende Verbrennung eingeleitet werden kann. Darüber hinaus können jedoch nicht nur brennbare oder leichtentzündliche Stoffe zur Brandproduktbildung beitragen, sondern es können auch schwer entflammbare Stoffe durch

thermische Zersetzung die Zusammensetzung der Brandgase beeinflussen. Die thermische Energie zur Zersetzung des Stoffes wird dann durch die Verbrennungsreaktion eines anderen am Brand beteiligten Stoffes geliefert. Dabei kann es sich z.B. um Verpackungsmaterial handeln. Die Anordnung und Verpackung der am Brand beteiligten Stoffe ist somit auch für Art und Menge der gebildeten Brandprodukte von Bedeutung. Weiterhin beeinflussen die Verbrennungsbedingungen Temperatur, Sauerstoffzufuhr, Verweilzeit der Brandgase und Abbrandgeschwindigkeit sowie die räumliche und zeitliche Änderung dieser Parameter die Anteile vollständiger und unvollständiger Verbrennungsprodukte.

Die Gefährdung durch Brandprodukte ist konzentrationsabhängig und damit von der Entfernung vom Brandort und der thermischen Konvektion abhängig. Bei der toxikologischen Wirkung der Brandprodukte ist zwischen akuter und chronischer Toxizität zu unterscheiden. Unter akuter Toxizität versteht man die Wirkung, die durch eine einmalige Exposition ausgelöst wird und entweder sofort oder nach einigen Stunden oder Tagen auftritt. Mit dem Begriff chronische Toxizität wird üblicherweise [ISO9122-T2] die toxische Wirkung bezeichnet, die nach längerer oder mehrfacher Exposition auftritt. Teilweise werden auch spezieller formulierte Definitionen für die chronische Toxizität verwendet. Über die toxische Wirkung vieler Einzelkomponenten ist heute relativ viel bekannt, über die additive synergistische oder antagonistische Wirkung der Einzelkomponenten von Brandgasen jedoch nur sehr wenig.

Die wichtigsten Brandprodukte sind:

- **Kohlendioxid und Wasser**

Kohlendioxid und Wasser sind die Hauptkomponenten bei der Verbrennung organischer Stoffe. Kohlendioxid stellt bei Bränden aufgrund seiner geringen Toxizität meist keine Gefährdung dar, vielmehr ist wegen der sehr großen Bildungsmengen die Verdrängung von Luftsauerstoff zu beachten, die zu Erstickungen führen kann. Die reizende Wirkung kann eine Erhöhung der Atemfrequenz und damit auch eine verstärkte Aufnahme anderer Brandprodukte bewirken. Wasser ist allein aufgrund seiner korrosiven Wirkung zu beachten.

- **Kohlenmonoxid**

Kohlenmonoxid stellt in den meisten Fällen das toxikologisch bedeutendste Brandprodukt bei unvollständiger Verbrennung kohlenstoffhaltiger Materialien dar, d.h. die Vergiftung durch CO stellt die Haupttodesursache unter den Opfern von Bränden dar. Kohlenmonoxid verdrängt den Sauerstoff vom Hämoglobin des Blutes; es kommt zu einer Blockade des Sauerstofftransports.

- **Organische Produkte**

Organische Brandprodukte entstehen als Produkte der unvollständigen Verbrennung beim Brand organischer Materialien. Art und Menge der organischen Brandprodukte werden wesentlich von der Struktur des Brandstoffes bestimmt. In der Regel handelt es sich dabei um bereits anoxidierte Stoffe wie Alkohole, Aldehyde, Ketone und Karbonsäuren. Bei den Aldehyden ist das Acrolein wegen seiner großen Giftigkeit besonders wichtig. Relativ begünstigt ist auch die Bildung aromatischer Verbindungen wie Benzol oder PAK (polyzyclische aromatische Kohlenwasserstoffe), da sie energetisch stabile Verbindungen darstellen. Bei gut ventilierten Bränden ist die Konzentration der organischen Brandprodukte meist sehr gering, so daß sie bezüglich ihrer akut toxischen Wirkung im Brandgas ohne Bedeutung sind. Wichtiger wird ihre toxikologische Relevanz, wenn die Brandtemperaturen sehr niedrig sind oder der Brand schlecht ventiliert ist. Bei Schmelbränden, pyrolytischen Prozessen oder Raumbränden ist ihre Bildung unbedingt zu beachten. Die Stoffgruppe der PAK ist durch ihre chronisch toxische Relevanz von Bedeutung, da sie Stoffe beinhaltet, die sich im Tierversuch als eindeutig karzinogen erwiesen haben. Das Auftreten rußreicher Flammen ist ein Hinweis auf ihre Bildung. In manchen Fällen kann die Freisetzung von unverbranntem Brandstoff zur Toxizität der Brandgase beitragen.

- **Halogenverbindungen**

Organische Halogenverbindungen

Halogenierte Phenole und halogenierte Benzole kommen bei gut ventilierten Bränden (abhängig vom Brandstoff) in der Regel nur in geringen Mengen in den Brandprodukten vor. Sie sind unter anderem deshalb von Bedeutung, da sie als Vorläuferverbindungen für polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane bekannt sind. Aufgrund ihrer vor allem chronisch toxischen Wirkung sind sie in Brandrückständen und im Einwirkungsbereich von Bränden (Boden, Nutzpflanzen) von Bedeutung.

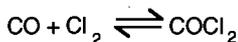
Polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane spielen als Schadstoffgruppe in der öffentlichen Diskussion eine bedeutende Rolle, da in Tierversuchen eine extrem hohe Toxizität nachgewiesen wurde. Als toxischstes Isomer innerhalb der Substanzklasse der Dioxine gilt das 2,3,7,8-Tetrachlor dibenzo-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD, "Seveso-Gift"). Epidemiologische Untersuchungen hinsichtlich der Kanzerogenität von 2,3,7,8-TCDD sind in ihren Ergebnissen widersprüchlich. In der TRGS 905 wird 2,3,7,8-TCDD als krebserzeugend (Gefährdungsgruppe "stark gefährdend") eingestuft [TRGS905]. Polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane entstehen bei Bränden im Vergleich zu anderen Brandprodukten nur in Spuren. Aufgrund des Verdachtes auf toxische Langzeitwirkung sind sie jedoch auch in Spuren von Bedeutung. Vielfach liegen sie adsorbiert an Rußpartikeln und damit nicht direkt bioverfügbar vor. Sie sind vor allem in

Brandrückständen und im Einwirkungsbereich von Bränden (Boden, Nutzpflanzen) von Bedeutung.

Anorganische halogenhaltige Brandprodukte

Produkte vollständiger Verbrennung von halogenhaltigen Brandstoffen sind Halogenwasserstoffe. Die bedeutendsten Halogenwasserstoffe, die bei Bränden gebildet werden können, sind wegen der Verbreitung chlorhaltiger Produkte Chlorwasserstoff und (wegen seiner hohen Toxizität) Fluorwasserstoff. In manchen Fällen kann neben Chlorwasserstoff auch molekulares Chlor und Phosgen gebildet werden. Die Wahrscheinlichkeit, daß molekulares Chlor beim Brand gebildet wird, hängt u.a. vom Chlorgehalt der Brandstoffe ab. Bei ungünstigem Chlor/Wasserstoffverhältnis (d.h. hoher Chlorgehalt im Brandstoffmolekül) wird die Bildung von Chlor begünstigt. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Phosgen ist eng mit der Bildungswahrscheinlichkeit von molekularem Chlor verknüpft, da Phosgen bei Bränden durch Reaktion von Kohlenmonoxid mit molekularem Chlor gebildet wird.



Die Bildungswahrscheinlichkeit von Phosgen erhöht sich somit mit längerer Verweilzeit der Brandgase und höherer Produktkonzentration.

- **Stickstoffhaltige Brandprodukte**

Das stickstoffhaltige Hauptprodukt der vollständigen Verbrennung ist molekularer Stickstoff (N_2). Dieser ist mit 78 % in der Luft enthalten und deshalb toxikologisch bei Bränden ohne Bedeutung.

Bei höheren Brandtemperaturen kann es zur Bildung von Stickoxiden (NO_x) kommen. Im einzelnen kann es sich dabei um Stickstoff-(II)-oxid (NO), Stickstoff-(IV)-oxid (NO_2 bzw. N_2O_4) sowie Stickstoff-(I)-oxid (Lachgas, N_2O) handeln. NO und NO_2 üben eine starke Reizwirkung auf die Atemwege und Augen aus. Akute Lebensgefahr kann durch die Bildung von Lungenödemen und Blutveränderungen hervorgerufen werden. Geringe Mengen von Stickoxiden können auch bei Bränden gebildet werden, bei denen die Brandstoffe keinen Stickstoff enthalten. Die Bildung ist in diesem Fall auf die Oxidation des in der Luft enthaltenen Stickstoffs zurückzuführen [SIMM95]. Die NO_x -Bildung nimmt zu mit steigendem Sauerstoffangebot und steigender Temperatur.

Cyanwasserstoff (HCN) ist Produkt der unvollständigen Verbrennung. Die HCN -Bildung hat ihr Bildungsmaximum bei niedrigeren Temperaturen als die NO_x -Bildung. Im Laborversuch liegt das Maximum oft bei 400°C bis 600°C. Die HCN -Bildung wird durch Sauerstoffmangel begünstigt. Die Toxizität von Cyanwasserstoff beruht in erster Linie auf einer Blockierung des intrazellulären Sauerstofftransports, d.h. das Eisen des Hämoglobins wird durch Komplexbildung mit Cyanidionen unwirksam gemacht. Der Tod kann

bei Einatmung größerer Mengen schon nach wenigen Sekunden auftreten [ENGL90]. Die Abhängigkeit der Cyanwasserstoffbildung von der Verbrennungstemperatur bei der Verbrennung unterschiedlicher Polyurethane ist für die thermische Zersetzung mit und ohne Flammerscheinung in Abbildung 3.5 dargestellt.

Weitere Produkte der unvollständigen Verbrennung stickstoffhaltiger Materialien sind Ammoniak sowie primäre, sekundäre und tertiäre Amine. In der Regel sind die Produkte nur bei erheblichem Sauerstoffmangel und niedrigen Temperaturen von Bedeutung. Während Ammoniak unterhalb der Geruchsschwelle nicht von toxikologischer Bedeutung ist, kann die Toxizität einzelner Amine sehr unterschiedlich sein.

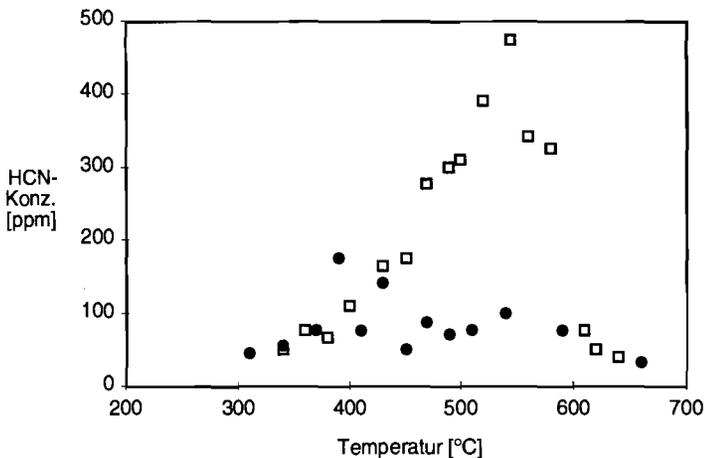


Abb. 3.5: HCN-Freisetzung bei oxidativer thermischer Zersetzung von Polyurethan in einer Laborapparatur bei einer Aufheizgeschwindigkeit von 20 °C/min (□ : hartes Polyurethan (GM 29), Zersetzung ohne Flammerscheinung; ● : weiches Polyurethan (GM 21), Zersetzung mit Flammerscheinung) [ESPO88].

• Schwefelhaltige Brandprodukte

Brandprodukt der vollständigen Verbrennung ist bei schwefelhaltigen Brandstoffen Schwefeldioxid (SO₂). Schwefeldioxid wirkt reizend auf die Lungen. Konzentrationen von 100 bis 250 ppm SO₂ in der Atemluft [ENGL90] gelten als lebensgefährlich. Schwefeltrioxid wird in der Regel nur in geringen Maße gebildet. Produkte der unvollständigen Verbrennung, die nur bei Bränden mit erheblichem Sauerstoffmangel oder verhältnismäßig niedrigen Temperaturen Bedeutung erlangen können, sind Schwefelwasserstoff (H₂S) und Mercaptane.

4 Daten zu Brandprodukten

Daten zu Brandprodukten können entweder bei Ereignisbränden (Schadenfeuer) oder bei Brandversuchen unter Einsatz geeigneter Meßtechnik gewonnen werden.

4.1 Ereignisbrände

Jährlich ereignen sich allein in Nordrhein-Westfalen (NRW) über 40 000 Brände. Von den 41 511 im Jahr 1994 in NRW registrierten Bränden wurden 3,2 % als Groß- und 9,2 % als Mittelbrand, der Rest als Kleinbrand eingestuft [IMNW95].

Bei den meisten Bränden ist ein Gemisch aus vielen verschiedenen Stoffen am Brand beteiligt. Bei Gebäude- und Wohnungsbränden z.B. werden vom Feuer die unterschiedlichsten Einrichtungsgegenstände erfaßt, die aus unbehandeltem, behandeltem oder verarbeitetem Holz aber auch aus verschiedenen Kunststoffen bestehen können. Verkleidungen von Wänden und Decken, Fußböden, Tapeten und andere brennbare Materialien kommen als weitere Stoffe hinzu. Auch bei Bränden von Geschäftseinrichtungen sind viele verschiedene Stoffe am Brand beteiligt, wobei in der Regel kein Brandstoff dominierend ist. In der Statistik des Jahres 1994 für NRW machen Brände in Wohn- und Bürogebäuden zusammen einen Anteil von 28,5 % aus. 9,6 % der Brände ereigneten sich in Gewerbe- oder Industriebetrieben.

Neben solchen "normalen" Bränden ereignen sich darüber hinaus Brände, bei denen entweder nur wenige verschiedene Brandstoffe beteiligt sind oder zumindest ein Brandstoff aufgrund der großen Menge und aufgrund von besonders kritisch zu beurteilenden Brandprodukten von besonderer Bedeutung ist. Beispiele hierfür sind Brände von Lagereinrichtungen, Anlagen oder allgemein Bereichen, in denen sich größere Mengen eines bestimmten Stoffes befinden. Im Jahr 1994 ereigneten sich in NRW 3 984 Brände unterschiedlicher Größe in Industrie- und Gewerbebetrieben. In der Datenbank FIRE des finnischen Forschungszentrums VTT werden Lagerbrände, die sich seit 1980 im europäischen Raum ereignet haben, erfaßt [KOIV94]. Für den Zeitraum bis 1994 sind Daten zu insgesamt 57 Bränden vorhanden. In diese Datenbank sind jedoch nur Untersuchungsberichte und Veröffentlichungen über in der Fachliteratur gut dokumentierte Lagerbrände eingegangen. Die tatsächliche Zahl von Bränden mit maßgeblicher Beteiligung von "Sonderbrandstoffen" liegt wahrscheinlich deutlich höher.

Insbesondere bei Bränden mit maßgeblicher Beteiligung von "Sonderbrandstoffen" werden meßtechnische Untersuchungen durchgeführt, um gefährliche umweltrelevante Konzentrationen von Stoffen zu erkennen. Da bei einem realen Brand starke räumliche und zeitliche Schwankungen der Rauchdichte und Konzentrationen von Brandprodukten auftreten, stellt die Probenahme die kritischste Komponente einer analytischen Messung dar. Die gemessenen

Stoffkonzentrationen geben nur eine Momentaufnahme für den Ort der Probenahme wieder und können nicht repräsentativ für den Brand in seiner Gesamtheit sein. Die Messungen können direkt in Entscheidungen der Einsatzleitung über einsatztaktische Maßnahmen eingehen oder aber die Grundlage für eine nachträgliche Brandbeurteilung bilden.

Immissionsmessungen und Untersuchungen des Löschwassers sind möglichst frühzeitig während eines Brandes vorzunehmen, um die Gefährdung der Ersteinsatzkräfte und der umliegenden Bevölkerung abzuschätzen bzw. die Kontamination des Löschwassers festzustellen. Weitere Maßnahmen wie beispielsweise die Festlegung von Absperbereichen und die Information und Warnung der benachbarten Bevölkerung können bei vorliegenden Meßdaten auf einer solideren Grundlage getroffen werden.

Abgesehen von den genannten kurzfristig vor Ort durchzuführenden Untersuchungen können für nachträgliche Beurteilungen weitere, evt. auch zeitintensive (z.B. für PCDD/F) meßtechnische Untersuchungen erforderlich werden, wobei u.U. an der Brandstelle Proben genommen werden und an anderer Stelle analysiert werden. Nach einem Brand mit Beteiligung von "Sonderbrandstoffen" muß beispielsweise die Kontamination von Ausrüstungsgegenständen und Brandrückständen festgestellt werden, um die Sanierungsmaßnahmen darauf abzustimmen. Sämtliche im Zusammenhang mit einem Brand durchgeführten Messungen, insbesondere auch vereinzelt im Rahmen von Forschungsarbeiten direkt in Schadgaswolken durchgeführte Messungen, können darüber hinaus für nachträgliche Einsatzanalysen genutzt werden, um Schlußfolgerungen für zukünftige Einsatzplanungen abzuleiten.

Im Zuge der Weiterentwicklung der Meßtechnik sind erst in den letzten Jahren umfassende Messungen für eine große Palette entstehender Brandprodukte möglich geworden. Während zuvor in erster Linie quantitative oder halbquantitative Angaben zu anorganischen Brandgasen zur Verfügung standen, erlaubt die moderne Meßtechnik auch die analytische Bestimmung von organischen Brandprodukten (mittels mobiler Gaschromatographie mit Massenspektrometrie = GC-MS).

Insgesamt sind in der veröffentlichten Literatur nur wenige Angaben zu den bei Ereignisbränden entstehenden Brandprodukten zu finden, außerdem ist die Dokumentation oft lückenhaft und es fehlen insbesondere konkrete Meßdaten. Schuppe kommt in seiner Studie zu einem ähnlichen Ergebnis [SCHU94]. In der Datenbank FIRE des finnischen Forschungszentrums VTT sind nur zu 35 der insgesamt 57 dokumentierten Lagerbränden Brandproduktinformationen enthalten und nur in 10 Fällen liegen konkrete Meßergebnisse vor [KOIV94]. Die relativ geringe Zahl von Literaturstellen mit verwertbaren Daten zu Brandprodukten erklärt sich teilweise durch den bisherigen Mangel an zuverlässiger Meßtechnik. Darüber hinaus stehen eher einsatztaktische Aspekte im Vordergrund vieler Fachartikel.

Umfangreiche, den Feuerwehreinsatz begleitende Messungen im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben gerade in den letzten Jahren haben gezeigt, daß bei normalen Bränden meist nur einige wenige und häufig dieselben Brandgase hinsichtlich der gemessenen Konzentration und der Toxizität berücksichtigt werden müssen. Die bei verschiedenen Bränden gemessenen

Konzentrationen liegen darüber hinaus in der Regel in ähnlichen Größenordnungen. Auch Schuppe stellt fest, daß eine Bewertung der Rauchgastoxizität bei normalen Bränden anhand der Messung von einigen wenigen charakteristischen Brandgasen und üblicher meßtechnischer Ausstattung möglich ist [SCHU94]. Bei Bränden unter maßgeblicher Beteiligung von "Sonderbrandstoffen" können je nach Brandstoff verschiedene andere Brandgase hinsichtlich der Rauchgastoxizität bedeutend sein.

4.2 Brandversuche

Brandversuche werden mit unterschiedlichen Zielsetzungen und in verschiedenen Größenordnungen durchgeführt. Ein größerer Versuchsmaßstab ist beispielsweise erforderlich, um das Brandverhalten von Stoffen (z.B. die Abbrandgeschwindigkeit) und die Brandausbreitung bei verschiedenen Bedingungen realitätsnah zu untersuchen, wobei die Stoffe u.U. in handelsüblicher Verpackung oder in einer wie in einem Lager üblichen Anordnung vorliegen. Weiterhin kann das Ziel von Brandversuchen darin bestehen, die Brandproduktbildung von realen Brandzuständen zu simulieren und die entstehenden Produkte chemisch-analytisch oder hinsichtlich ihrer toxikologischen Wirkung zu untersuchen. Vereinzelt werden die Brandprodukte bzw. der Brandrauch auch auf ihre korrosive Wirkung gegenüber Metallen untersucht, oder es wird die optische Dichte des Rauchs bestimmt. Während chemisch-analytische Untersuchungen bei Versuchen jeden Maßstabs vorgenommen werden können, erfolgen toxikologische Untersuchungen vor allem bei Brandversuchen in Apparaturen kleineren Maßstabs. Teilweise werden kleinmaßstäbliche Brandversuche auch ohne Sauerstoff, z.B. im Inertgasstrom, durchgeführt, um nach chemischer Analyse der Zersetzungsprodukte Aussagen zum Zersetzungsmechanismus und zur Kinetik treffen zu können.

Nach dem Versuchsmaßstab können die Versuchsanordnungen eingeteilt werden in:

- spezifische Versuchsanordnungen wie z.B. Brandhäuser,
- Großbrandversuchsanlagen,
- offene oder geschlossene Kleinbrandversuchsstände (u.a. Freibrandversuche),
- Laborapparaturen.

Bei spezifischen Versuchsanordnungen (z.B. Wohnung mit typischer Einrichtung, Eisenbahnabteil, Brandhaus) bestehen hinsichtlich Maßstab und Ventilationsbedingungen nahezu keine Unterschiede zu Ereignisbränden des gleichen Typs. Die reale Brandstoffzusammensetzung und -anordnung kann ebenfalls über eine möglichst typische Zusammensetzung des Brandstoffgemisches angenähert werden. In der Literatur sind verschiedene in spezifischen Versuchsanordnungen durchgeführte Brandversuche dokumentiert (z.B. [MORI86], [OEST93]).

Auch bei Großbrandversuchsanlagen kommen der Versuchsmaßstab und die Ventilationsbedingungen der Realität nahe, die lagermäßige Anordnung und die Konfektionierung des Brandstoffs können berücksichtigt werden und die einzelnen Phasen eines Brandes werden analog der Realität durchlaufen. Bei Brandversuchen in diesem Maßstab ist somit von einer mit der Realität vergleichbaren Brandproduktbildung auszugehen, wobei ähnlich wie bei Ereignisbränden die Schwierigkeit einer repräsentativen Probenahme besteht. Nachteilig ist bei solchen Versuchen außerdem der hohe experimentelle und finanzielle Aufwand. Großbrandversuchsanlagen bestehen aus einem zentralen Bereich, in dem sich das Brandgut und die Probenahmeverrichtungen befinden und in dem die eigentlichen Brandversuche durchgeführt werden, und peripheren Einrichtungen wie ggf. einem Strömungskanal für die Frischluft sowie einem Gebläse und Rauchgasreinigungseinrichtungen. In der Literatur werden eine Großbrandversuchsanlage in Frankreich [CWIK92] (vgl. Abb. 4.1) und Anlagen in den USA [MARL94] und in Schweden [SMIT94b] beschrieben.

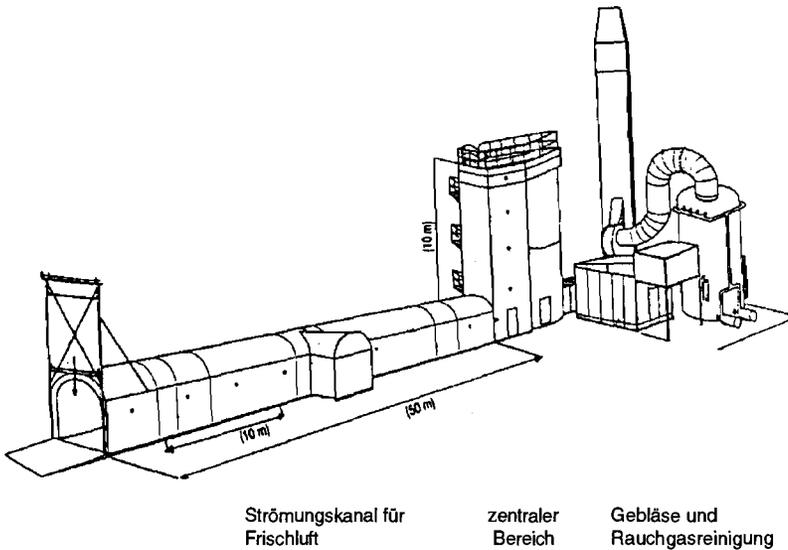


Abb. 4.1: Großbrandversuchsanlage INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) [CWIK92].

Freibrandversuche, bei denen z.B. eine Flüssigkeitslache entzündet wird, sind weniger aufwendig und kostspielig. Jedoch führen die Versuche durch die unkontrollierte Brandproduktfreisetzung zu einer Belastung der Umwelt, und die Probenahme bereitet Schwierigkeiten. Für Brandversuche in vergleichbarem Maßstab wurden darüber hinaus verschiedene Kleinbrandversuchsstände in offenen oder geschlossenen Ausführungen entwickelt, in denen der Brandstoff im Gramm- oder Kilogramm-Maßstab verbrannt wird. Diese Versuchsan-

ordnungen erlauben zwar keine lagermäßige Anordnung der Brandstoffe und meist ist auch eine Stoffuntersuchung in handelsüblicher Verpackung ausgeschlossen, trotzdem können jedoch relativ große Mengen des Brandstoffs, z.B. Teile eines Fertigprodukts, untersucht werden. Die im Zusammenhang mit Laborapparaturen ausführlicher diskutierte "Maßstabseffekte" sind deshalb geringer. Der Brandrauch wird bei Kleinbrandversuchsständen meist mittels einer kaminähnlichen Vorrichtung gesammelt und abgeleitet, so daß Proben genommen und verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden können. Offene und geschlossene Ausführungen unterscheiden sich hinsichtlich der Luftversorgung. Bei einem offenen Versuchsstand strömen die heißen Brandprodukte durch freie Konvektion nach oben ab, und frische Luft strömt von den Seiten selbständig nach. Ein geschlossener Versuchsstand ermöglicht demgegenüber eine genaue Regelung der meist im unteren Anlagenbereich zugeführten Verbrennungsumgebung. Neben dem Volumenstrom der Verbrennungsluft kann bei synthetischer Luft ebenfalls die Sauerstoffkonzentration in beliebiger Weise variiert und so unterschiedliche Ventilationsbedingungen simuliert werden. Abgesehen von der Zusammensetzung und Anordnung des Brandguts und der Ventilation ist die Zündquelle (Typ, Intensität und Dauer) eine weitere Größe, die die Versuchsergebnisse beeinflussen kann.

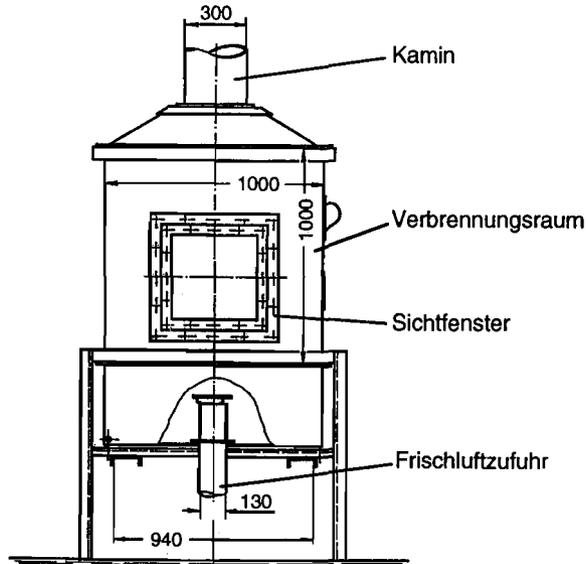


Abb. 4.2: Kleinbrandversuchsstand der FfB (Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Universität Karlsruhe (TH)), Zahlenangaben in Millimeter [FOEH93].

Bei Kleinbrandversuchsständen werden teilweise auch Stützfeuer verwendet, oder ein Brand wird mit Hilfe von eingestrahelter Wärmeenergie großmaßstäblichen Brandbedingungen angeglichen. Beispiele solcher Kleinbrandversuchsstände sind der FfB-Versuchsstand [FOEH93] (vgl. Abb. 4.2), das Kegel-Kalorimeter ([ISO9122-T4], [MIKK94]), die FMRC-Apparaturen [TEWA92] oder die Versuchsanordnungen von Römer und Hemmer [ROEM86] (zu Apparaturen vgl. Glossar).

Bei Brandversuchen in Laborapparaturen werden lediglich Brandstoffmengen in der Größenordnung einiger Milligramm oder Gramm eingesetzt. In der Literatur findet sich eine große Zahl solcher Laborapparaturen, die der Erzeugung von Brandprodukten in erster Linie für chemisch-analytische und/oder toxikologische Untersuchungen dienen. Vorteilhaft sind die geringen erforderlichen Stoffmengen und die genau einstellbaren Brandbedingungen. Während die Brandbedingungen bei realen Bränden und Brandversuchen größeren Maßstabs zeitlichen und örtlichen Schwankungen unterworfen sind, können mit Versuchen in Laborapparaturen die Brandbedingungen einzelner Brandphasen simuliert werden (vgl. Kap. 3). Primär einstellbare Versuchsparameter sind üblicherweise die Brandstoffmenge, die Versuchstemperatur bzw. die eingestrahlte Wärmeleistung sowie die Menge und Konzentration des Sauerstoffs der Versuchsatmosphäre. Von diesen Parametern hängt ab, ob ein Versuch mit oder ohne Flammerscheinung abläuft und auf welchem Niveau sich weitere kennzeichnende Größen wie das CO_2/CO -Verhältnis einstellen.

In Abhängigkeit vom Ziel einer Untersuchung lassen sich bei Laborapparaturen einige Grundprinzipien erkennen. Abgesehen von einfachen Brandversuchen in Tiegeln werden für Laborapparaturen aus Gründen der Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse meist geschlossene Geräte verwendet.

Für chemisch-analytische Untersuchungen konzipierte Apparaturen bestehen in der Regel aus einem Ofen sowie Probenahme- bzw. Analysevorrichtungen. Eine einfache und in vielen Eigenkonstruktionen verwirklichte Bauform ist ein horizontaler oder vertikaler Rohrofen, der aus einem Quarzzyylinder, einer darin befestigten Probevorrichtung und innerhalb oder außerhalb des Zylinders angeordneten Heizelementen besteht. Dem Rohrofen wird ein definierter Gasstrom zugeführt, der die Stoffprobe umspült und die Brandprodukte am anderen Ende aus dem Rohre austrägt. Für Untersuchungen zu Reaktionsmechanismen und zur Kinetik der Verbrennungsvorgänge kann einem solchen Rohrofen ein Inertgasstrom zugeführt werden. Darüber hinaus werden in der Literatur noch verschiedene andere Ofentypen, die vielfach mit Strahlungsheizelementen ausgestattet sind, vorgeschlagen. Ausschließlich für chemisch-analytische Untersuchungen der Brandprodukte werden auch geschlossene Quarzampullen verwendet, die befüllt mit der Stoffprobe auf hohe Temperaturen aufgeheizt werden. Je nachdem, ob in den Ampullen neben der Stoffprobe Luft eingeschlossen wird oder nicht, erfolgt eine rein thermische Zersetzung oder eine zumindest teilweise oxidative Verbrennung des Stoffes. Grundsätzlich gilt, daß bei der heute zur Verfügung stehenden Meßtechnik bereits relativ geringe Brandproduktmengen bzw. Probenahmemengen für zuverlässige Analysen ausreichend sind. Die VCI-Apparatur (vgl.

Abb. 4.3) stellt eine ausschließlich für analytisch-chemische Untersuchungen konzipierte Laborapparatur dar, zur Tewarson-Apparatur sind in der Literatur ebenfalls nur solche Daten zu finden (vgl. Glossar).

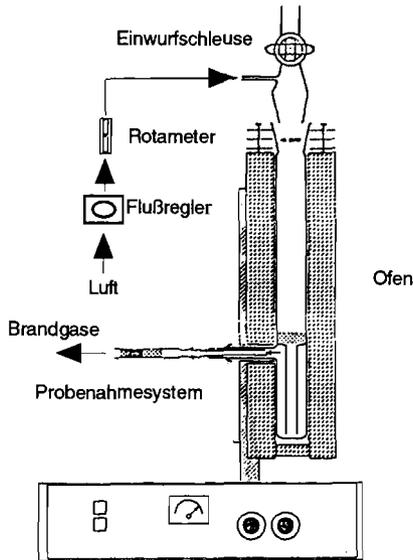


Abb. 4.3: Laborapparatur des VCI (Verband der chemischen Industrie) [VCI87b].

Bei Laborapparaturen zur Untersuchung der inhalationstoxikologischen Wirkung des Brandrauchs kommt zum Ofen und den meist vorhandenen Probenahmeverrichtungen noch eine Expositions-kammer hinzu, in der Versuchstiere in direkten Kontakt mit den Rauchgasen gebracht werden. Während bei einigen Apparaturen die Bereiche zur Brandraucherzeugung (Ofen) und zur inhalationstoxikologischen Untersuchung (Expositions-kammer) deutlich getrennt vorliegen, gibt es andererseits auch mehr oder weniger kompliziert aufgebaute Apparaturen, in denen ein Kasten- oder Tiegelofen direkt in die Expositions-kammer integriert ist. Abgesehen von der Konstruktion sind die Apparaturen auch durch die damit möglichen Versuchsführungen bzw. durch festgelegte Versuchsvorschriften (Protokolle) charakterisiert. Ein wichtiges Kriterium für realitätsbezogene Aussagen stellt bei toxikologischen Untersuchungen ein für eine definierte Zeit vorliegender kontinuierlicher Brandrauchstrom dar. Die bei einigen meist älteren Untersuchungsverfahren praktizierte statische Exposition der Versuchstiere führt demgegenüber zu im Laufe des Versuchs sinkenden Konzentrationen der schädlichen Brandgase und des Sauerstoffs durch Abatmen. Teilweise wird eine gezielte

Untersuchung der durch Brandgase hervorgerufenen toxikologischen Wirkung bei älteren Methoden auch durch miterfaßte Nebeneffekte wie hohe Rauchgastemperaturen und andere Streßfaktoren beeinträchtigt. Neuere Apparaturen, z.B. die nach DIN 53436 (vgl. Abb. 4.4), ermöglichen eine gleichbleibende Exposition der Versuchstiere und eliminieren durch vor der Exposition zugemischte Umgebungsluft andere schädigende Wirkungen wie Sauerstoffmangel oder die Hitze des Rauchgases. Während der Versuche wird die Versuchstemperatur oder der zugeführte Wärmestrom üblicherweise konstant gehalten, bei einigen Untersuchungsverfahren wird die Temperatur während des Versuchs demgegenüber kontinuierlich erhöht. Als Versuchstiere werden Nagetiere (Mäuse oder Ratten) verwendet, die hinsichtlich der akuten Toxizität von Stoffen als gutes Modell für den menschlichen Organismus gelten. Einige der bedeutenderen und für toxikologische Untersuchungen geeigneten Apparaturen bzw. Verfahren sind die BRI-, CAMI-, CMIR-, DIN-, NIST-, RIPT- und UPitt-Apparatur. Detailliertere Informationen zu diesen und anderen Apparaturen enthält das Glossar (Kap. 7).

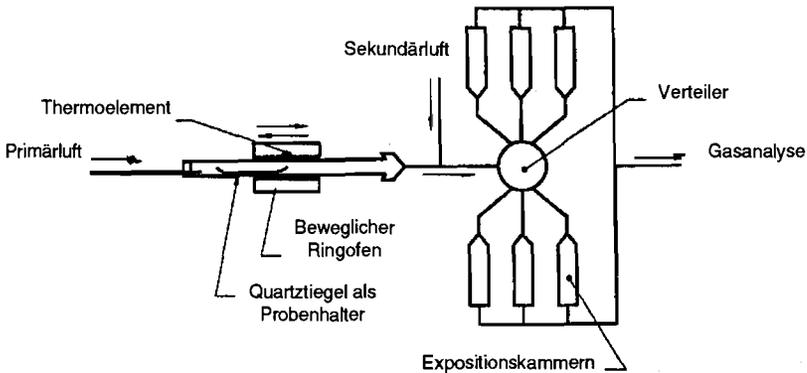


Abb. 4.4: Laborapparatur nach DIN 53436.

Zur Verringerung der oben beschriebenen Tierversuche werden in Laboruntersuchungen neuerdings auch andere Indikatoren wie z.B. Drosophila-Fliegen oder Bakterien (Ames-Test zur Untersuchung der Mutationsrate) zur Bewertung der Rauchgastoxizität von Brandgasgemischen oder der Toxizität von belasteten Wässern, Böden oder Schlämmen eingesetzt [FIGG92]. Allerdings haben diese Methoden aufgrund der damit verbundenen Interpretationsprobleme bislang eine eher geringe Bedeutung.

Zur Abschätzung der akuten Rauchgastoxizität auf Grundlage von chemisch-analytischen Daten werden darüber hinaus verschiedene mathematische Modelle vorgeschlagen. Dabei kann jedoch grundsätzlich nur eine begrenzte Zahl von Brandprodukten, jeweils die mit dem größten toxischen Potential bzw. zu denen chemisch-analytischen Daten vorliegen, berück-

sichtigt werden. Auf diese Weise kann derzeit nur die narkotische Wirkung, nicht jedoch die reizende Wirkung oder Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Brandgasen adequat erfaßt werden.

Insbesondere bei Brandversuchen kleineren Maßstabs werden oft vergleichende Untersuchungen für unterschiedliche Brandstoffe durchgeführt, wobei natürliche Stoffe als Referenzbrandstoffe dienen (z.B. Holz). Schwerpunkt der chemisch-analytischen Messungen stellt die Bestimmung von anorganischen Brandgasen dar, um für Ereignisbrände die zu erwartenden Schadstoffkonzentration der Luft abschätzen zu können. Daneben werden gezielte Untersuchungen hinsichtlich der Bildung von organischen Problemstoffen durchgeführt (z.B. PCB, PCDD/F). Beispielsweise befaßte sich eine Studie mit der Simulation der PCDD/F-Kontamination von Brandrückständen durch Laborversuche. Verschiedene Laborapparaturen wurden bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen getestet und schließlich eine Apparatur mit einem Satz von Versuchsbedingungen ermittelt, für die bei einem Ereignisbrand real gemessene Kontaminationen durch Brandversuche simuliert werden konnten [THEI91]. Wie in Kapitel 4.1 angesprochen, hängt die in zunehmendem Maß durchgeführte Untersuchung von organischen Brandprodukten eng mit der Verfügbarkeit von dafür geeigneten Meßverfahren zusammen. Abgesehen von Brandversuchen im Rahmen der Brandforschung können u.U. auch Untersuchungen zur thermischen Entsorgung von gefährlichen umweltrelevanten Stoffen (z.B. Pestizide) verwertbare Brandproduktdata liefern. Der Wert solcher Untersuchungen für die Brandforschung hängt wesentlich von der geeigneten Wahl der Brandbedingungen ab.

Bei realen Bränden liegen die Abbrandgeschwindigkeiten wahrscheinlich erheblich höher als bei Brandversuchen, die im Labormaßstab durchgeführt werden. Auch hinsichtlich der qualitativen und quantitativen Brandgaszusammensetzung ergeben sich wahrscheinlich Unterschiede, da u.U. die brandstoffabhängige Wärmerückstrahlung nur unzureichend simuliert werden kann. Darüber hinaus kann die Verweilzeit einzelner Brandprodukte in verschiedenen Brandbereichen in kleinem Maßstab nur unzureichend berücksichtigt werden. Der Einfluß von turbulenten Flammen mit Zonen der Sauerstoffunterversorgung und unterschiedlichen Temperaturen ist schwierig abzuschätzen [SCHU94].

Trotz der aufgezeigten Grenzen von in kleinem Maßstab durchgeführten Brandversuchen haben Laborapparaturen jedoch angesichts des relativ geringen experimentellen und finanziellen Aufwands ihre Berechtigung. Mit Hilfe von Brandversuchen im Labormaßstab ist es möglich, den Einfluß einzelner Größen auf die Brandproduktbildung und ihre Bedeutung innerhalb des komplexen Vorgangs "Brand" zu untersuchen. Ein umfassendes Bild der Brandgaszusammensetzung ergibt sich somit durch die Kombination von Ergebnissen aus Brandversuchen in größerem Maßstab und aus den Meßergebnissen und Erfahrungen von Ersteinsatzkräften bei Ereignisbränden.

Tab. 4.1: Möglichkeiten und Aussagefähigkeit von Brandversuchen in verschiedenen Maßstäben.

Versuchstyp	Simulation lagermäßiger Anordnung	Simulation handelsübl. Verpackung	Brandstoff- menge	Übertragbarkeit auf Ereignis- brände	experiment. / finanzieller Aufwand
Großbrandver- suchsanlage	ja	ja	kg	ja	hoch
Kleinbrandver- suchsstand	nein	evtl.	g ... kg	evtl.	mittel
Laborapparatur	nein	nein	mg ... g	eingeschränkt	niedrig

4.3 Meßtechnik

Bei Einsätzen im Brandfall sind meßtechnische Untersuchungen erforderlich, um für Mensch und Umwelt gefährliche Konzentrationen von Stoffen zu erkennen. Im folgenden werden Untersuchungsverfahren für Brandrückstände, Boden und Löschwasser nicht weiter berücksichtigt, da hierfür überwiegend die "klassischen" analytischen Labormethoden eingesetzt werden, die auch oft bei Brandversuchen im Labormaßstab benutzt werden. Für die Analyse des Brandrauchs bei einem Schadenfeuer stehen mittlerweile einige Geräte und Verfahren zur Verfügung, die direkt vor Ort eingesetzt werden können. Auf diese Meßtechniken wird im folgenden schwerpunktmäßig eingegangen.

Rauch besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen anorganischen und organischen Bestandteilen und stellt damit ein sehr heterogenes Gemenge dar. Eine für alle Bestandteile in gleicher Weise geeignete Probenahme und Analyseverfahren gibt es nicht und kann es auch nicht geben. Für anorganische Gase sind andere Probenahme- und Analysetechniken erforderlich als für organische Dämpfe. Die Probenahme muß insbesondere auch auf die Ansprüche des analytischen Bestimmungsverfahrens ausgerichtet sein.

Zur Probenahme von Gasen und Dämpfen bei indirekten Meßverfahren können grundsätzlich folgende Methoden eingesetzt werden:

- Adsorption (= Anlagerung an eine Oberfläche),
- Absorption (= Auffangen in einer Flüssigkeit),
- Ausfrieren/Kondensation und
- Gassammelbeutel (Gasmaus).

Die Probenahme kann sich über einen Zeitraum von etwa einer Sekunde (Gasmaus) bis zu einigen Stunden (Adsorbens) erstrecken und Gasvolumina von einigen Millilitern bis zu einigen Kubikmetern umfassen. Der aus der Probe ermittelte Analysenwert gibt die summierte Schadstoffmenge während der Probenahmezeit wieder, d.h. bei sehr kurzen Probenahmezeiten stellt er eine Augenblicksaufnahme dar bzw. bei langen Probenahmezeiten ermöglicht er eine repräsentativere Aussage zur mittleren Schadstoffkonzentration.

An die Probenahme schließt sich die Probenaufarbeitung und die eigentliche Analyse an. Die anwendbaren Analyseverfahren sind vielfältig, z.B. können mit Hilfe von konduktometrischer Titration, der Potentiometrie, der Photometrie oder der Ionenchromatographie Komponenten in Absorptionslösungen bestimmt werden. Da indirekte Verfahren in der Regel aufwendiger und zeitintensiver, dafür aber genauer sind, werden sie überwiegend bei Brandversuchen eingesetzt. Für Ereignisbrände werden dagegen Meßverfahren benötigt, die in kürzester Zeit Ergebnisse liefern. Dies wird insbesondere durch direkt anzeigende Meßverfahren gewährleistet, die teilweise auch kontinuierliche Messungen erlauben. Für Analysen von Gasen und Dämpfen bei Ereignisbränden werden die in Tab. 4.2 erläuterten Meßprinzipien eingesetzt.

Die in Tab. 4.2 genannten Verfahren sind allerdings nicht in jedem Fall für stoffspezifische und zumindest halbquantitative Analysen geeignet, sondern stellen nur das breite Spektrum der meßtechnischen Möglichkeiten bzw. zum Teil Verfahren für spezifische Problemstellungen dar.

Die verbreitetste Analysetechnik zur Detektion von Stoffen im Brandfall stellen derzeit immer noch Prüfröhrchen dar. Entsprechende Gerätekoffer sind fester Ausrüstungsbestandteil bei jedem Feuerwehreinsatz. Prüfröhrchen können ohne aufwendige Vorbereitungen direkt eingesetzt werden und liefern schon nach kurzer Zeit qualitative oder quantitative Ergebnisse. Ihr Einsatz erfordert allerdings viel Erfahrung und chemischen Sachverstand, da bei Proben, die mehr als eine Meßkomponente enthalten, Querempfindlichkeiten auftreten können. Zusätzliche Filterschichten können diesen Effekt minimieren, indem sie störende Substanzen herausfiltern. Bei Mehrschicht-Prüfröhrchen dienen weitere Schichten dazu, die Selektivität der Anzeige zu erhöhen. Abgesehen von Prüfröhrchen sind bei Brandeinsätzen Gerätschaften für die Probenahme von Stoffen vorhanden. Die darüber hinaus vorhandene Ausstattung an Meßgeräten unterscheidet sich von Feuerwehr zu Feuerwehr. In einzelnen Bundesländern bestehen außerdem besondere Regelungen zur Konzeption und Meßtechnik von Gerätewagen (z.B. NRW). Spezielle Fahrzeugkonzepte werden auch bei verschiedenen Berufsfeuerwehren verfolgt, z.B. in Hamburg, Frankfurt und Köln.

Bei überörtlichen Einsatzkräften haben bisher Prüfröhrchen, Teststreifen, Explosimeter, Sauerstoffwarner und Infrarotspektrometer als Spür- oder Meßgeräte eine begrenzte Verbreitung gefunden [RECH95]. Abgesehen von einer gruppenspezifischen Stoffdetektion ist damit zum Teil auch eine eindeutige Stoffidentifikation am Einsatzort möglich, insbesondere bei Kombination verschiedener Verfahren (Sensorarray-Technik). Bei einzelnen Berufsfeuer-

Tab. 4.2: Physikalisch-chemische Meßprinzipien und Analyseverfahren für Gase und Dämpfe bei Bränden.

Meßprinzip	Bemerkung	Einsatzbereich
Wärmetönung	Brennbare Gase werden an einer beheizten Oberfläche verbrannt. Die freiwerdende Wärme ändert den elektrischen Widerstand des Meßwertaufnehmers. Eine Wheatstone-Brückenschaltung ermöglicht die Meßwertbestimmung. Voraussetzung für dieses Verfahren ist die Anwesenheit von ausreichend Sauerstoff.	Kohlenwasserstoffe (Explosimeter)
Wärmeleitung	Ein elektrisch beheizter Meßwertaufnehmer ändert seine Temperatur und somit seinen elektrischen Widerstand in Abhängigkeit der Wärmeleitung des zu messenden Gases.	CO ₂ , O ₂ , N ₂ , CO
Kombination Wärmetönung/ Wärmeleitung	Kombinierte Geräte arbeiten bei geringen Konzentrationen nach dem Prinzip der Wärmetönung und bei höheren Gaskonzentrationen, wegen des zu geringen Sauerstoffanteils, nach dem Prinzip der Wärmeleitung.	
Metalloxid- Halbleiter	Die elektrische Leitfähigkeit von elektrisch beheizten Halbleitern (ZnO, SnO ₂) ändert sich durch die Anlagerung von Gasen und Dämpfen. Nach diesem Prinzip arbeitende Geräte besitzen eine hohe Empfindlichkeit und werden u.a. zur Lecksuche eingesetzt.	diverse Verbindungen
Ionisation von Stoffen		
- Flammen- ionisation	Flammenionisationsdetektoren (FID): Organische Kohlenwasserstoffverbindungen werden in einer Wasserstoff-Flamme zerstört und die entstehenden Bruchstücke werden ionisiert. Die entstehende Ionenwolke kann mit Hilfe eines elektrischen Feldes über Elektroden abgeleitet werden. Der so erzeugte Strom ist proportional zur Menge der ionisierten Kohlenstoffatome.	nicht/wenig halogenierte Kohlenwasser- stoffe
- Photoionisation	Die Ionisierung erfolgt hier durch UV-Licht. Daher muß die Ionisierungsenergie des zu messenden Gases kleiner sein als die Energie der verwendeten UV-Lampe.	UV-aktive organische Verbindungen
Elektro- chemische Sensorik	Bei elektrochemisch arbeitenden Sensoren diffundiert das Gas durch eine Membran in die mit einer Elektrolytlösung gefüllte Meßkammer und wird aufgrund der Spannung, die zwischen den in die Lösung eintauchenden Elektroden anliegt, elektrochemisch umgewandelt. Durch die Wanderung der gebildeten Ionen entsteht ein elektrischer Strom, der dem Partialdruck des Gases proportional ist. Die Sensoren können selektiv für bestimmte Ionen eingesetzt werden.	O ₂ , CO ₂ , NH ₃
Infrarotab- sorption	Beim Durchtritt durch mehratomige nicht elementare Gase wird Infrarotstrahlung durch Absorption in verschiedenen Wellenlängenbereichen geschwächt. Jedes Gas ruft eine charakteristische Schwächung der Strahlung hervor.	z.B. H ₂ O, CO ₂ , SO ₂ , HCl
Schallgeschwin- digkeitsmessung	Bei diesem Verfahren wird die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von der Dichte und der Temperatur des Gases ausgenutzt.	Temperatur

Forts. Tab. 4.2: Physikalisch-chemische Meßprinzipien und Analyseverfahren für Gase und Dämpfe bei Bränden.

Meßprinzip	Bemerkung	Einsatzbereich
chemische Sensorik	<p>Das Meßprinzip beruht auf der charakteristischen Verfärbung von Reagenzien, wenn diese mit dem nachzuweisenden Stoff in Berührung kommen.</p> <p>Nach diesem Prinzip arbeiten z.B. Prüfröhrchen. Ein Prüfröhrchen besteht aus einem Glasrohr, in dem sich ein mit Reagenzien beschichtetes Trägermaterial befindet. Mit Hilfe einer Pumpe wird ein definiertes Luftvolumen durch das Röhrchen gesaugt. Die Konzentration eines bekannten Stoffes läßt sich so anhand der Länge der verfärbten Zone bestimmen.</p>	z.B. NO _x , SO ₂ , HCl, CO
Sensorarray-Technik	<p>Meßgeräte, die nach den zuvor genannten Prinzipien arbeiten, besitzen einzeln u.U. nur eine begrenzte Selektivität. Miteinander kombiniert können sie aber einen Sensorarray bilden, der für jeden Stoff charakteristische Signalmuster liefert.</p> <p>Diese noch in der Entwicklung befindliche Technik soll in Form von mobilen Meßgeräten eine schnelle und spezifische Detektion von Gefahrstoffen bei Bränden und Chemieunfällen ermöglichen.</p>	diverse Verbindungen
Gaschromatographie (GC)	<p>Mit Hilfe der Gaschromatographie können die Einzelkomponenten eines Stoffgemisches voneinander getrennt werden. Ein Gaschromatograph besteht aus einer Trennsäule (Metall, Glas), durch die das Stoffgemisch in einem Trägergas (Luft, Stickstoff, Edelgase) als mobile Phase transportiert wird. Die Trennsäule enthält als stationäre Phase eine Substanz, die die Transportgeschwindigkeiten der verschiedenen Stoffe des Gemisches beeinflusst, da diese unterschiedliche Affinitäten zur stationären Phase aufweisen. Einflußgrößen sind die Länge und der Innendurchmesser der Trennsäule sowie die Polarität und Schichtdicke der stationären Phase. Die Stofftrennung kann zusätzlich durch Temperaturprogramme unterstützt werden.</p>	im Prinzip alle unzersetzt verdampfbar Stoffe (bei T < 400 °C)
Massenspektrometrie (MS)	<p>Die Moleküle der zu untersuchenden Substanz werden durch den Beschuß mit energiereichen Elektronen ionisiert. Hierbei zerfallen die Moleküle in Fragmente, die anschließend, aufgrund ihrer unterschiedlichen Masse/Ladungs-Verhältnisse, mit Hilfe elektrischer oder magnetischer Felder getrennt werden können. Die Häufigkeit (Intensität) der verschiedenen Fragmente wird in einem Detektor registriert. Ein Rechner erstellt das für jeden Stoff charakteristische Massenspektrum, d.h. die Auftragung der Intensität über dem Masse/Ladungs-Verhältnis, und ermöglicht so die Stoffidentifizierung.</p> <p>Zur Trennung der Einzelkomponenten bei der Untersuchung von Stoffgemischen werden Massenspektrometer meist gekoppelt mit Gaschromatographen eingesetzt (GC/MS).</p>	vor allem organische Verbindungen MG = 50 ... 600

wehren sind auch Ionisationsspektrometer und Massenspektrometer, meist gekoppelt mit einem Gaschromatograph (GC/MS), vorhanden (vgl. Abb. 4.5).

Die vorgestellten Methoden werden in erster Linie für Immissionsmessungen bzw. Messungen im Einwirkungsbereich des Brandrauchs auf Einsatzkräfte und Bevölkerung eingesetzt. Direkt in einer Brandrauchwolke durchgeführte Messungen und Probenahmen, beispielsweise mit Hilfe von Fesselballons oder unbemannten Klein-Hubschraubern und mit Fernmeßtechniken, sind dagegen eher als Forschungsgebiete zu betrachten. Sie stellen aufwendige und kostenintensive Verfahren dar und spielen in der derzeitigen Feuerwehrpraxis keine Rolle.

Eine Untersuchung der im Brandrauch enthaltenen Feststoffpartikel kann durch Rauchabsaugung über einen Filter mit einer anschließenden Partikelanalyse z.B. hinsichtlich der Größenverteilung der Partikel und der darin enthaltenen organischen Stoffe erfolgen. Bei einigen Brandversuchen wird außerdem die Rauchdichte bestimmt, wobei die Abnahme der Lichtintensität entlang einer optischen Meßstrecke gemessen wird.

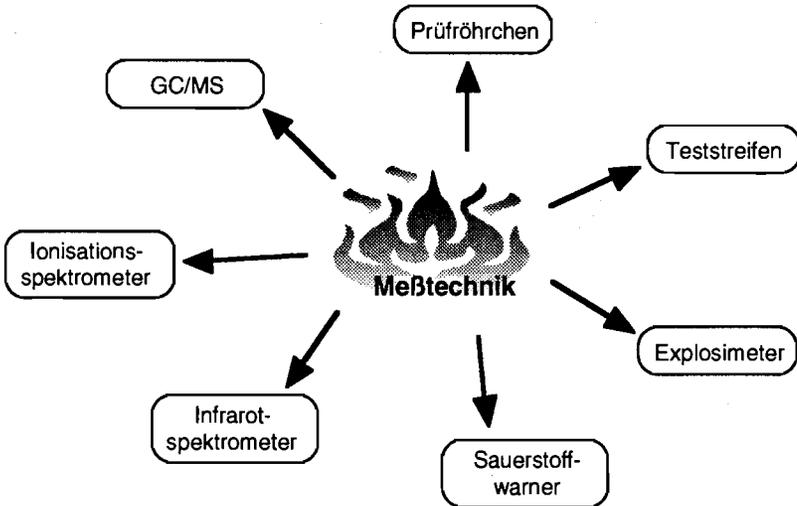


Abb. 4.5: Meßtechnik für Chemieunfälle und Brände.

4.4 Forschung zu Brandprodukten

Brandprodukte spielen bei vielen Forschungsvorhaben aus dem Bereich Brandschutzwesen eine mehr oder weniger große Rolle. Beispielsweise kann die Entwicklung von zuverlässiger Meßtechnik der Schwerpunkt der Arbeit sein, oder es werden die zugrundeliegenden Reaktionsvorgänge, Randbedingungen und Einflußgrößen der Brandproduktbildung untersucht. Weitere Forschungsrichtungen können die Beurteilung von Brandproduktgemischen aus toxikologischer Sicht oder die Ausbreitung von Brandgaswolken zum Ziel haben. Im folgenden werden einige wichtige derzeit bearbeitete oder vor kurzer Zeit abgeschlossene Arbeiten mit Bezug zum Thema Brandprodukte vorgestellt.

An der TU Hamburg-Harburg wird zur Zeit ein Forschungsvorhaben durchgeführt, bei dem Proben aus Großbränden untersucht werden [MATZ94], [MATZ95]. Die Probenahme in Brandgasen, Boden, Ruß und Löschwasser erfolgt in Zusammenarbeit mit Feuerwehren aus dem gesamten Bundesgebiet. Ziel des Projektes "Schnellanalyse bei Chemieunfällen und Bränden mit dem mobilen GC-MS-System" ist die Erarbeitung einer Analysemethodik für den Einsatz vor Ort. Da im Rahmen des Vorhabens ein Verzeichnis von bei Bränden nachgewiesenen Schadstoffen entsteht, wird über eine geeignete weitergehende Auswertung und Aufbereitung der Daten nachgedacht.

Der gegenwärtig bei der Forschungsstelle für Brandschutztechnik (FfB) an der Universität Karlsruhe (TH) bearbeitete Forschungsauftrag "Untersuchung der Löschverfahren und Löschmittel zur Bekämpfung von Bränden gefährlicher Güter" verfolgt das Ziel, anhand von Brandversuchen zu ermitteln, welche feuerwehrrelevanten Giftstoffe während eines Brandes und beim Löschen gebildet werden. Es sollen die Wirkungsweise der Löschmittel untersucht und Aussagen darüber abgeleitet werden, welches Löschmittel im Brandfall für einen bestimmten Stoff gut, welches weniger gut, welches nicht geeignet oder welches gar gefährlich ist. Bei den bereits durchgeführten Brandversuchen wurde als Analysegerät u.a. ein GC-MS-System eingesetzt [FOEH93], [BASM95].

Das Bundesamt für Zivilschutz (BZS) hat in den letzten Jahren mehrere Vorhaben auf dem Gebiet "Bekämpfung chemischer Gefahren" vergeben, wobei unter chemischen Gefahren solche Gefahren verstanden werden, die durch die ungewollte Freisetzung chemischer Verbindungen hervorgerufen werden. Im Zusammenhang mit Brandprodukten ist insbesondere das Forschungsvorhaben "Entwicklung von Verfahren zur Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden" von Interesse. Dieses Vorhaben hatte die Abschätzung der gesundheitlichen Gefährdung der Bevölkerung durch bei Großbränden entstehende Rauchinhaltsstoffe zum Ziel. Während beim Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt (IdF) das Thema Ausbreitungsverhalten von Brandgasen bei Großbränden bearbeitet wurde, erfolgte bei der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) Neuherberg die toxikologische Bewertung der Rauchinhaltsstoffe.

Beim IdF wurde zunächst ausgehend von einer Literaturstudie zur Brandgasfreisetzung und -ausbreitung die Studie "Schadgase im Brandfall - Brandstoffspezifisch, Relevanz und Bewertungskonzept -" erarbeitet [SCHU94]. Nach Einschätzung des IdF besteht bei Bränden mit gemischter Brandstoffzusammensetzung ohne maßgebliche Beteiligung von Sonderbrandstoffen keine akute Gesundheitsgefährdung über den Nahbereich von 100 m hinaus. Das toxisch bedeutendste Brandprodukt ist in den meisten Fällen Kohlenmonoxid. Bei Beteiligung größerer Mengen an Chemikalien bzw. chemisch-technischer Erzeugnisse ist bei einem Brand eine Gefährdung über den 100-m-Bereich hinaus und durch andere Brandprodukte als Kohlenmonoxid möglich. Im Bereich von einigen hundert Metern Entfernung von der Quelle sind akute Gefährdungen jedoch nicht mehr zu erwarten. Aufbauend auf diese Studie wurde ein mathematisch-physikalisches Modell zur Erfassung der Ausbreitung von Rauchgasen aus Bränden erstellt.

Die im zweiten Teil des Forschungsvorhabens vorgenommene toxikologische Bewertung dient dem Schutz von Einsatzkräften bei der Brandbekämpfung und dem der Bevölkerung vor gesundheitlichen Schäden durch toxische Brandgase. Ausgangspunkt für die Bewertung ist der Entwurf der vfdB-Richtlinie 10/01, in der für 24 ausgewählte Brandgase vorläufige Einsatztoleranzwerte (ET-Werte) aufgrund bestimmter Kriterien (u.a. Expositionszeit von vier Stunden) festgesetzt wurden (vgl. Glossar). Im Zuge der toxikologischen Bewertung der Stoffe des Richtlinienentwurfs wurden noch acht weitere Stoffe mit vermuteter Brandgasrelevanz hinzugenommen, so daß nach Abschluß der Forschungsarbeit die toxikologisch überprüften Einsatztoleranzwerte von 32 Stoffen (34 Isomeren) vorliegen [BUFF95]. Da die vfdB-Richtlinie wieder zurückgezogen worden ist und es darüber hinaus Bestrebungen hinsichtlich einer Vereinheitlichung der Bewertungskriterien in Deutschland für luftgetragene Schadstoffe auf Grundlage der ERPG-Werte (ERPG – Emergency Response Planning Guidelines) gibt, ist der Stellenwert der ET-Werte gegenwärtig unklar.

Seit 1988 werden von der EU Forschungsarbeiten zu industriellen Bränden ("industrial fires") gefördert [COLE94]. Im Zusammenhang mit Brandprodukten sind insbesondere die Projekte COMBUSTION und TOXFIRE zu nennen. Das Forschungsvorhaben COMBUSTION zum Thema "Combustion of chemical substances and the impact on the environment of the fire products" ist mittlerweile abgeschlossen (Laufzeit von 1991 bis 1994) [SMIT94b]. An diesem Verbundvorhaben waren beteiligt: Risø National Laboratory, Dänemark (Koordinator); South Bank University, GB; Technical Research Centre von Finnland (VTI); Universität Lund, Schweden; Swedish National Testing and Research Institute (SP). Gegenstand des Projekts war die Untersuchung der Art, der Menge und der Toxizität von Brandprodukten bei Lagerbränden unter Beteiligung von Pestiziden, Polymeren und Lösungsmitteln. Dabei wurde eine Datenbank mit Informationen zu Lagerhausbränden in Europa aufgebaut, mit einigen ausgewählten Stoffen wurden Brandversuche in unterschiedlichem Maßstab durchgeführt, es wurden die bei Brandversuchen freigesetzten Partikel charakterisiert, eine Maßstab-betrachtung hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Laboruntersuchungen und Ereignis-bränden wurde durchgeführt und die Toxizität der Brandprodukte wurde mit Hilfe des "N-gas-Modells" beurteilt. Das Vorhaben TOXFIRE startete im Jahr 1993 und dauert gegen-

wärtig noch an. Schwerpunkt dieses Forschungsprojekts ist die Ableitung von Richtlinien für den Bereich Chemikalienlagerbrände, zur sicherheitstechnischen Auslegung und zur direkten Brandbekämpfung.

Weitere aktuelle theoretische Arbeiten zu Brandprodukten von Kunststoffen wurden beim Bayerischen Landesamt für Umweltschutz ("Beurteilung von Kunststoffbränden" [ORTN95]) und beim Landesumweltamt Brandenburg ("Kunststoff-Brandprodukte" [ANON96]) durchgeführt. Darüber hinaus wurde im Auftrag des Landesumweltamts Nordrhein-Westfalen eine Studie zum Thema "Bildung und Bildungsraten toxischer Stoffe bei Bränden" erstellt [GOER95].

4.5 Recherche nach Literatur zu Brandprodukten

4.5.1 Recherche in Fachzeitschriften

Die Recherche in Fachzeitschriften stellt ein einfaches und kostengünstiges Verfahren dar, um schnell einen Einblick in den aktuellen Sachstand zum Themengebiet Brandprodukte zu erhalten. Einige wichtige Fachzeitschriften, in denen häufig Artikel zu Brandprodukten veröffentlicht werden, sind:

- Brandschutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung,
- Fire and Materials,
- Fire Safety Journal,
- Journal of Fire Sciences und
- vfdb-Zeitschrift: Forschung und Technik im Brandschutz.

Eine Liste weiterer Fachzeitschriften mit gelegentlichen Veröffentlichungen zu Brandprodukten befindet sich im Anhang.

Durch eine Recherche in den genannten Fachzeitschriften kann jedoch zwangsläufig nur ein begrenzter Teil der insgesamt verfügbaren Publikationen zum Thema erschlossen werden, daher sind ergänzende Recherchen in Datenbanken sinnvoll.

4.5.2 Online-Recherchen

Eine wichtige Datenbank auf dem Gebiet des Brandschutzes ist wohl die Datenbank BSWW (BSW – Brandschutzwesen; Betreiber: Forschungsstelle für Brandschutztechnik (FfB) an der Universität Karlsruhe). Sie enthält bibliographische Hinweise zu überwiegend deutscher aber auch internationaler Fachliteratur aus dem Bereich des Brandschutzes einschließlich der Randgebiete (wie z.B. wirtschaftliche und rechtliche Aspekte). Alle Dokumente enthalten

einen Abstract in deutscher Sprache. In der Datenbank wird Fachliteratur aus dem Zeitraum 1981 bis heute nachgewiesen, u.a. werden zur Zeit ca. 150 Zeitschriften ausgewertet. Zu den inhaltlichen Schwerpunkten gehören u.a. folgende Themen: Brand, Explosion, Schadenfeuer und Löscheinsätze, vorbeugender Brand- und Explosionsschutz, Brandbekämpfung, Feuerwehren, Sicherheit und Unfallverhütung sowie Zivilschutz.

Wie in Datenbanken üblich ist auch bei einer Recherche in der Datenbank BSWW eine Suche mit Hilfe des Thesaurus (Schlagwortkatalog) und / oder mit Hilfe von Sachgebieten möglich. Da die Klassifikation der Literaturnachweise in Sachgebiete für den begrenzten Bereich Brandschutzwesen sehr detailliert möglich ist und in der Datenbank BSWW mit dem Sachgebiet "Zersetzungs- und Verbrennungsprodukte" eine für die Fragestellung günstige Einteilung vorgesehen ist, bietet sich eine Literaturrecherche mit Hilfe dieses Sachgebiets an. Weitere Recherchen sind in dieser Datenbank nicht erforderlich, da die in Frage kommende Literatur dem Sachgebiet "Zersetzungs- und Verbrennungsprodukte" zugeordnet sein sollte.

Für weitere Recherchen bieten sich noch die folgenden bibliographischen Datenbanken, ausgewählt nach Inhalt und Umfang der erfaßten Literatur, an:

- Chemical Abstracts Online – CA; Englisch; internationale Fachliteratur ab 1957
 Betreiber: Chemical Abstracts Service (CAS), in Deutschland vertreten durch das Fachinformationszentrum Chemie (FIZ CHEMIE)
 Inhalt: Chemie und angrenzende Bereiche
- Chemical Engineering and Biotechnology Abstracts – CEBA bzw. CEABA; Deutsch, Englisch; deutsche und internationale Fachliteratur ab 1970
 Betreiber:
 Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen (DECHEMA),
 Fachinformationszentrum Chemie (FIZ CHEMIE),
 The Royal Society of Chemistry (RSC)
 Inhalt: chemische Verfahrenstechnik, Biotechnologie, Umweltforschung und -technik
- Chemical Safety News Base – CSNB; Englisch; internationale Fachliteratur ab 1981
 Betreiber: The Royal Society of Chemistry (RSC)
 Inhalt: Arbeitssicherheit, Unfallschutz und Randgebiete
- National Technical Information Service – NTIS; Englisch; v.a. Forschungsberichte aus USA, Japan und Westeuropa ab 1964
 Betreiber: NTIS
 Inhalt: Forschungsprojekte (multidisziplinär)
- Pollution Abstracts – POLLUAB; Englisch; internationale Fachliteratur ab 1970
 Betreiber: Cambridge Scientific Abstracts (CSA)
 Inhalt: Umweltforschung und -technik und angrenzende Bereiche
- Umweltliteraturdatenbank – ULIDAT; Deutsch (überwiegend); überwiegend deutschsprachige Fachliteratur ab 1976

Betreiber: Umweltbundesamt (UBA)

Inhalt: Umweltforschung und -technik und angrenzende Bereiche

- VTB Online - Verfahrenstechnik – Verfahrenstechnische Berichte (VTB); Deutsch; Titel in Originalsprache und in Englisch, internationale Fachliteratur ab 1966

Betreiber: Bayer AG, BASF AG, Fachinformationszentrum Chemie (FIZ CHEMIE)

Inhalt: chemische Verfahrenstechnik einschließlich der technischen Randgebiete

Da die genannten Datenbanken jeweils ein weites Themengebiet abdecken und für eine möglichst umfassende Literaturrecherche eine breite Datenbasis vorteilhaft ist, bietet es sich an, eine Recherche in mehreren Datenbanken gleichzeitig durchzuführen.

Aufgrund der weiter gefaßten Themengebiete der betrachteten Datenbanken sind die Sachgebiete zur Einordnung von Literaturstellen in der Regel allgemeiner gewählt als bei der Datenbank BSWW. Ein das Themengebiet Brandprodukte eindeutig und umfassend kennzeichnendes Sachgebiet ist bei den multidisziplinären Datenbanken deshalb nicht vorhanden. Da bei den einzelnen Datenbanken je nach Themenschwerpunkt außerdem unterschiedliche Sachgebiete vorgesehen sind, gestaltet sich eine Literaturrecherche mit Sachgebieten äußerst schwierig. Eine solche Vorgehensweise erscheint nur bei Recherchen in einzelnen Datenbanken praktikabel. Die Recherche mit Hilfe von Schlagworten ist demgegenüber in mehreren Datenbanken gleichzeitig möglich, wobei jeweils auch die geläufigsten Synonyme für einen bestimmten Begriff als Suchbegriffe verwendet werden.

Für eine Literaturrecherche in multidisziplinären Datenbanken werden zunächst Schlagwortgruppen bestehend aus themenverwandten Suchbegriffen gebildet, indem einzelne Begriffe durch eine ODER-Verknüpfung miteinander verbunden werden. Um Worte mit gleichem Wortanfang jedoch unterschiedlichem Ende bei der Recherche erfassen zu können, werden die Wortenden durch Platzhalter ersetzt (das Symbol "?" entspricht mehreren Buchstaben, das Symbol "#" ersetzt einen beliebigen Buchstaben). Als Ergebnis der Recherche werden alle Literaturnachweise ausgewählt, bei denen die Schlagwortkombination der Recherche mit Worten aus dem Titel, dem Abstract oder vergebenen Schlagworten der Literaturstellen übereinstimmt. Für eine Recherche zum Thema Brandprodukte sind folgende Schlagwortgruppen vorteilhaft:

- Schlagwortgruppe "Brand / Verbrennung":
VERBRENNUNG?, COMBUSTION?, BURN?, ZERSETZUNG?, DECOMPOSITION#,
THERMAL DEGRADATION#, PYROLYS?, BRAND?, FIRE,
- Schlagwortgruppe "Brandprodukte": VERBRENNUNGSPRODUKT?, COMBUSTION
PRODUCT#, BRANDGAS?, BRANDPRODUKT?, FIRE EFFLUENT#,
ZERSETZUNGSPRODUKT?, DECOMPOSITION PRODUCT#,
- Schlagwortgruppe "Ausschluß" als Ausschlußkriterium:
MOTOR?, MACHINE#, ENGINE?, KATALYS?, KRAFTWERK?, POWER STATION,
ANLAGE?, PLANT#, MUELL?, ABFALL?, WASTE, INCINERATION,

- Schlagwortgruppe "Messung": MEASUREMENT#, DETERMINATION,
- Schlagwortgruppe "Brandversuch": BRANDVERSUCH?, FIRE TEST#,
- Schlagwortgruppe "Hauptbrandprodukte": z.B. HCN, NOX, ACROLEIN# bzw. CAS-Nummern der Stoffe,
- Schlagwortgruppe "Brandstoffe": z.B. HOLZ, WOOD?, PVC, BUTADIEN? bzw. CAS-Nummern der Stoffe.

Die verschiedenen Schlagwortgruppen werden anschließend weiter miteinander verknüpft, wobei UND-, ODER- und OHNE-Verknüpfungen möglich sind.

Als Grundlage einer Literaturrecherche zu Brandprodukten können alle Nachweise gewählt werden, die mit Begriffen der Schlagwortgruppe "Brand / Verbrennung" im Zusammenhang stehen. Da die Begriffe sehr allgemein gewählt sind, ist es erforderlich, mit Hilfe der Schlagwortgruppe "Ausschluß" Literatur aus anderen Themenbereichen auszugrenzen (z.B. Literatur zu Verbrennungsmotoren oder Abfallbehandlungsanlagen).

Das weitere Vorgehen ist vom genauen Ziel der Recherche abhängig. Wird ganz allgemein Literatur zu Brandversuchen gesucht, bei denen die Art oder Menge der entstehenden Brandprodukte bestimmt wurde, bietet sich eine weitere Eingrenzung mit Hilfe der Schlagwortgruppe "Messung" und der Schlagwortgruppe "Brandversuch" an. Bei einer Recherche zu Brandprodukten von bestimmten Brandstoffen wird über eine UND-Verknüpfung mit der Schlagwortgruppe "Brandstoffe" eine weitere Auswahl getroffen. Ist die Menge der verbliebenen Literaturnachweise jeweils noch zu groß für eine Sichtung, kann über die Schlagwortgruppen "Brandprodukte" und "Hauptbrandprodukte" eine weitere Eingrenzung erfolgen.

5 Datenbank zu Brandprodukten

Zum Ende des zweiten Projekts zum Thema Brandprodukte steht eine Datenbank mit dem Arbeitstitel PHLOGISTON zur Verfügung, in der eine Vielzahl von Informationen zu Brandprodukten bereitgestellt wird. Da die mit der Brandprodukt Datenbank PHLOGISTON gesammelten Daten erst in einem weiteren Arbeitsschritt als Erweiterung des Informationsspektrums in IGS eingebunden werden sollen, beziehen sich die Erläuterungen dieses Kapitels zu Datenstrukturen, Bildschirmmasken und Brandprodukt Daten mit Ausnahme des Kapitels 5.9 auf die Datenbank PHLOGISTON.

Die in PHLOGISTON enthaltenen Brandprodukt Daten beruhen in erster Linie auf Messungen bei Brandversuchen und bei Ereignisbränden. Die Datenbank ermöglicht dem Anwender einen schnellen und gezielten Zugriff und eine effektive Nutzung solcher Daten. Um einen einfachen Zugriff auf die Informationen zu gewährleisten, sind die Daten zu Brandversuchen soweit möglich brandstoffbezogen abgelegt. Da für Ereignisbrände häufig kein eindeutiger Bezug zwischen Brandstoffen und Brandprodukten hergestellt werden kann, werden Ereignisbrände gesondert und mit charakteristischen Schlagworten versehen dokumentiert.

Da je nach Anwendergruppe unterschiedliche Anforderungen an eine Datenbank zu Brandprodukten gestellt werden, werden die Informationen in verschiedener Weise bereitgestellt (vgl. Abb. 5.1). Personen, die sich mit dem vor- oder nachsorgenden Brandschutz befassen, sind an sehr umfassenden Informationen interessiert. Diese Anwendergruppe hat in der Regel ein Interesse daran, auch einzelne Parameter eines Brandversuchs, z.B. den Typ der Versuchsanordnung und die Versuchsbedingungen, bzw. die Randbedingungen eines Ereignisbrandes zu erfahren und selbst bewerten zu können. In der Datenbank PHLOGISTON werden die entsprechenden Informationen in der "Detailebene" unter der Bezeichnung Brandversuch und Ereignisbrand bereitgestellt. Die Feuerwehr und andere Einsatzkräfte bei Bränden stellen dagegen andere Anforderungen an die Datenbank. Da zwangsläufig nur eine begrenzte Zeit für die Konsultation einer Datenbank zur Verfügung steht, müssen die Informationen für Ersteinsatzkräfte möglichst einfach zugänglich und kompakt sein. Die verwendeten Begriffe sollten darüber hinaus allgemein verständlich sein. In der Datenbank PHLOGISTON stehen für diese Anwendergruppe deshalb bewertete Kurzinformationen, sogenannte Standardsätze, zur Verfügung ("Bewertungsebene"). Abgesehen von diesen zentralen Funktionalitäten sind in der Datenbank weitere Module vorhanden, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

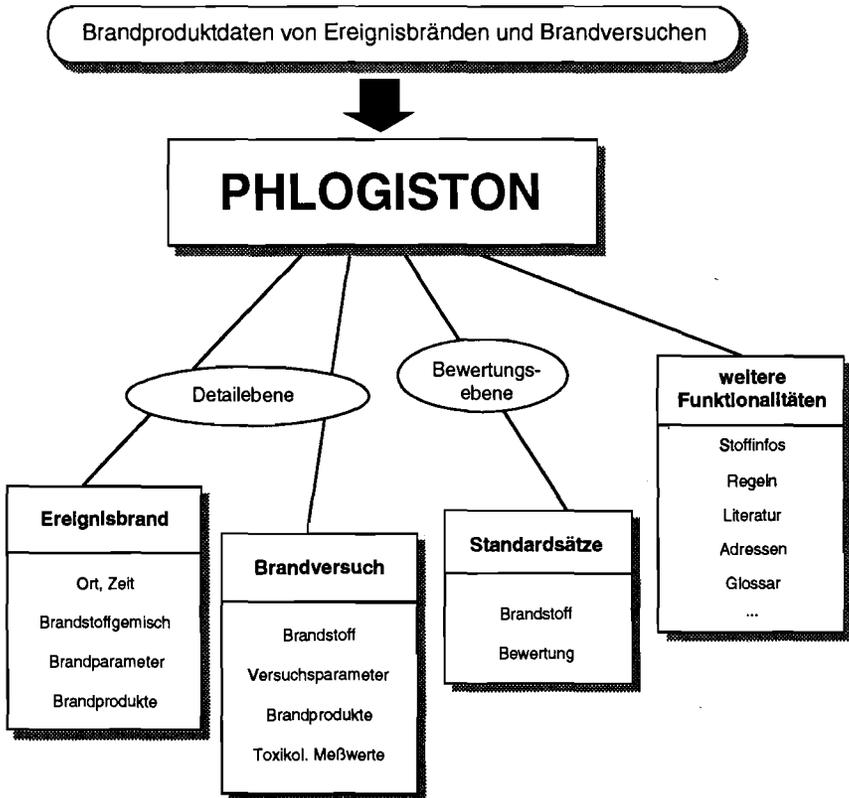


Abb. 5.1: Datenbank PHLOGISTON.

Die Datenbank PHLOGISTON wurde mit dem relationalen Datenbankmanagementsystem ACCESS® realisiert. Dabei werden Daten in Tabellen abgelegt, die über Schlüsselfelder miteinander verbunden werden können. Für die Dateneingabe (in entsprechende Tabellen) und die nachfolgende Ansicht von Daten sind insbesondere Formulare von Bedeutung. Ein Formular ist eine Bildschirmmaske, mit deren Hilfe man Daten schnell, unkompliziert und übersichtlich eingeben, ansehen, ändern und ausgeben kann. Die wichtigsten Formulare der Datenbank PHLOGISTON sind über das beim Aufrufen der Datenbank erscheinende Eingangsmenü erreichbar (vgl. Abb. 5.2).

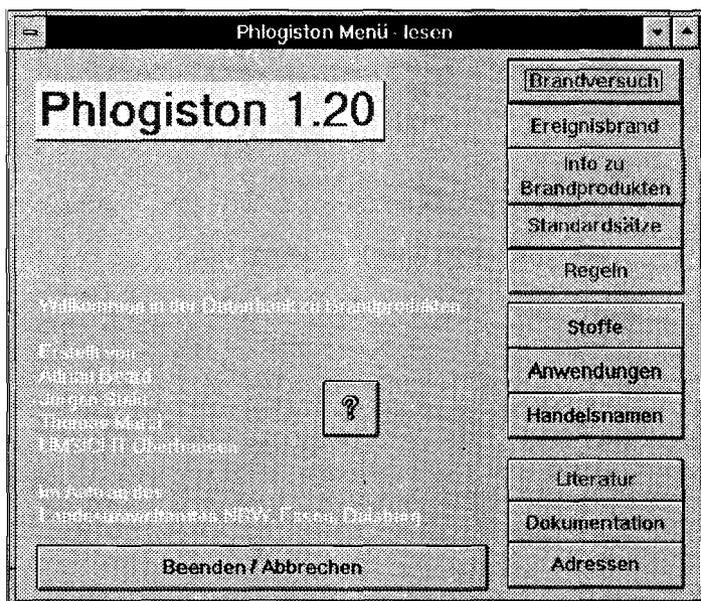


Abb. 5.2: Eingangsmenü der Datenbank PHLOGISTON.

Um die Nutzung der Datenbank zu vereinfachen, wurde auf eine möglichst weitgehende Vereinheitlichung des formalen Aufbaus der Formulare Wert gelegt.

5.1 Stoffbegriff und Stoffinformationen

In der Datenbank wird von einem umfassenden Stoffbegriff ausgegangen. Als Stoffe werden sowohl genau definierte chemische Verbindungen (z.B. "1,3-Dichlorbenzol") wie auch Konstitutionsisomere mit einheitlicher Summenformel (z.B. "Dichlorbenzol") und ganze Stoffgruppen ohne einheitliche Summenformel (z.B. "polychlorierte Benzole") erfasst. Darüber hinaus sind in Ausnahmefällen ebenfalls technische Gemische (Sammelbezeichnungen), Naturprodukte und über Stoffeigenschaften charakterisierte Stoffgruppen als Stoffe definiert (z.B. "Holz", "Schmieröl", "Staub", "TOC"). Der Stoffbegriff schließt jedoch keine Produkt- oder Handelsbezeichnungen ein, diese werden den Stoffen gesondert zugeordnet (vgl. Kap. 5.6). Mit der Verwendung eines sehr umfassenden Stoffbegriffs sollen die Untersuchungsergebnisse zu Brandprodukten möglichst genau abgebildet und detaillierte

Auswertungen beispielsweise in Abhängigkeit von chemischen funktionellen Gruppen ermöglicht werden.

Die Datenbank enthält eine zentrale Stoffliste, auf die in den verschiedenen Funktionalitäten jeweils zurückgegriffen wird. In dieser Liste bzw. Tabelle wird nicht nach der Verwendung eines Stoffes als Brandstoff oder Brandprodukt unterschieden. Die eindeutige datenbank-interne Identifikation der Stoffe wird durch eine zwölfstellige Kurzbezeichnung gewährleistet.

Die in der Datenbank verwendeten Stoffe können zusammen mit weiteren Stoffinformationen über das Formular "Stoffe" (Abb. 5.3) eingesehen werden. Abgesehen von der Kurzbezeichnung wird als weiteres Identifikationsmerkmal die CAS-Nummer (Chemical Abstracts Service Nummer) angezeigt. Weiterhin werden einer Kurzbezeichnung verschiedene Synonyme (gebräuchliche Stoffbezeichnungen, Trivialnamen und Kurzbezeichnungen) zugeordnet. Mit Hilfe eines Buttons (Lupensymbol) kann zu einem Synonym das entsprechende ausgefüllte Formular angezeigt werden. Für Reinstoffe mit eindeutig definiertem molekularen Aufbau sind die Summenformel und das Molekulargewicht angegeben, bei Polymeren beziehen sich die entsprechenden Angaben auf die Monomereinheiten. Zur Charakterisierung wird jeder Stoff einer bestimmten Stoffkategorie zugeordnet (z.B. Pestizid, Naturprodukt, Chemikalie). Darüber hinaus erfolgt eine Zuordnung der Stoffe zu verschiedenen Stoffgruppen. Die Gruppenbildung erfolgt u.a. nach der atomaren Zusammensetzung, den enthaltenen funktionellen Gruppen sowie der Zugehörigkeit zu Verbindungsklassen, wobei in

Stoffe (Brandstoffe und Brandprodukte)

Stoff: Polyamid6,6 🔍

CAS-Nr.: 32131-17-2

Stoff-Kategorie: K *

Mol/Monomer-
masse: 226.3

Synonyme	
Polyamid 6,6	
Nylon 6,6	
▶ Poly-(hexamethylen-adipinsäurediimid)	

Summenformel		
▶ C	#	12
H	#	22
O	#	2
N	#	2

Stoffgruppen	
▶ Amid (R-CO-NR ₂)	*
C-haltig	*
H-haltig	*
N-haltig	*
O-haltig	*
polymer	*

4 Datensatz 546 von 643

Abb. 5.3: Das Formular "Stoffe" zeigt die in der Datenbank verwendeten Stoffe unabhängig von der Art der Stoffe (Brandstoff oder Brandprodukt) und dazugehörige Daten.

der Regel Mehrfachzuordnungen getroffen werden. Mit Hilfe der Stoffgruppenzuordnung ist es möglich, eine Verbindung zwischen ähnlichen Stoffen, beispielsweise Konstitutionsisomeren, herzustellen. Eine Liste der vorgesehenen Stoffgruppen findet sich im Anhang.

Zu den wichtigsten Brandprodukten liegen neben den allgemeinen Angaben des Formulars "Stoffe" zusätzlich Informationen zur inhalationstoxikologischen Wirkung der Stoffe vor, die über das Formular "Brandprodukt-Info" zugänglich sind (Abb. 5.4). In diesem Formular sind neben der Kurzbezeichnung des Stoffes, der CAS-Nummer und den Synonymen eines Stoffes als Identifikationsmerkmale auch verschiedene Grenz- bzw. Konzentrationsleitwerte für luftgetragene Schadstoffe aufgeführt. Dies sind der MAK-Spitzenwert (MAK – Maximale Arbeitsplatzkonzentration), der TRK-Spitzenwert (TRK – Technische Richtkonzentration), der ET-Wert bzw. ETW (Einsatztoleranzwert) und der ERPG2-Wert (ERPG – Emergency Response Planning Guidelines). MAK- und TRK-Spitzenwerte wurden, obwohl sie für den speziellen Bereich des betrieblichen Arbeitsschutzes abgeleitet worden sind, in das Formular aufgenommen, da diese Werte zu einer großen Zahl von Stoffen vorliegen und somit eine in

Brandprodukt-Info

Brandprodukt: **HCN**

CAS-Nr.: **74-90-8**

Synonyme

- Cyanwasserstoff
- Blausäure

	mg/m ³	ppm	Quelle:
MAK-Spitzenwert:	22	19.8	TRGS 900 2/96
TRK-Spitzenwert:			
ERPG2-Wert:	11.1	10	ERPG
Einsatz-Toleranz-Wert:	5	5	VFDB95 (Buff)

Informationen über den Stoff als Brandprodukt:

Farbloses Gas, Bittermandelgeruch.
 Wird auch über die Haut aufgenommen.
 Bei Konzentrationen von 100 ppm tödliche Wirkung nach einer Stunde.
 Hohe Konzentrationen (200 ppm) führen in Sekunden zur Lähmung des Atemzentrums und zum Tod.

Datensatz: 16 von 37

Abb. 5.4: Formular "Brandprodukt-Info". Das Formular "Brandprodukt-Info" ist aus dem Formular "Standardsätze" durch Doppelklicken auf eine Brandprodukt-Kurzbezeichnung zu erreichen.

sich geschlossene Beurteilung ermöglichen. Demgegenüber stellt der ETW einen Konzentrationsleitwert dar, der speziell zur Messung und Bewertung von Schadstoffkonzentrationen im Feuerwehreinsatz abgeleitet wurde, bislang jedoch nur Bestandteil eines Richtlinienentwurfs der vfdB (Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes) ist und für 34 Stoffe vorliegt. Die ERPG-Werte sind von der Störfallkommission bis auf weiteres für die Notfallplanung im Störfall empfohlene Konzentrationsleitwerte, wobei für Beurteilungen im Zusammenhang mit Bränden insbesondere der ERPG2-Wert geeignet erscheint. Derzeit liegen zu ca. 50 störfallrelevanten Stoffen ERPG-Werte vor (vgl. Glossar). Die Richtwerte sind mit einem Quellenhinweis versehen und sowohl in den Einheiten mg/m^3 als auch ppm angegeben. Neben den Grenz- bzw. Konzentrationsleitwerten ist im Formular außerdem ein Bemerkungsfeld vorgesehen, in dem Stoffinformationen beispielsweise zur Farbe, zur Konsistenz und zur Toxizität sowie zur Art der toxischen Wirkung abgelegt werden können.

5.2 Daten zu Brandversuchen

In der Datenbank PHLOGISTON werden in der Literatur dokumentierte Brandversuche erfaßt und brandstoffbezogen abgelegt. Ein Datensatz zu Brandversuchen enthält Informationen zum Brandstoff und zur Literaturquelle, zur Versuchsdurchführung (verwendete Versuchsdurchführung, charakteristische Brandversuchsparameter) und Daten zu den gemessenen Brandprodukten und / oder zu deren toxikologischer Wirkung. Die der Literatur entnommenen Angaben zu Brandversuchen können in PHLOGISTON über das Formular "Brandversuch" eingesehen werden (Abb. 5.5). Es sind nur brandstoffbezogene Informationen berücksichtigt. Die eindeutige datenbankinterne Identifikation eines Brandversuch-Datensatzes erfolgt durch die Kurzbezeichnung des Brandstoffes, die zugehörige Stoffbemerkung, die Literaturquelle und die weitere Bezeichnung. Erläuterungen zu den Datenfeldern des Formulars "Brandversuch" werden in den Tabellen 5.1 bis 5.4 gegeben.

Brandversuch

Brandgut / -stoff: Stoff-Bemerkung:

Quelle: Weitere Bez.:

Apperatur: Sauerstoff: Flamme:

Bemerkung: gutventilierter Brand; die Brandprodukt-Ausbeuten sind Mittelwerte für die Zeitspanne 60 sec nach der Zündung; mittlere Standardabweichung bei Brandprodukt-Bestimmung 6-10 %

Parameter	Zahlenwert		Einheit	Bemerkung
	von	bis		
Menge Brandgut		20	g	Brandstoffgröße 100 x 100 x 3
Optische Dichte		300	m2/kg	mittl. spezif. Extinktionsfläche r
Strahlungswärme		60	kW/m2	
Strahlungswärme, freig		690	kW/m2	mittlere freigesetzte Strahlung
Verhältnis CO2/CO		60	-	
Vollständigkeit d. Verb		0,9	-	
Zeitpunkt der Zündung		69	sec	

Datensatz: 1 von 7

Datensatz: 2 von 2

Brandversuch

Brandgut / -stoff: Stoff-Bemerkung:

Quelle: Weitere Bez.:

Brandprodukte	gemessen in	Typ	Menge		Einheit
			von	bis	
CO	Brandrauch/-gas	A		28	mg/g
Bemerkung:					
CO2	Brandrauch/-gas	A		2210	mg/g
Bemerkung:					
HCN	Brandrauch/-gas	A		26	mg/g
Bemerkung:					
NH3	Brandrauch/-gas	A		0,5	mg/g
Bemerkung:					
NOx	Brandrauch/-gas	A		6,9	mg/g
Bemerkung:					

Datensatz: 1 von 5

Toxikologische Angaben	Messgröße	gemessen in	Organismus	Zahlenwert		Einheit
				von	bis	
LC50	Brandrauch/-ge	Ratte		18	g/m3	
Bemerkung: mit Hilfe des FED-Konzepts berechneter Wert für Expositionszeit von 30 min und Nachexpo						

Datensatz: 1 von 1

Datensatz: 2 von 2

Abb. 5.5: Formular "Brandversuch", Teil 1 und 2 (jeweils mit Formularkopf). Mit Hilfe der rechten Bildlaufleiste gelangt man aus dem oberen Bereich (Teil 1) in den unteren Bereich (Teil 2) des Formulars und zurück.

Tab. 5.1: Attribute des Formulars "Brandversuch", Teil 1 - Formularkopf und allgem. Angaben zum Brandversuch.

Attribut	Bemerkung
Brandgut / -stoff	<p>Kurzbezeichnung des Brandgutes bzw. des Brandstoffes (Textfeld mit hinterlegter Liste).</p> <p>Die Kurzbezeichnung bzw. der Stoff muß in der allgemeinen Stoffliste enthalten sein. Dem Formular "Stoffe" kann u.a. die zu einer Kurzbezeichnung gehörende ausführliche Bezeichnung eines Stoffes entnommen werden.</p>
Stoff-Bemerkung	<p>Bemerkung zum Brandstoff (freies Textfeld).</p> <p>Die Bemerkung kann z.B. Erläuterungen zur Zusammensetzung des Brandstoffes bei Brandstoffgemischen (möglichst quantitativ) oder Angaben zur Konsistenz (z.B. Pulver, Pellet) und zur Reinheit des Brandstoffes enthalten.</p>
Quelle	<p>Kurzbezeichnung der Literaturstelle, in der ein Brandversuch dokumentiert ist (Textfeld mit hinterlegter Liste).</p> <p>Die Literaturstelle muß in der Literaturliste enthalten sein. Dem Formular "Literatur" kann der ausführliche Literaturnachweis entnommen werden.</p>
Weitere Bezeichnung	<p>Kurzbezeichnung eines Brandversuchs zur eindeutigen Kennzeichnung von unterschiedlichen in einer Literaturstelle dokumentierten Versuchen (freies Textfeld).</p> <p>Die Kurzbezeichnung kann beliebig gewählt werden, steht jedoch in der Regel mit dem Versuch in Beziehung (z.B. interne Quellenbezeichnung bei Reviews).</p>
Apparatur	<p>Bezeichnung der Versuchsapparatur (Textfeld mit hinterlegter Liste).</p> <p>Es sind Bezeichnungen sowohl für Laborapparaturen als auch für größere Brandversuchsanordnungen aufgelistet. Während verbreitet eingesetzte Laborapparaturen explizit aufgeführt werden (z.B. die DIN-Apparatur), können Eigenkonstruktionen, die keine weitere Verbreitung und Bedeutung haben, unter der Bezeichnung "Laborapparatur allg." zusammengefaßt werden.</p>
Sauerstoff	<p>Qualitative Angabe zum Sauerstoffgehalt der den Brandstoff umgebenden Gasatmosphäre (Textfeld mit hinterlegter Liste).</p> <p>Mögliche Einträge sind: "ja", "nein", "k.A." (keine Angabe, d.h. fehlende Information), "leer" (kein Eintrag).</p>
Flamme	<p>Angabe, ob der Brandversuch zu einer sichtbaren Flammenercheinung geführt hat (Textfeld mit hinterlegter Liste).</p> <p>Mögliche Einträge sind: "ja", "nein", "k.A." (keine Angabe, d.h. fehlende Information), "leer" (kein Eintrag).</p>
Bemerkung	<p>Bemerkung zu einem Brandversuch (freies Textfeld).</p> <p>Bei Brandversuchen mit selbst konstruierten Apparaturen können an dieser Stelle z.B. Erläuterungen zum Aufbau und zu den Abmessungen der Versuchsanordnung sowie zu Randbedingungen und Versuchsdurchführung gegeben werden. Werden in Reviews mitgeteilte Versuchsergebnisse ausgewertet, werden die verfügbaren Angaben zur Originalquelle (zumindest Name / Institution der Untersuchungsstelle) ebenfalls im Bemerkungsfeld abgelegt (Hinweis zur Vermeidung von Mehrfacheinträgen).</p>

Tab. 5.2: Attribute des Formulars "Brandversuch", Teil 2 - Datensätze zu Brandversuch-Parametern (erweiterbare Liste).

Attribut	Bemerkung
Parameter	Kurzbezeichnung der Versuchsparameter (Textfeld mit hinterlegter Liste). Es können nur in der hinterlegten Liste enthaltene Parameter verwendet werden (siehe Tab. 5.3).
Zahlenwert von, bis Einheit	Quantitative Daten zu einer Meßgröße. Für jede Meßgröße sind Minimal- und Maximalwerte, ggf. mit Operator (" $<$ ", " $>$ "), angegeben. Die physikalischen Einheiten der Meßgrößen sind in einer Liste hinterlegt.
Bemerkung	Für Bemerkungen zu einem Brandversuch-Parameter steht ein Textfeld zur Verfügung.

Tab. 5.3: Liste der Versuchs- bzw. Brandparameter für das Formular "Brandversuch", Teil 1. In der Datenbank werden zum Teil weitere Erläuterungen zu den Parametern gegeben.

• Abbrandrate	• Nachexpositionszeit (Beobachtungszeitraum)
• Aufheizgeschwindigkeit	• Oberfläche Brandgut
• CO ₂ /CO-Verhältnis	• Optische Dichte
• Dauer der Verbrennung	• Rest Brandgut
• Expositionszeit (Verabreichungsdauer)	• Sauerstoffanteil, zugeführt
• Gasstrom, zugeführt	• Strahlungswärme
• Kammervolumen (Expositionskammer)	• Strahlungswärme, freigesetzt
• Luftverhältnis	• Temperatur
• Menge Begleitstoffe (z.B. Verpackungsmaterial, Paletten)	• Verhältnis Luft/Brandgut
• Menge Brandgut	• Verweilzeit
• Menge Probenahme	• Vollständigkeit der Verbrennung ("combustion efficiency")
	• Zeitpunkt der Zündung

Tab. 5.4: Attribute des Formulars "Brandversuch", Teil 3 - Brandprodukt- und Toxikologie-Datensätze (erweiterbare Listen).

Attribut	Bemerkung
Brandprodukte	Kurzbezeichnung der Brandprodukte (Textfeld mit hinterlegter Liste). Die Kurzbezeichnung bzw. der Stoff muß in der allgemeinen Stoffliste enthalten sein. Dem Formular "Stoffe" kann u.a. die zu einer Kurzbezeichnung gehörende ausführliche Bezeichnung eines Stoffes entnommen werden.
gemessen in	Kurzbezeichnung des Mediums, in dem ein Produkt bestimmt wurde (Textfeld mit hinterlegter Liste). In der Liste sind z.B. die Medien "Brandrauch/-gas", "Boden" und "Brandrückstand" hinterlegt.
Typ	Angabe zum Typ der Meßgröße (Textfeld mit hinterlegter Liste). Mögliche Einträge sind: "A" für Ausbeute (bzw. Schadgasmassenausbeute), "K" für Konzentration, "B" für Berechnung, "kA" für keine Angabe, "Q" für qualitativ nachgewiesene und "QN" für qualitativ nicht nachgewiesene Brandprodukte, d.h. es wurde zwar nach dem Stoff gesucht, aber es war nicht möglich, ihn nachzuweisen. Zu nachgewiesenen bzw. nicht nachgewiesenen Brandprodukten wird soweit möglich ebenfalls die Nachweisgrenze angegeben ("<"-Zeichen als Operator und Zahlenwert).
Menge von, bis Einheit Bemerkung	Qualitative oder quantitative Daten zu einem Brandprodukt. Für jede Meßgröße sind Minimal- und Maximalwerte, ggf. mit Operator ("<", ">"), angegeben. Die physikalischen Einheiten der Meßgrößen sind in einer Liste hinterlegt. Für Bemerkungen zu einem Brandprodukt steht ein Textfeld zur Verfügung.
Toxikologische Angaben	
Meßgröße	Kurzbezeichnung der toxikologischen Meßgrößen (Textfeld mit hinterlegter Liste). Es können nur in der hinterlegten Liste enthaltene Meßgrößen verwendet werden wie z.B. LC50 oder LD50.
gemessen in	Bezeichnung des Mediums, das einer toxikologischen Untersuchung unterzogen wurde (Textfeld mit hinterlegter Liste). In der Liste sind z.B. die Medien "Brandrauch/-gas", "Boden" und "Blutserum" hinterlegt.
Organismus	Bezeichnung des Organismus, an dem toxikologische Untersuchungen durchgeführt wurden (Textfeld mit hinterlegter Liste). In der hinterlegten Liste sind als Organismen z.B. "Ratte" und "Maus" vorgehen.
Zahlenwert von, bis Einheit Bemerkung	Qualitative oder quantitative Daten zu einer toxikologischen Meßgröße. Für jede Meßgröße sind Minimal- und Maximalwerte, ggf. mit Operator ("<", ">"), angegeben. Die physikalischen Einheiten der Meßgrößen sind in einer Liste hinterlegt. Für Bemerkungen zu einer Meßgröße oder zum Verhalten der Organismen während der Untersuchung steht ein Textfeld zur Verfügung.

Zu jeder bearbeiteten Literaturstelle mit auswertbaren Detaildaten zu Brandprodukten ist für jeden Brandstoff zumindest ein Formular "Brandversuch" vorhanden. Wurden Brandversuche mit verschiedenen Ausprägungen eines Stoffes durchgeführt, z.B. mit PVC als Reinstoff und als Fertigprodukt, sind zu diesem Stoff mehrere Formulare "Brandversuch" ausgefüllt. Die Unterscheidung hinsichtlich der Ausprägung erfolgt über die Bemerkung zum Brandstoff. Wurden zu einem Brandstoff mehrere Versuche mit unterschiedlichen Versuchsapparaturen oder bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen durchgeführt, so sind die Daten aus den Einzelversuchen entweder einzeln oder zusammengefaßt abgelegt worden. Bei der im Einzelfall getroffenen Entscheidung wurde ein Kompromiß zwischen einem hohen Informationsgehalt und der Möglichkeit einer automatisierten Auswertung der Datenbank einerseits und einer möglichst kompakten Bereitstellung der Informationen andererseits gesucht.

5.3 Daten zu Ereignisbränden

Die überwiegende Zahl von Ereignisbränden ist nicht durch einen einzigen Brandstoff und definierte Brandbedingungen eindeutig charakterisierbar, sondern es liegen vielmehr Brandstoffgemische mit sehr komplexer oder auch unbekannter Zusammensetzung und zeitlich und örtlich wechselnde Brandbedingungen vor. Beispiele solcher Brände sind Wohnungs-, Gebäude- und Bürobrände, wobei am Brand z.B. Tapeten, Gardinen, Möbel und verschiedenste Einrichtungsgegenstände beteiligt sind. Auch bei Bränden von Verkaufseinrichtungen oder Baumärkten sind eine Vielzahl verschiedener Brandstoffe betroffen, weshalb meist keine eindeutige Beziehung zwischen brennendem Stoff und Brandprodukten erkennbar ist. Ein direkter Bezug zwischen Brandstoff und Brandprodukten ist ausschließlich bei Bränden unter Beteiligung von nur wenigen verschiedenen Brandstoffen oder unter Beteiligung größerer Mengen von "Sonderbrandstoffen" wie z.B. bestimmten chemisch-technischen Erzeugnissen und Zubereitungen oder Chemikalien gegeben. Statt durch einzelne Brandstoffe und bestimmte Brandbedingungen sind Ereignisbrände in der Regel durch Orts- und Zeitangabe zu definieren (z.B. "am 16.4.1996 brannte es auf dem Düsseldorfer Flughafen"), darüber hinaus lassen sich Umgebungsbedingungen wie Angaben zum Wetter und ggf. Angaben zu den beteiligten Brandstoffen zuordnen. Um den unterschiedlichen Gegebenheiten bei Ereignisbränden Rechnung zu tragen, wurden Ereignisbrände in einer eigenen Datenstruktur und in einem eigenen Formular "Ereignisbrand" erfaßt (vgl. Abb. 5.6).

Ereignisbrand

Bezeichnung: Kuwait **Brandzeit von:** bis: _____

Straße: _____

Land | PLZ | Ort: KW _____

Bemerkung:
Brand von Oldfeldern in Kuwait

Schlagworte	Quellen:
→ Ölquelle	→ LAURIS2

Brandstoffe					
	Menge				
	von	bis	Einheit	Bemerkung	
→ Rohöl					
*					

Parameter					
	Zahlen-Wert				
	von	bis	Einheit	Textwert / Bemerkung	
→ Brandtyp				offenes Feuer	
→ Brandgröße				Großbrand	
*					

Datensatz: 15 von 31

Ereignisbrand

Bezeichnung: Kuwait **Brandzeit von:** bis: _____

Probe: **Bezeichnung:** Kuwait01 **Medium:** Brenndrauch/-gas **Id-Nr.:** _____

Probenort: Wo? 180 km südlich von Kuwait City **Wert:** University of Washington, Seattle (U)

Datum/Zeit von: 28. Mai 91 00:00 **bis:** _____

Analys: **Wert:** _____

Bemerkung: Probenahme von Bord eines Forschungsflugzeugs in der aus allen Einzelbränden der kuwaitischen Oldfelder resultierenden Rauchwolke; mehrere repräsentative Messungen ca. 160 km südlich von Kuwait Stadt

Brandprodukte						
	Menge					
	von	bis	Einheit	Match-Quantity		
→ C		28	mg/g			
Bemerkung:	elementarer Kohlenstoff; Standardabweichung 0,9 mg/g; Fehler 25 %-wt					
CO		11,9	mg/g			
Bemerkung:	Standardabweichung 2,9 mg/g; Fehler 11,7 %-wt					
CO2		3040	mg/g			
Bemerkung:	Standardabweichung 40,3 mg/g; Fehler 14,7 ppm-wt					
Methan		2,1	mg/g			
Bemerkung:	Standardabweichung 1,2 mg/g; Fehler 0,5 %-wt					

File: _____

Datensatz: 1 von 5

Datensatz: 15 von 31

Abb. 5.6: Formular "Ereignisbrand", Teil 1 und 2 - jeweils mit Formulkaport. Mit Hilfe der rechten Bildlaufleiste gelangt man aus dem oberen Bereich (Teil 1) in den unteren Bereich (Teil 2) des Formulars und zurück.

Ein Datensatz zu Ereignisbränden enthält neben Angaben zum Brandobjekt, insbesondere zu Ort und Zeit des Brandes, ebenfalls Informationen zu den beteiligten Brandstoffen, zu den kennzeichnenden Parametern eines Brandes und zu durchgeführten Messungen. Dabei wurde die Datenstruktur so gewählt, daß Angaben aus den Einsatzberichten der Feuerwehr direkt übernommen werden können. Die Teilbereiche des Formulars zur Erfassung der Brandparameter, der Brandstoffmenge und der Brandprodukte sind formal weitgehend analog zum Formular "Brandversuch" aufgebaut. Jeder Datensatz zu Ereignisbränden ist durch die Bezeichnung des Brandes innerhalb der Datenbank eindeutig identifiziert. Weitere Erläuterungen zu den Datenfeldern des in den Abbildungen 5.6 gezeigten Formulars sind in den Tabellen 5.5 und 5.6 zu finden.

Tab. 5.5: Attribute des Formulars "Ereignisbrand", Teil 1 - Formulkopf und allgemeine Angaben zum Ereignisbrand.

Attribut	Bemerkung
Bezeichnung	Kurzbezeichnung des Brandereignisses (freies Textfeld). Die Kurzbezeichnung kann frei gewählt werden und sollte den Brand möglichst eindeutig und genau charakterisieren (z.B. Flughafen Düsseldorf, Reifenbrand Ontario). Diese Bezeichnung wird immer angezeigt und ist farblich hervorgehoben.
Brandzeit von, bis	Zeiten des Brandbeginns und des Brandendes, wobei jeweils Datum, Stunden und Minuten angegeben werden.
Straße	Angaben zum Brandort (freie Textfelder).
Land, PLZ, Ort	Die Beschreibung des Brandortes erfolgt soweit möglich durch die Angabe der genauen Anschrift.
Bemerkung	Bemerkung zum Ereignisbrand (freies Textfeld). Die Bemerkung sollte ggf. ergänzende Angaben zum Brandort, eine Kurzbeschreibung des Brandgeschehens (vermutliche Brandursache, Brandverlauf) sowie eine Auflistung der Sach- und Personenschäden enthalten.
Schlagworte	Bezeichnungen zur Kennzeichnung des Brandes bzw. des Brandobjektes (Textfeld mit hinterlegter Liste). Einem Ereignisbrand können ein oder mehrere Schlagworte zugeordnet werden. Als mögliche Einträge sind in der hinterlegten Vorschlagliste beispielsweise Waldbrand oder Dachstuhlbrand enthalten.
Quellen	Kurzbezeichnung der Literaturstelle bzw. der Quelle, der die Informationen entnommen sind (Textfeld mit hinterlegter Liste). Da während oder nach einem Brand von verschiedener Seite Messungen durchgeführt werden können und die insgesamt verfügbaren Daten mehreren Quellen entnommen sein können, sind zu einem Brand mehrere Einträge zu Quellen möglich. Die Literaturstellen bzw. Quellen müssen in der Literaturliste enthalten sein. Dem Formular "Literatur" kann der ausführliche Literaturnachweis entnommen werden.

Forts. Tab. 5.5: Attribute des Formulars "Ereignisbrand", Teil 1 - Brandstoff- und Parameter-Datensätze (erweiterbare Listen).

Attribut	Bemerkung
Brandstoffe	Angaben zu den am Brand beteiligten Brandstoffen. Einem Ereignisbrand können mehrere Brandstoffe zugeordnet werden. Die Kurzbezeichnungen der Brandstoffe werden aus einer hinterlegten Liste ausgewählt. Dem Formular "Stoffe" können weitere Informationen über den Stoff entnommen werden. Für den Fall, daß die beteiligten Brandstoffe nur mit einer Produktbezeichnung oder einem Handelsnamen angegeben sind, enthält die Stoffliste die Kurzbezeichnung "Diverses". Mit Hilfe dieser Kurzbezeichnung und einem Eintrag im Bemerkungsfeld können unterschiedlichste Brandstoffangaben erfaßt werden. Die Menge eines jeden Brandstoffes kann durch Zahlenwerte quantifiziert und mit Hilfe eines Bemerkungsfeldes weiter erläutert werden (vgl. Einträge zu Parametern beim Formular "Brandversuch").
Parameter	Angaben zu Parametern, die den Brand kennzeichnen. Mit Hilfe von Parametern können z.B. die zum Zeitpunkt des Brandes vorliegenden Witterungsbedingungen (z.B. Wind, Niederschlag), der Brandtyp (z.B. Schweißbrand) oder z.B. die Art und Menge des eingesetzten Löschmittels erfaßt werden. Die Bezeichnungen der Parameter werden aus einer Vorschlagliste ausgewählt. Jeder Parameter kann durch Zahlenwerte quantifiziert und / oder durch Textwerte bzw. eine Bemerkung qualitativ beschrieben werden (vgl. Einträge zu Parametern beim Formular "Brandversuch").

Tab. 5.6: Attribute des Formulars "Ereignisbrand", Teil 2 - Angaben zur Probe.

Attribut	Bemerkung
Probe	Angaben zur Probenahme.
Bezeichnung Medium lfd-Nr.	Einem Ereignisbrand können Datensätze von mehreren Probenahmen, jeweils mit Probenahmebedingungen und Brandproduktdateien, zugeordnet werden. Eine Probe wird durch drei Felder gekennzeichnet. Neben einer Probenkurzbezeichnung (z.B. HH9301, in der Regel wird die vor Ort bei der Probenahme vergebene Bezeichnung übernommen) und einer Kurzbezeichnung des Mediums, in dem ein Produkt bestimmt wurde (Textfeld mit hinterlegter Liste), wird als drittes Datenfeld eine automatisch vergebene datenbankinterne Numerierung ("lfd-Nr.") angezeigt.
Probenahme Wo? Wer? Datum/Zeit von, bis	Randbedingungen der Probenahme. Zu einer Probenahme werden der Ort, die durchführende Institution und der Anfang und das Ende der Probenahme mit Datum und Uhrzeit festgehalten.
Analyse Wer?	Name der Institution bzw. des Analyselabors.
Bemerkung	Bemerkung zu einer Probenahme (freies Textfeld). Als Bemerkung können beispielsweise zusätzliche Angaben zum Ort der Probenahme gegeben werden.

Forts. Tab. 5.6: Attribute des Formulars "Ereignisbrand", Teil 2 - Datensätze zu Brandprodukten (erweiterbare Liste).

Attribut	Bemerkung
Brandprodukte	<p>Kurzbezeichnung der Brandprodukte (Textfeld mit hinterlegter Liste).</p> <p>Die Datenfelder zu Brandprodukten entsprechen weitgehend denen des Formulars "Brandversuch".</p> <p>Zusätzlich ist das Feld Match-Quality vorgesehen. Diese Größe fällt bei computergestützter Auswertung von Meßsignalen bei Brandrauchuntersuchungen mit GC/MS-Meßtechnik an und kennzeichnet die Nachweissicherheit für ein Brandprodukt. Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 100; 100 entspricht einer maximalen Übereinstimmung.</p>
File	<p>Name der Computerdatei (File) auf einer Festplatte oder einer Diskette, in der die Meßergebnisse gespeichert sind (wenn die Analyse der Probe mit EDV-Unterstützung erfolgte).</p>

5.4 Regeln zur Bildung von Brandprodukten

Zu vielen Stoffen liegen bei Brandversuchen oder Ereignisbränden ermittelte Meßdaten zu Brandprodukten vor. Um auch Brandstoffe, zu denen bisher keine Brandprodukt Daten ermittelt wurden, beurteilen zu können, wurden aus den vorhandenen Daten Regeln abgeleitet. Die Regeln stellen qualitative Aussagen zur Bildung von Brandprodukten dar, wobei charakteristische Abhängigkeiten der Produktbildung von den Brandbedingungen berücksichtigt werden. Einzelne Regeln gelten jeweils für bestimmte Stoffgruppen, so daß eine Übertragung der Sachverhalte auf andere Verbindungen einer Stoffgruppe möglich wird.

Zur Ableitung von Regeln ist es erforderlich, eine große Zahl von Einzelversuchen zu unterschiedlichen Stoffen einer Stoffgruppe auszuwerten. Es wurden hierzu grundsätzlich alle bearbeiteten Literaturstellen herangezogen, sowohl Quellen mit für die Formulare "Brandversuch" und "Ereignisbrand" verwertbaren Brandprodukt Daten (siehe auch Kap. 5.8, Qualitätskriterien) als auch Quellen ohne solche Angaben. Die überwiegende Zahl der Regeln wurde aus Arbeiten extrahiert, die ihrerseits die Auswertung einer größeren Zahl einzelner Brandversuche enthalten und damit eine gewisse Allgemeingültigkeit sicherstellen [SCHU94, SMIT94, MAUR93, JANS92, SAND88, LEVI87]. In diesem Zusammenhang ist besonders die Studie des Institutes der Feuerwehr Sachsen-Anhalt hervorzuheben [SCHU94].

In der Datenbank PHLOGISTON sind die abgeleiteten Regeln im Formular "Regeln" zusammengestellt (Abb. 5.7). Neben der Regelnummer als datenbankinternem Identifikationsmerkmal enthält das Formular die Datenfelder Stofftyp, Stoffgruppe, Kategorie, Quellen und Regeltext. Mit Hilfe des Stofftyps oder der Stoffgruppe wird eine Zuordnung der

einzelnen Regeltexte zu bestimmten Themengebieten möglich. Bislang sind neben allgemeinen Aussagen zu Brandprodukten Regeln zu Bränden von

- Kohlenwasserstoffen,
- halogenhaltigen Brandstoffen,
- stickstoffhaltigen Brandstoffen,
- schwefelhaltigen Brandstoffen,
- anorganischen Stoffen,
- Kunststoffen/Polymeren und
- Pestiziden

vorgesehen. Die einzelnen Regeln werden der Übersicht halber den Kategorien Brennbarkeit, Brandprodukte oder Brandprodukttoxikologie zugeordnet. Das Datenfeld Quelle enthält die Informationsquelle, d.h. in der Regel die Kurzbezeichnung eines Literaturnachweises.

The screenshot shows a window titled "Regeln" with the following fields and content:

- Regel-Nr.:** 27
- Stofftyp.:** (empty)
- Stoffgruppe:** N-haltig
- Kategorie:** Brandprodukte
- Quellen:** (empty)
- Regeltext:** Stoffe, die die funktionelle CN-Gruppe enthalten, setzen beim Brand leichter HCN frei als andere stickstoffhaltige organische Verbindungen.

At the bottom of the window, a status bar indicates "Datensatz: 46 von 65".

Abb. 5.7: Formular "Regeln".

Die aufgestellten Regeln sind in den Tabellen 5.7 bis 5.14 angegeben. Sie wurden durch das Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt (IdF) auf Plausibilität und Richtigkeit geprüft.

Tab. 5.7: Allgemeine Brandregeln.

Regel-Kategorie	Regel
Brandprodukte	<p>Bei leicht flüchtigen Stoffen ist im Brandfall grundsätzlich mit dem Vorhandensein des Brandstoffes im Brandgas zu rechnen.</p> <p>Mit abnehmendem Sauerstoffgehalt und abnehmenden Verbrennungstemperaturen treten vermehrt Produkte unvollständiger Verbrennung auf.</p> <p>Die Art der Produkte bei unvollständiger Verbrennung wird wesentlich von strukturellen Merkmalen des Brandstoffes bestimmt.</p> <p>Bei Bränden können auch nicht brennbare Stoffe durch die thermische Energie von Verbrennungsvorgängen anderer brennbarer Stoffe (Stützfeuer) zersetzt werden. Die Zersetzungsprodukte können zur Gesamtoxizität der Brandgase beitragen.</p> <p>Produkte aus Reaktionen mit endothermem Charakter entstehen bevorzugt bei höheren Verbrennungstemperaturen.</p>

Tab. 5.8: Regeln zu Bränden von Kunststoffen/Polymeren.

Regel-Kategorie	Regel
Brandprodukte	<p>Typische Spaltprodukte von Polymermaterialien können bei thermischer Zersetzung ohne Sauerstoff je nach Struktur und Elementarzusammensetzung H_2O, CO_2, CO, H_2, NH_3, HCl, H_2S, CH_4, höhere Aliphaten, aromatische Kohlenwasserstoffe, Phenole und Monomere sein.</p> <p>Bei der thermischen Zersetzung von Polymeren bilden sich u.a. hochsiedende Brandprodukte wie Öle und Teer. Darüber hinaus können auch Monomere freigesetzt werden.</p> <p>Pyrolyseöle können bei Kunststoffgroßbränden in großen Mengen auftreten, so daß von einer Gefährdung von Wasser und Boden ausgegangen werden muß.</p> <p>Der Anteil hochsiedender Pyrolyseprodukte erhöht sich mit abnehmendem Sauerstoffangebot und mit abnehmender Verbrennungstemperatur.</p>

Tab. 5.9: Regeln zu Bränden von Pestiziden.

Regel-Kategorie	Regel
Brandprodukte	<p>Pestizide enthalten Heteroatome wie Schwefel, Stickstoff, Phosphor, Halogene oder teilweise auch Metalle. Die Art der gebildeten Brandprodukte hängt u.a. von der Art der jeweiligen Heteroatome ab.</p> <p>Bei Bränden unter Beteiligung von Pestiziden kann unzersetzt verdampfender Brandstoff wesentlich zur Toxizität der Brandgase beitragen.</p>

Tab. 5.10: Regeln zu Bränden von Kohlenwasserstoffen.

Regel-Kategorie	Regel
Brandprodukte	<p>Produkte vollständiger Verbrennung bei Kohlenwasserstoffen sind CO₂ und H₂O.</p> <p>Produkte unvollständiger Verbrennung sind CO und verschiedene organische Verbindungen.</p> <p>Typische organische Produkte unvollständiger Verbrennung sind Formaldehyd, Acetaldehyd und Acrolein, primäre Alkohole, Ketone (insb. Aceton), Carbonsäuren, langkettige oder ungesättigte Aliphaten (insb. Alkane, Alkene) sowie substituierte und unsubstituierte Aromaten (z.B. Benzol, Toluol, Naphthalin) und Ruß.</p> <p>Bei Kohlenwasserstoffverbindungen beginnen ab etwa 200 °C thermisch bedingte Spaltprozesse.</p> <p>Im Temperaturbereich von 200 bis 500 °C kommt es bei höhermolekularen Stoffen im wesentlichen zur Abspaltung von Seitenketten.</p> <p>Ab ca. 300 °C verstärkt sich der Bindungsbruch bei aliphatischen Kohlenwasserstoffen unter Bildung von Methan u.a. kurzkettigen Kohlenwasserstoffen.</p> <p>Bei hoher Verbrennungstemperatur nimmt der Gehalt an komplexen organischen Verbindungen im Brandgas ab, während sich die Anteile von CO und CO₂ erhöhen.</p> <p>Acrolein bildet sich außerhalb einer Flammenzone bevorzugt im Bereich niedriger Temperaturen.</p> <p>PAK entstehen bei allen Verbrennungen organischer Stoffe durch Kondensation von Kohlenstoffketten in der Flamme.</p> <p>Sauerstoffmangel begünstigt die Neubildung von Aromaten und PAK bzw. bei im Brandstoff enthaltenen Heteroatomen die Bildung von Heterocyclen.</p> <p>Im allgemeinen gilt, daß raucharme Flammen im Gegensatz zu rauchreichen Flammen ein Kennzeichen für eine effiziente Verbrennung sind. Die Brandgase sind bei den meisten Brandstoffen bei raucharmen Flammen weniger toxisch als bei stark rauchenden und rußenden Flammen.</p> <p>Neigung zur Rußbildung in abnehmender Reihenfolge: polycyclische Kohlenwasserstoffe > aromatische Kohlenwasserstoffe > Alkine > Ketone > Alkene > niedere Alkohole, n-Alkane.</p> <p>Polycyclische und polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wie z.B. auch Biphenyle werden größtenteils an die Rußmatrix gebunden.</p>
Brandprodukttoxizität	Bei den meisten Bränden ist CO das akut toxisch bedeutendste Brandprodukt.

Tab. 5.11: Regeln zu Bränden halogenhaltiger organischer Brandstoffe.

Regel-Kategorie	Regel
Brennbarkeit	Die Brennbarkeit von halogenhaltigen organischen Stoffen nimmt in der Regel mit zunehmendem Halogengehalt ab.
Brandprodukte	<p>Produkte vollständiger Verbrennung bei halogenhaltigen Kohlenwasserstoffen sind CO₂, H₂O und Halogenwasserstoff (HCl, HBr, HF bzw. HJ). Halogenhaltige Produkte unvollständiger Verbrennung sind COCl₂ (Phosgen), COBr₂ bzw. COF₂, unter besonderen Bedingungen auch molekulares Halogen, und verschiedene organische Verbindungen.</p> <p>Mögliche halogenhaltige organische Produkte unvollständiger Verbrennung sind u.a. halogenierte gesättigte und ungesättigte Aliphaten (z.B. Vinylchlorid, Trichlorethan), sowie halogenierte cyclische und aromatische Kohlenwasserstoffe (z.B. Dibenzodioxine und Dibenzofurane, Benzole (z.B. PCB), Phenole).</p> <p>Die Umsetzung des im Brandstoff enthaltenen Halogens in Halogenwasserstoff erfolgt nahezu vollständig.</p> <p>Basisch wirkende Substanzen wie z.B. Kalksteinmehl können die Bildung von Halogenwasserstoff herabsetzen.</p> <p>Bei Bränden unter Beteiligung von chlorhaltigen Stoffen (insb. hochchlorierte Stoffe) entstehen vielfach höhere Konzentrationen an CO verglichen mit Bränden von nicht chlorierten Stoffen.</p> <p>Bei Brandstoffen mit sehr hohem Chlorgehalt kann bei Raumbränden auch Phosgen gebildet werden. Grund hierfür sind die unter diesen Bedingungen vorliegenden relativ hohen CO- und Cl₂-Konzentrationen, die die Reaktion von Cl₂ und CO zu Phosgen begünstigen.</p> <p>Bei einigen halogenorganischen Verbindungen mit hohem Halogengehalt wie z.B. Halonen können auch geringe Mengen von molekularem Halogen freigesetzt werden.</p> <p>Bei Bränden unter Beteiligung von halogenhaltigen Stoffen ist die Bildung von halogenierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (z.B. PCDD/F) möglich. Die Bildung ist bei niedrigen Verbrennungstemperaturen, durch die Vorstruktur bedingt, bei halogenierten aromatischen Kohlenwasserstoffen (insbes. halogenierte Benzole, Phenole und Biphenyle) wahrscheinlicher als bei halogenierten nicht aromatischen Verbindungen.</p> <p>Bei Bränden unter Beteiligung von halogenhaltigen Stoffen findet die Bildung von halogenierten Dioxinen und Furanen hauptsächlich in den Flammenrandzonen statt sowie bei Schwelbedingungen.</p> <p>Halogenierte Dioxine und Furane sowie PCB werden größtenteils an die Rußmatrix gebunden.</p> <p>Bei der Verbrennung von fluorhaltigen Stoffen können organische Fluorverbindungen von hoher Toxizität gebildet werden, die aber aufgrund ihrer geringen Konzentration nur bei Raumbränden von Bedeutung sind.</p>
Brandprodukttoxizität	Bei Bränden unter maßgeblicher Beteiligung von halogenhaltigen Stoffen sind meist CO und Halogenwasserstoff die akut toxisch bedeutendsten Brandprodukte.

Tab. 5.12: Regeln zu Bränden stickstoffhaltiger organischer Brandstoffe.

Regel-Kategorie	Regel
Brandprodukte	<p>Produkte vollständiger Verbrennung bei stickstoffhaltigen organischen Verbindungen sind CO_2, H_2O, N_2 sowie in geringem Umfang NO_x.</p> <p>Stickstoffhaltige Produkte unvollständiger Verbrennung sind HCN, NH_3 und verschiedene organische Verbindungen.</p> <p>Typische stickstoffhaltige organische Produkte bei unvollständiger Verbrennung sind aliphatische und aromatische Nitrile (z.B. Acrylnitril und Benzonitril), Amine, Isocyanate und Nitroverbindungen (z.B. Nitrosamine).</p> <p>Der im Brandstoff enthaltene Stickstoff wird bei vollständiger Verbrennung überwiegend als N_2 freigesetzt.</p> <p>Ein Teil des Stickstoffs organischer Verbindungen wird bei vollständiger Verbrennung zu NO umgesetzt, das in Gegenwart von Wasser und Sauerstoff zu NO_2 weiterreagieren kann. Die NO_x-Bildung ist erheblich von den Brandbedingungen abhängig.</p> <p>Bei aromatischen Stickstoffverbindungen bewirken Seitenketten am aromatischen Ring eine Erniedrigung des NO_x-Bildungsgrades bei der Verbrennung.</p> <p>NO_x bildet sich bevorzugt bei hohen Verbrennungstemperaturen.</p> <p>NO_x kann bei hoher Verbrennungstemperatur auch aus dem Luftstickstoff gebildet werden (thermisches NO_x).</p> <p>Bei Sauerstoffmangel sinkt der NO_x-Bildungsgrad, der HCN- und der NH_3-Bildungsgrad erhöhen sich dagegen.</p> <p>Stoffe, die die funktionelle CN-Gruppe enthalten, setzen beim Brand leichter HCN frei als andere stickstoffhaltige organische Verbindungen.</p> <p>Bei Bränden von stickstoffhaltigen organischen Stoffen, die Stickstoff in einer heteroaromatischen Struktur enthalten, können hohe HCN-Konzentrationen auftreten.</p> <p>Bei Brandstoffen, die Stickstoff in Form einer Nitrogruppe enthalten, entsteht HCN im Brandfall wahrscheinlich nur in geringen Konzentrationen (hohe Oxidationszahl des Stickstoffs in der Nitrogruppe).</p> <p>Die HCN-Bildung erreicht bei oxidativen Bedingungen im mittleren Temperaturbereich maximale Werte.</p>
Brandprodukttoxizität	<p>Bei Bränden unter Beteiligung von stickstoffhaltigen Stoffen können neben CO auch HCN und NO_x akut toxisch bedeutende Brandgasbestandteile sein.</p>

Tab. 5.13: Regeln zu Bränden schwefelhaltiger organischer Brandstoffe.

Regel-Kategorie	Regel
Brennbarkeit	Durch Sulfatgruppen im Brandstoffmolekül wird die Brennbarkeit herabgesetzt.
Brandprodukte	<p>Produkte vollständiger Verbrennung bei schwefelhaltigen organischen Verbindungen sind CO₂, H₂O und SO₂ sowie in Ausnahmefällen SO₃. Schwefelhaltige Produkte unvollständiger Verbrennung sind H₂S, CS₂, COS und verschiedene organische Verbindungen.</p> <p>Typische schwefelhaltige organische Produkte bei unvollständiger Verbrennung sind Thiocyanate und Mercaptane.</p> <p>Bei Bränden von schwefelhaltigen Brandstoffen muß insbesondere bei Vollbrandbedingungen mit einer weitgehenden Umsetzung des Brandstoffschwefels zu SO₂ gerechnet werden.</p> <p>Die Umsetzung des im Brandstoff enthaltenen Schwefels zu SO₂ kann durch die Bildung von Sulfaten (z.B. bei Holz) in weit geringerem Umfang erfolgen als bei vollständiger Umsetzung.</p> <p>Bei Verbrennungsprozessen mit rascher Abkühlung kann in geringen Mengen auch SO₃ gebildet werden. Dieses kann mit in Brandgasen enthaltenem Wasser zu Schwefelsäure reagieren.</p>
Brandprodukttoxizität	<p>Bei Bränden unter Beteiligung von schwefelhaltigen Stoffen sind meist CO und SO₂ die akut toxisch bedeutendsten Brandprodukte.</p> <p>Bei Bränden unter maßgeblicher Beteiligung von schwefelhaltigen Brandstoffen kann SO₂ wesentlich zur akuten Toxizität der Brandgase beitragen.</p>

Tab. 5.14: Regeln zu Bränden mit Beteiligung von anorganischen Stoffen.

Regel-Kategorie	Regel
Brandprodukte	<p>Bei Bränden unter Beteiligung größerer Mengen an Phosphor, Magnesium oder Natrium bildet sich ein weißer Rauch aus partikelförmigen Oxiden. Die Oxide sind ätzend bzw. reizend.</p> <p>Metalle und Metalloxide neigen mit Ausnahme von Quecksilber, das auch als Dampf im Brandgas vorkommen kann, zur raschen Abscheidung aus dem Brandgas.</p> <p>Bei Bränden von quecksilberhaltigen Verbindungen muß auch im Brandgas mit dem Auftreten von Quecksilber und Quecksilberverbindungen gerechnet werden.</p>

5.5 Bewertete Kurzinformationen: Standardsätze

Um Einsatzkräften bei Bränden leicht zugängliche und kompakte Informationen zur Verfügung zu stellen, wurden in der Datenbank PHLOGISTON sogenannte Standardsätze erstellt. In diesen Standardsätzen sind Informationen der Detailebene zusammengefaßt und bewertet.

Eine auf den Brandstoff bezogene Bewertung, die alle Brandbedingungen einschließt, ist äußerst problematisch, da die Bildung einzelner Brandprodukte von den jeweiligen Brandbedingungen (z.B. Temperatur, Sauerstoffzufuhr) beeinflusst wird. Die Toxizität des Brandgasgemisches ist darüber hinaus konzentrationsabhängig und hängt damit u.a. von der Bildungsrate einzelner Produkte, den Windverhältnissen und der Entfernung von der Brandstelle ab. Um quantitative Angaben zur Rauchgastoxizität ableiten zu können, müßten bestimmte Annahmen zu den Brandbedingungen, der Quellstärke und den Ausbreitungsbedingungen getroffen werden. Da dies in allgemeingültiger Form nicht möglich ist, wird mit den Standardsätzen für akut toxisch wirkende Produkte keine absolute Quantifizierung der Toxizität einzelner Brandprodukte vorgenommen. Die Bewertung beinhaltet vielmehr Angaben zur Wahrscheinlichkeit des Auftretens einzelner Brandprodukte im Brandgas und zum möglichen Beitrag des jeweiligen Brandproduktes zur Gesamtoxizität der Brandgase. Die Bewertungen lassen somit Rückschlüsse insbesondere auf den Brandnahbereich zu. Für weiter vom Brandort entfernte Bereiche gilt nach einer Studie des Instituts der Feuerwehr [SCHU94], daß die Brandprodukte bei den meisten Bränden in einer Entfernung von einigen hundert Metern von der Brandstelle nicht mehr in akut toxischen Konzentrationen vorliegen. Bei Bränden unter maßgeblicher Beteiligung von Sonderbrandstoffen können dagegen auch über den Nahbereich hinaus erhöhte Brandgaskonzentrationen nicht ausgeschlossen werden.

Die Herleitung der Standardsätze ist in Abbildung 5.8 schematisch dargestellt. Grundlage der Bewertung waren die einzelnen Versuchsergebnisse sowie zur Zeit noch in geringerem Umfang vorliegende Meßergebnisse aus Ereignisbränden, die Bestandteil der Detailedaten-ebene sind. Führt man die Bewertung allein auf Grundlage der für den konkreten Brandstoff vorhandenen Daten durch, so ergeben die Standardsätze ein verzerrtes Bild. Beispielsweise können für einen halogenorganischen Brandstoff in der Detailebene lediglich Versuche vorliegen, in denen die Bildung polychlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane in den Brandrückständen untersucht wurde. Die Bildung von Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Chlorwasserstoff ist nur deswegen nicht in der Datenbank dokumentiert, da das Auftreten dieser Komponenten im Brandgas nicht untersucht wurde. Da für andere halogenorganische Brandstoffe die Bildung der genannten Komponenten im Brandgas bekannt ist und Kohlenmonoxid und Kohlendioxid bei nahezu jedem Brand entstehen, wurden diese Brandprodukte z.B. bei halogenorganischen Stoffen in den Standardsätzen angegeben, auch

wenn ihre Bildung nicht durch Meßergebnisse am Einzelstoff belegt ist. Ähnlich wurde bei anderen Stoffgruppen vorgegangen.

Die Standardsätze wurden durch das Institut der Feuerwehr (IdF) Sachsen-Anhalt geprüft und sollen in den Gemeinsamen Stoffdatenbestand des Bundes und der Länder (GSBL) übernommen werden.

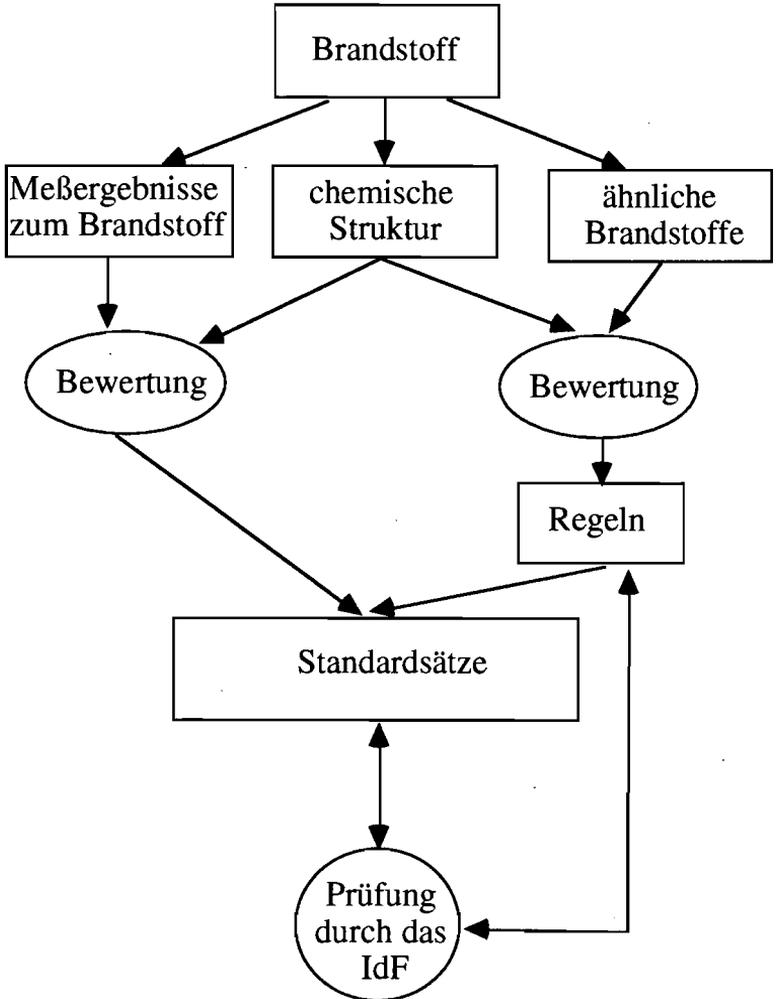


Abb. 5.8: Schema zur Erstellung der Standardsätze.

In Abbildung 5.9 sind beispielhaft die Standardsätze für PVC in Form einer Auflistung der relevanten Brandprodukte dargestellt (Formular "Standardsätze").

Standardsätze: Brandprodukte zu Stoffen

Brandstoff: Polyamid

Brandprodukte	Bildung	Relevanz
CO	mit Sicherheit	wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam
Bemerkung: gebildete Mengen erhöhen sich bei Sauerstoffmangel		
CO2	mit Sicherheit	eventuell für akute Toxizität bedeutsam
Bemerkung:		
HCN	möglich	eventuell für akute Toxizität bedeutsam
Bemerkung: gebildete Mengen erhöhen sich bei Sauerstoffmangel		
NOx	möglich	eventuell für akute Toxizität bedeutsam
Bemerkung: v.a. bei hohen Temperaturen		

Hinweise:

Es können sich hochsiedende Brandprodukte wie z.B. Pyrolyseole bilden, die Wasser und Boden gef...

Quellen:	Regain:
ESPO86	
LEVI86	
MORI88a	
SMIT94	

R Datensatz 118 von 144

Abb. 5.9: Formular "Standardsätze". Die einzelnen Felder der Datenmaske sind in Tabelle 5.15 erläutert.

Tab. 5.15: Erläuterung einzelner Datenfelder des Formulars "Standardsätze".

Attribut	Bemerkung
Brandstoff	<p>Kurzbezeichnung des Brandstoffes (Textfeld mit hinterlegter Liste).</p> <p>Die Kurzbezeichnung bzw. der Stoff muß in der allgemeinen Stoffliste enthalten sein. Dem Formular "Stoffe" kann u.a. die zu einer Kurzbezeichnung gehörende ausführliche Bezeichnung eines Stoffes entnommen werden.</p> <p>Durch Betätigen des Buttons (Lupensymbol) und Eingabe einer Stoffbezeichnung kann auch ohne Kenntnis der Kurzbezeichnung eines Stoffes nach einem bestimmten Formular "Standardsätze" gesucht werden (Zugriff auf Liste von Synonymen).</p>
Brandprodukt	<p>Kurzbezeichnung des Brandproduktes (Textfeld mit hinterlegter Liste). Der Stoff muß ebenfalls in der allgemeinen Stoffliste enthalten sein.</p>
Bildung	<p>Die Bildung bzw. die Bildungswahrscheinlichkeit eines Brandproduktes wird durch vier Abstufungen gekennzeichnet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • mit Sicherheit <p>Die Zuordnung wird für Kohlenmonoxid sowie für Stoffe vergeben, die erfahrungsgemäß Produkte vollständiger Verbrennung sind (z.B. CO₂, HCl, HF).</p> • wahrscheinlich <p>Die Zuordnung wird vergeben, wenn beim Brandstoff oder bei strukturell ähnlichen Brandstoffen die Bildung des Brandproduktes bei Anwesenheit von Sauerstoff nur unwesentlich von den Brandbedingungen abhängt und aufgrund des Chemismus wahrscheinlich ist.</p> • möglich <p>Die Zuordnung wird vergeben, wenn beim Brandstoff oder bei strukturell ähnlichen Brandstoffen die Bildung des Brandproduktes bei Anwesenheit von Sauerstoff erheblich von den Brandbedingungen beinflusst wird.</p> • vor allem bei unvollständiger Verbrennung <p>Die Zuordnung wird vergeben, wenn das Brandprodukt vor allem bei unvollständiger Verbrennung des Brandstoffes oder von strukturell ähnlichen Brandstoffen gebildet wird (z.B. bei Raumbränden und Pyrolysen).</p>

Forts. Tab. 5.15: Erläuterung einzelner Datenfelder des Formulars "Standardsätze".

Attribut	Bemerkung
Relevanz	<p>Die Relevanz eines Brandproduktes, die durch die entstehende Menge und die Toxizität eines Produktes bestimmt ist, wird durch fünf Abstufungen gekennzeichnet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam Die Zuordnung wird vergeben, wenn der Stoff "mit Sicherheit" gebildet wird und einen hohen d.h. mit Kohlenmonoxid vergleichbaren Beitrag zur Toxizität der Brandgase liefert. • eventuell für akute Toxizität bedeutsam Die Zuordnung wird vergeben, wenn erheblich von den Brandbedingungen abhängt, ob der Stoff einen mit Kohlenmonoxid vergleichbaren Beitrag zur Toxizität der Brandgase leisten kann. Diese Beurteilung wird auch für Kohlendioxid vergeben. • wahrscheinlich nicht für akute Toxizität bedeutsam Die Zuordnung wird vergeben, wenn die Bildung des Stoffes "möglich" oder "wahrscheinlich" ist, aber im Vergleich zu Kohlenmonoxid keine akut toxisch relevante Wirkung zu erwarten ist. • eventuell für toxische Langzeitwirkung bedeutsam Die Zuordnung wird vergeben, wenn die Bildung des Stoffes "möglich" oder "wahrscheinlich" ist und für den Stoff eine sich erst nach längerer Zeit zeigende toxische Wirkung bekannt ist. • unbekannt Die Zuordnung erfolgt für einen Stoff für den keine Einschätzung hinsichtlich der Toxizität möglich ist (wird oft vergeben, wenn als Stoff eine Stoffgruppenbezeichnung genannt wird).
Bemerkung	Mit Hilfe des Bemerkungsfeldes kann die Brandproduktbildung individuell für jedes Brandprodukt ggf. genauerer erläutert werden (z.B. Hinweise zum Einfluß der Brandbedingungen).
Quellen	Literaturstellen, deren in der Detailebene abgelegte Brandversuche die Basis für die Bewertung bilden.
Regeln	Regeln, die zur Bewertung herangezogen wurden.

Wie aus Tab. 5.15 ersichtlich, können Aussagen zum Einfluß der Brandbedingungen auf die Brandproduktbildung über eine Kennzeichnung der Bildungswahrscheinlichkeit und über Einträge in das Bemerkungsfeld erfolgen. Während bei der Bildungswahrscheinlichkeit insbesondere die Bedeutung eines Brandproduktes für Schwelbrandbedingungen hervorgehoben werden kann ("vor allem bei unvollständiger Verbrennung"), können im Bemerkungsfeld grundsätzlich Abhängigkeiten jeder Art festgehalten werden (freies Textfeld). Aufgrund des komplexen Charakters von realen Bränden beschränken sich die Bemerkungen jedoch auf vorhandene, in der Praxis verwertbare Informationen (z.B. Einfluß der Ventilation).

Zur Ableitung allgemeingültiger Zuordnungen wurden Daten aus der Detailebene ausgewertet. Hierzu wurde der Quotient

$$\text{ToxI} := \text{Schadgasmassenausbeute Brandprodukt [mg/g]} / \text{Einsatztoleranzwert [mg/m}^3\text{]}$$

mit Schadgasmassenausbeute := Masse Brandprodukt [mg] / Masse Brandstoff [g]

gebildet (ToxI – Toxizitätsindex). Der Quotient hat die Dimension m^3/g Brandstoff und gibt die theoretisch mögliche Zahl von m^3 -Volumeneinheiten an, die pro g Brandstoff gebildet werden und die das Brandprodukt in der Konzentration des Einsatztoleranzwertes (ETW) enthalten. Diese Größe läßt zwar keinerlei Rückschlüsse über die absolute Toxizität eines Brandgases zu, jedoch ist eine relative Einschätzung des Toxizitätspotentials möglich. Als Bezugsgröße wurde der speziell für Einsatzmaßnahmen der Feuerwehr festgelegte und in Entwurfsform vorliegende ETW gewählt. Der in den thematischen Zusammenhang passende und für Notfallplanungen im Störfall als Konzentrationsleitwert empfohlene ERPG2-Wert kommt zwar grundsätzlich ebenfalls als Bezugsgröße in Frage, fehlt jedoch bislang für zwei der häufigsten Brandgase, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid (vgl. Kap. 5.1, Kap. 7). In Abbildung 5.10 ist die Größe ToxI für einige Brandprodukte sowie für verschiedene Brandstoffe und Versuchsbedingungen dargestellt.

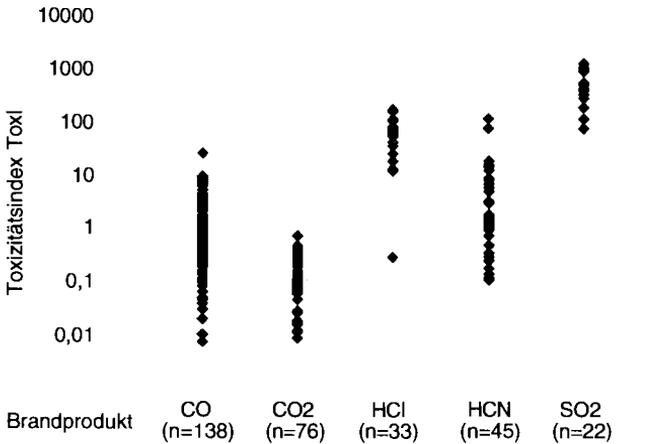


Abb. 5.10: ToxI für einzelne Brandprodukte (n ist die Zahl der berücksichtigten Meßdaten).

Im einzelnen ergeben sich hieraus folgende Schlußfolgerungen:

- Kohlenmonoxid

Da bekannt ist, daß in den meisten Fällen Kohlenmonoxid das toxische Potential der Brandgase bestimmt, bietet es sich an, zur qualitativen Toxizitätseinschätzung Kohlenmonoxid als Bezugssubstanz zu verwenden. Kohlenmonoxid wird "mit Sicherheit" gebildet und tritt zumindest in unmittelbarer Nähe der Brandstelle "wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam" auf. Die Werte für ToxI schwanken, beeinflusst durch Brandstoff und Brandbedingungen, zwischen 0,01 und 30 m³/g.

- Kohlendioxid

Die Werte für ToxI erreichen maximal 0,8 m³/g. Kohlendioxid wird zwar bei Verbrennungsprozessen mit Sicherheit in großen Mengen gebildet, ist aber bezüglich seiner Beteiligung an der gesamten Brandgastoxizität weniger bedeutend als Kohlenmonoxid. Kohlendioxid wird bei Bränden mit Sauerstoffbeteiligung "mit Sicherheit" in großen Mengen gebildet und ist nur "eventuell für akute Toxizität bedeutsam" in den Brandgasen vorhanden.

- Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff, Fluorwasserstoff

Die Werte für ToxI liegen bei Chlorwasserstoff zwischen 0,3 und 193 m³/g. Die Beurteilung hinsichtlich des toxischen Potentials ist demnach genauso wie bei Kohlenmonoxid vorzunehmen ("wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam"). Bromwasserstoff und Fluorwasserstoff wurden in gleicher Weise bewertet.

- Cyanwasserstoff

Die Werte für ToxI liegen zwischen 0,1 und 128 m³/g. Die toxische Bedeutung ist, da die Cyanwasserstoffbildung erheblich von den Brandbedingungen abhängt, gegenüber Kohlenmonoxid leicht abgeschwächt. Im allgemeinen wird daher hinsichtlich der Bildung die Zuordnung "möglich" getroffen, aufgrund der starken Abhängigkeit von den Brandbedingungen aber nur die Relevanzzuordnung "eventuell für akute Toxizität bedeutsam" vorgenommen. Der starken Abhängigkeit von den Brandbedingungen wird durch die Bemerkung "gebildete Mengen erhöhen sich bei Sauerstoffmangel" Rechnung getragen.

- Schwefeldioxid

Die Werte für ToxI liegen zwischen 85 und 1400 m³/g. Die Einschätzung des toxischen Potentials ist demnach mindestens genauso wie bei Kohlenmonoxid vorzunehmen, d.h. "wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam".

Zusätzlich gingen chemische Kriterien in die Bewertung ein. So sind z.B. reduktive Prozesse bei einem Brand unter Sauerstoffbeteiligung äußerst unwahrscheinlich und damit die Bildung

von Cyanwasserstoff bei Verbindungen, die Stickstoff schon in teiloxydierter Form enthalten (NO- bzw. NO₂-Gruppen), kaum zu erwarten.

Ausgehend von der chemischen Struktur der Stoffe wurden mit Hilfe der erläuterten Kriterien die in Tabelle 5.16 bis 5.19 genannten Zuordnungen bezüglich der Bildung und der Relevanz von Brandprodukten getroffen. Die in den Tabellen aufgeführten Standardsätze wurden den Brandstoffen, abhängig von Molekülstruktur und -zusammensetzung, aufgrund des gesicherten Sachverhaltes automatisch zugeordnet, unabhängig davon, ob in jedem Fall entsprechende experimentelle Daten vorlagen. Dabei wurden bisher nur die Grundbestandteile eines Brandstoffes berücksichtigt, nicht jedoch zugesetzte Stoffe wie z.B. Füllstoffe und Additive, die in Art und zugesetzter Menge variieren können. Die unterschiedlichen Heteroatomgehalte verschiedener Substanzen wurden bisher ebenfalls unberücksichtigt gelassen. Nur in Einzelfällen wurde von der schematischen Zuordnung entsprechend den Tabellen 5.16 bis 5.19 abgewichen.

Tab. 5.16: Standardsatzbewertungen für kohlenstoffhaltige Brandstoffe.

Brandprodukt	Bildung	Relevanz	Bemerkung
CO	mit Sicherheit	wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam	gebildete Mengen erhöhen sich bei Sauerstoffmangel
CO ₂	mit Sicherheit	eventuell für akute Toxizität bedeutsam	

Tab. 5.17: Standardsatzbewertungen für halogenhaltige Brandstoffe. Die Brandprodukte sind von der Art der Halogene im Brandstoff abhängig.

Brandprodukt	Bildung	Relevanz	Bemerkung
HCl, HBr, HF	mit Sicherheit	wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam	
PCDD/F, PBDD/F	möglich	eventuell für toxische Langzeitwirkung bedeutsam	im Brandrückstand und an Rußmatrix gebunden

Tab. 5.18: Standardsatzbewertungen für stickstoffhaltige Brandstoffe.

Brandprodukt	Bildung	Relevanz	Bemerkung	Bedingung
HCN	möglich	eventuell für akute Toxizität bedeutsam	gebildete Mengen erhöhen sich bei Sauerstoffmangel	
NO _x	wahrscheinlich	wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam		NO _x -Gruppe im Brandstoff
NO _x	möglich	eventuell für akute Toxizität bedeutsam	v.a. bei hohen Temperaturen	keine NO _x -Gruppe im Brandstoff
NH ₃	v.a. bei unvollständiger Verbrennung	unbekannt	unterhalb der Geruchsschwelle ohne Bedeutung	keine NO _x -Gruppe im Brandstoff

Tab. 5.19: Standardsatzbewertung für schwefelhaltige Brandstoffe.

Brandprodukt	Bildung	Relevanz	Bemerkung
SO ₂	wahrscheinlich	wahrscheinlich für akute Toxizität bedeutsam	

Bei Brandversuchen oder Ereignisbränden wurden teilweise weitere Brandprodukte nachgewiesen. Niedermolekulare bzw. typische Brandprodukte wurden den jeweiligen Brandstoffen nach einer Plausibilitätsprüfung direkt in Form von Standardsätzen zugeordnet. Höhermolekulare organische Brandprodukte wurden dagegen zunächst, wenn möglich, zu Gruppen zusammengefaßt, wie z.B. stickstoffhaltige Aromaten. Im Anschluß daran wurde mit Hilfe der Stoffgruppenbezeichnung ein Standardsatz gebildet. Da die toxikologische Einschätzung solcher Gruppen schwierig ist, wurde ihnen in der Regel die Relevanz "unbekannt" zugeordnet. Die Datenbasis war für Brandprodukte, die nicht in den Tabellen 5.16 bis 5.19 enthaltenen sind, jedoch zu gering bzw. nicht eindeutig genug, um einen Standardsatz auf andere Stoffe zu verallgemeinern.

5.6 Anwendungen und Handelsnamen

Die Nutzung der in der Datenbank abgelegten brandstoffbezogenen Daten für Problemstellungen der Praxis setzt voraus, daß der Anwender die am Brand beteiligten Stoffe, entweder mit chemischer Bezeichnung oder in Form der CAS-Nummer, kennt. In vielen Fällen können die an einem Brand beteiligten Brandstoffe jedoch nicht oder nicht sofort als bestimmte chemische Verbindungen identifiziert werden. Bei einem Lagerbrand ist der Feuerwehr beispielsweise zunächst nur bekannt, daß ein Lager DSD-Abfälle (DSD – Duales System Deutschland) oder Abwasserrohre enthält, Informationen zu den wesentlichen Bestandteilen des Abfalls bzw. zu den Materialien der Abwasserrohre stehen dagegen meist erst zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung (z.B. nach Einsichtnahme in Lagerlisten). Bei der Brandbekämpfung müssen jedoch mit dem Eintreffen der Ersteinsatzkräfte erste einsatztaktische Entscheidungen sowie evt. Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung getroffen werden. Um die Anwendbarkeit der Datenbank in dieser Hinsicht zu erweitern, wurde damit begonnen, Verbindungen zwischen Anwendungen wie z.B. Abwasserrohren und den möglichen stofflichen Bestandteilen einer Anwendung aufzubauen. Abwasserrohre können z.B. aus Polyvinylchlorid bestehen.

Ein ähnlich gelagertes Problem besteht darin, daß die am Brand beteiligten Stoffe der Einsatzleitung evt. nur in Form des Handelsnamens bekannt sind. Der Vorgehensweise für Anwendungen entsprechend wurden, zunächst exemplarisch für den Bereich Kunststoffe, Verknüpfungen zwischen Handelsnamen und den zugrundeliegenden chemischen Verbindungen hergestellt. Beispielsweise läßt sich dem Handelsnamen "Teflon TFE" das Polymer Polytetrafluorethylen (PTFE) zuordnen.

Die Verknüpfungen von Anwendungen bzw. Handelsnamen zu Stoffen sollen dem Datenbanknutzer ermöglichen, zunächst nach möglichen stofflichen Bestandteilen einer Anwendung bzw. eines Handelsnamens zu recherchieren, um anschließend für die identifizierten Stoffe Brandproduktinformationen abrufen zu können. Obwohl die Machbarkeit und eine erfolgsversprechende Realisierung eines solchen Datenbankzugriffes insbesondere für den Bereich Anwendungen nicht ohne weiteres feststand, wurde die Datenbank um die Formulare "Anwendungen" und "Handelsnamen" erweitert, und es wurden zunächst exemplarisch für Kunststoffe Verknüpfungen hergestellt.

Das Formular "Anwendungen" (Abb. 5.11) enthält zunächst die Bezeichnung einer bestimmten Anwendung, die über ein Bemerkungsfeld weiter erläutert werden kann. Darunter schließen sich Datenfelder für einen oder mehrere Datensätze zu den verschiedenen möglichen stofflichen Bestandteilen der Anwendung an. Ein Datensatz besteht dabei aus der Kurzbezeichnung eines Stoffes und, soweit vorhanden, aus quantitativen Angaben zum Mengenanteil des Stoffes in der Anwendung (Zahlenwerte für den minimalen und maximalen

Anteil mit Einheit) und ggf. einer Bemerkung. Da die Stoffkurzbezeichnung in der allgemeinen Stoffliste enthalten sein muß, stellt diese die Verbindung zu den übrigen Formularen und ggf. zu verfügbaren Brandproduktaten dar. Datenbankintern ist ein Satz von Verknüpfungen durch einen automatisch vergebenen fortlaufenden Zähler identifiziert.

eingesetzte Stoffe	von	bis	Einheit	Bemerkung
Polyamid				
PE				
PVC				
Polyurethan				
PTFE				
FluorelaVHC				
Chloropren-K				

Datensatz 30 von 235

Abb. 5.11: Formular "Anwendungen".

Im Formular "Handelsnamen" (Abb. 5.12) findet sich zum einen der Handelsname, der ggf. durch Angaben im Bemerkungsfeld weiter erläutert ist, und der Name des Herstellers des jeweiligen Handelsprodukts. Die Herstellernamen sind dabei einer hinterlegten Liste entnommen. Bei Anklicken des Pfeils rechts neben dem Herstellernamen werden die Adresse und der Firmensitz des Herstellers angezeigt, um ggf. über eine Kontaktaufnahme mit dem Hersteller die erforderlichen Stoffinformationen direkt zu erhalten. Einem Handelsnamen sind schließlich ein oder mehrere Datensätze zu den im Produkt enthaltenen chemischen Stoffen zugeordnet. Ein Datensatz ist dabei analog zu einem Stoffdatensatz des Formulars "Anwendungen" aufgebaut. Die eindeutige datenbankinterne Identifikation eines Satzes von Verknüpfungen wird ebenfalls durch einen automatisch vergebenen fortlaufenden Zähler gewährleistet.

Die bisher in die Datenbank aufgenommenen Informationen zu Anwendungen und Handelsnamen stammen zum überwiegenden Teil aus der Literatur zu Brandprodukten oder zu Kunststoffen und Pestiziden.

Handelsnamen und Stoffe

Handelsname: Dn-Nylon Hersteller: Du Pont

Bemerkung: Faser

eingesetzte Stoffe	Konzentration		Einheit	Bemerkung
	von	bis		
Polyamid				

Datensatz 127 von 698

Abb. 5.12: Formular "Handelsnamen".

5.7 Literatur und Adressen

Die in der Datenbank abgelegten Daten beruhen bisher im wesentlichen auf Angaben aus der Literatur, in Ausnahmefällen gingen ebenfalls Informationen aus unveröffentlichten Berichten und persönlichen Mitteilungen ein. Zur Sammlung und Verwaltung von Literatur und Adressen mit Bezug zum Thema Brandprodukte wurden in der Datenbank als weitere Funktionalitäten deshalb spezielle Formulare erstellt.

Das Formular "Literatur" (Abb. 5.13) enthält Literaturnachweise auf Quellen wie z.B. Bücher, Zeitschriften, Kongreßberichte, technische Berichte, Forschungsberichte, Dissertationen, Richtlinien und Normen, die das Thema Brandprodukte behandeln. Die Literaturliste enthält sowohl die in der Datenbank ausgewerteten Literaturstellen (vgl. Formulare "Brandversuch" und "Ereignisbrand") als auch die noch nicht ausgewerteten Literaturstellen.

Jeder Literaturnachweis ist datenbankintern eindeutig durch eine Kurzbezeichnung gekennzeichnet. Die Kurzbezeichnung setzt sich in der Regel aus den ersten vier Buchstaben des Nachnamens des erstgenannten Autors in Großbuchstaben und den letzten beiden Ziffern des Erscheinungsjahres zusammen. Wird in anderen Formularen auf eine bestimmte Literaturstelle verwiesen, so erfolgt der Verweis jeweils über die Kurzbezeichnung.

Ein Literaturnachweis besteht aus den Namen der Autoren, dem Titel und der Herkunft einer Literaturstelle. Darüber hinaus werden zu einem Literaturnachweis die in der Literaturstelle behandelten Brandstoffe aufgelistet. Die Stoffe sind dabei durch die jeweiligen Kurzbezeichnungen gegeben. Bei ausgewerteten Literaturstellen werden als Brandstoffe alle Stoffe aufgelistet, für die mindestens ein Formular "Brandversuch" bzw. "Ereignisbrand" vorliegt, bei noch nicht bearbeiteten Literaturstellen werden die nach einer oberflächlichen Durchsicht gefundenen Brandstoffe angegeben.

Weitere Details wie z.B. Sonderregelungen zur Festlegung der Kurzbezeichnung und Erläuterungen zur einheitlichen Angabe der Herkunft sind in der Dokumentation der Datenbank (vgl. Kap. 5.8) festgelegt.

The screenshot shows a window titled "Literatur / Quellen". It contains the following fields:

- Kurzbez.:** MIKK94
- Autoren:** Mikkola, E., Kallonen, R.
- Titel:** Combustion of Chemical Substances and the Impact on the Environment of the Fire Products. Cone Calorimeter Experiments
- Herkunft:** VTT Building Technology Fire Technology, Espoo, Finland, 1994, p. 35

On the right side, there is a list titled "Bisherige Brandstoffe:" with the following items:

- DiBenzan
- Dimethoat
- MCPA
- MParathion
- NH4NO3
- Nylon-6,6
- Polypropylen
- Polystyrol
- PVC
- *

At the bottom of the window, the status bar displays "Datensatz: 484 von 755".

Abb. 5.13: Formular "Literatur".

Adressen von Personen und Institutionen, die im Zusammenhang mit dem Thema Brandprodukte von Bedeutung sind (z.B. Institutionen, die Brandversuche durchgeführt haben), können in der Datenbank über das Formular "Adressen" (Abb. 5.14) eingesehen werden.

Neben dem Namen und der Postanschrift ist, wenn möglich, auch die Telefon- und Telefaxnummer sowie die E-Mail-Adresse angegeben. Dem Feld AG kann entnommen werden, ob eine Person Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Brandgase ist, die sich aus Vertretern des Landesumweltamtes und der Feuerwehren NRW zusammensetzt. Zwei weitere Ankreuzfelder kennzeichnen, ob mögliche Kontakte in deutscher oder englischer Sprache erfolgen sollten.

The screenshot shows a software window titled "Adressen" with a form for entering address data. The form includes the following fields and values:

- Title:** (empty)
- Vorname:** (empty)
- Nachname:** (empty)
- AG:**
- dt:**
- eng:**
- Abk.:** UMSICHT
- Institution:** Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik e.V.
- Telefon:** (02 08) 85 98 - 0
- Fax:** -290
- e-mail:** (empty)
- Straße:** Osterfelder Str.3
- Land:** D
- PLZ:** 46047
- Ort:** Oberhausen

At the bottom of the window, there is a status bar showing "Datensatz: 18" and "von 153".

Abb. 5.14: Formular "Adressen".

5.8 Qualitätskriterien

Für eine gute Datenbank muß die Herkunft und die Herleitung der Daten überprüfbar bzw. nachvollziehbar sein. Für die Datenbank PHLOGISTON entstammen die Informationen zu Brandprodukten aus der veröffentlichten Literatur, einige wenige Daten resultieren aus der direkten Kontaktaufnahme zu wissenschaftlichen Einrichtungen. In die Datenbank wurden grundsätzlich sowohl qualitative als auch quantitative Daten aufgenommen. Die erfaßten Daten müssen auf experimentellen oder meßtechnischen Untersuchungen beruhen. In Ausnahmefällen wurden Berechnungsergebnisse eines mathematischen Modells erfaßt. In die Datenbank gehen jedoch keine nicht nachvollziehbaren und evtl. auf allgemeinen theoretischen Überlegungen beruhenden Angaben zu Brandprodukten ein, da die Kriterien und Vorgehensweisen einzelner Autoren unterschiedlich sein können. Allgemeine theoretische Überlegungen fließen allerdings in einheitlicher und nachvollziehbarer Weise in die Ableitung der Standardsätze ein (vgl. Kap. 5.5). Die Daten müssen im Lichte einer wissenschaftlichen Beurteilung plausibel erscheinen und einen Informationsgewinn für die Datenbank darstellen.

Der Wert und Nutzen einer Datenbank hängt darüber hinaus wesentlich davon ab, ob die vorgehaltenen Informationen strukturiert und einheitlich abgelegt sind. Der Anwender muß sicher sein können, eine bestimmte Information auch an einer bestimmten Stelle des Daten-

banksystems zu finden, sofern diese Information im System abgelegt ist. Obwohl mit der Festlegung der Datenstruktur und Definition von Datenfeldern wesentliche Vorgaben getroffen sind, müssen verbleibende Spielräume durch weitere Festlegungen ausgeschlossen werden. Weitere Festlegungen sind ebenfalls erforderlich, um die Ablage der Daten nachvollziehbar und möglichst einheitlich zu gestalten.

In der Datenbank PHLOGISTON wurden wenn möglich Pflichtdatenfelder eingerichtet, für die ein Eintrag unbedingt vorhanden sein muß. In der Detailebene konnten jedoch nur wenige derartige Pflichtdatenfelder festgelegt werden, da es z.B. bei Brandversuchen wegen der Vielzahl der Verfahren nur wenige Parameter gibt, die bei allen Versuchen angegeben werden können.

Die in der Datenbank PHLOGISTON vorgesehen Datenfelder wurden bereits bei der Einführung der einzelnen Formulare vorgestellt, teilweise kurz erläutert und mögliche Einträge genannt. Diese Hinweise für einzelne Datenfelder sind in ausführlicher Form ebenfalls in der Datenbank abgelegt und können von Bearbeitern und Nutzern der Datenbank über das Formular "Dokumentation" direkt eingesehen werden. Ferner sind in den Tabellen für hinterlegte Listen, z.B. für die Versuchsapparaturen, Bemerkungsfelder vorgesehen, in denen Hinweise zu den einzelnen Auswahlobjekten abgelegt sind. Speziell für die Dateneingabe wurde darüber hinaus eine Anleitung zur Ablage von Literaturdaten über die verschiedenen Formulare der Datenbank erstellt mit dem Ziel einer Schematisierung der Bearbeitung einer Literaturstelle.

Auch bei umfangreicher Dokumentation aller Datenfelder der Datenbank und trotz Hinweisen und Hilfestellung für die Dateneingabe können fehlerhafte Einträge nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Während die Korrektheit von eingegebenen absoluten Zahlenwerten und von Einträgen in Bemerkungsfeldern nachträglich nur in sehr begrenztem Umfang überprüft werden kann, läßt sich die Einhaltung einiger formaler Kriterien einfacher kontrollieren. Um die Daten zum einen auf Plausibilität und zum anderen auf Abweichungen von formalen Kriterien zu überprüfen, wurden deshalb verschiedene Kontrollabfragen formuliert. Folgende Sachverhalte erschließen sich beispielsweise einer nachträglichen Kontrolle:

- Brandproduktdaten, die durch den Typ der Meßgröße "A" (Ausbeute bzw. Schadgasmassenausbeute) gekennzeichnet sind, sollten in der Regel in einer Einheit Masse pro Masse angegeben sein. Die Abfrage kann auf eine falsche Typ- oder Einheitenzuordnung hinweisen. Abweichungen vom Schema sind jedoch in einzelnen Fällen möglich.
- Datensätze zu Brandversuchparametern enthalten stets mindestens einen Eintrag zur quantitativen Größe eines Parameters. Die Abfrage weist auf unvollständige Datensätze hin.
- Brandprodukt Datensätze mit den Typen der Meßgröße "A" (Ausbeute), "K" (Konzentration) oder "B" (Berechnung) enthalten stets mindestens einen Eintrag zur Quantität der Meßgröße. Die Abfrage weist auf unvollständige Datensätze oder eine falsche Typzuordnung hin.

Zur Qualitätssicherung von Datenbankeinträgen, die einen erheblichen Anteil an fachlicher Bewertung beinhalten (in erster Linie die abgeleiteten Regeln und Standardsätze), wurde darüber hinaus das Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt (IdF) als fachlich kompetente Einrichtung hinzugezogen und im Rahmen des Projektes mit der Überprüfung der Regeln und Standardsätze beauftragt.

5.9 Einbindung der Daten(bank) in IGS

Die von UMSICHT erarbeiteten projektbezogenen Daten wurden in einer ACCESS®-Datenbank mit dem Arbeitstitel PHLOGISTON erfaßt, die dem LUA-NRW zur Verfügung steht. Die Strukturierung der Daten erfolgte in Absprache mit dem LUA-FIZ (Dez. 425).

Bei einer Übernahme der Daten in IGS kann eine Zuordnung zu den dort erfaßten Gefahrstoffen über die CAS-Nummer der Stoffe erfolgen, die in beiden Datenbanken als Stoffidentifikationsmerkmal vorhanden ist. Da in PHLOGISTON aber auch technische Produkte und Gebrauchsgüter wie z.B. Autoreifen als Stoffe definiert sind und diese keine CAS-Nummer haben, muß die Stoffliste im IGS entsprechend ergänzt werden. Nach dem Import und der Angleichung der 48 PHLOGISTON-Tabellen müßten auch die 80 Abfragen, 60 Formulare und 43 Berichte mit der Software, die IGS-Fire zugrunde liegt, nachgebildet werden.

Vorstellbar wäre auch eine "lose" Anbindung an IGS-Fire, bei der PHLOGISTON als ACCESS®-Anwendung bestehen bliebe, aber aus IGS heraus aufzurufen wäre.

6 Auswertung der Datenbasis

6.1 Datenbankstatistik

Zum Ende des zweiten Projekts zum Thema Brandprodukte im Juni 1996 ist der im folgenden dargestellte Stand der Datenerhebung erreicht. In der Detailebene der Datenbank PHLOGISTON liegen

- zu 179 Stoffen Einträge zu Brandprodukten (überwiegend im Formular "Brandversuch" und
- zu 40 Stoffen Einträge zur toxikologischen Wirkung der Brandprodukte (Formular "Brandversuch") vor. Insgesamt sind in der Datenbank damit
- zu 187 Stoffen Einträge zu Brandprodukten und/oder deren toxikologischer Wirkung vorhanden.

Während etwa die Hälfte der Stoffe mit Datenbankeinträgen zu Brandprodukten oder zur Brandprodukttoxizität der Stoffkategorie Chemikalie zugeordnet sind (52 %), entfallen auf die anderen Stoffkategorien jeweils Anteile zwischen 5 und 17 % (vgl. Abb. 6.1).

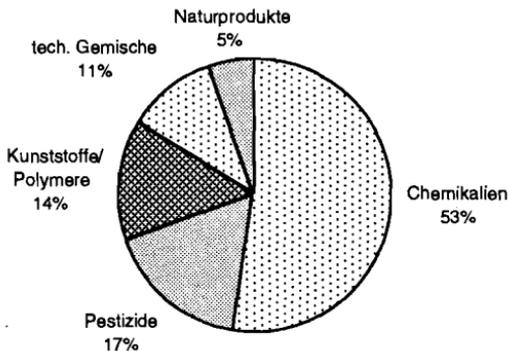


Abb. 6.1: Aufteilung der 187 Brandstoffe mit Brandprodukt- bzw. Toxikologiedatensätzen nach Stoffkategorien.

Über das Formular "Brandversuch" sind insgesamt 878 Brandversuche in der Datenbank abgelegt. Die Brandversuche wurden mit den unterschiedlichsten Versuchsanordnungen durchgeführt. Neben 19 Einträgen zu theoretischen Berechnungen, 18 Freibrandversuchen, fünf Versuchen in Großbrandversuchsanlagen und 52 Versuchen in Versuchsräumen liegen die meisten Daten zu Untersuchungen in diversen Kleinbrandversuchsständen oder Laborapparaturen vor. Die fünf Apparaturen mit der größten Zahl an Brandversuchen sind in Tab. 6.1 zusammengestellt, weitere zehn Apparaturen werden in gleicher Weise namentlich bei Brandversuchsdatensätzen festgehalten. Insgesamt 297 Brandversuche sind mit dem Sammelbegriff "Laborapparatur allgemein" gekennzeichnet, da entweder Eigenkonstruktionen als Versuchsanordnungen verwendet werden, die darüber hinaus keine weitere Bedeutung haben, oder nur wenige Untersuchungsergebnisse für diese Apparaturen vorliegen. Die im Formular "Brandversuch" enthaltenen Informationen sind 81 Literaturstellen entnommen.

Tab. 6.1: Wichtige Kleinbrandversuchsstände bzw. Laborapparaturen. Die Apparaturen sind im Glossar (Kap. 7) erläutert.

Name der Apparatur	DIN- Apparatur	VCI- Apparatur	NIST- Apparatur	UPITT- Apparatur	FMRC- Apparatur, 50kW
Zahl der Brandversuche	136	80	53	45	39

Zu jedem Brandstoff liegen in der Regel mehrere Brandprodukt- und/oder Toxikologiedatensätze vor, teilweise gibt es mehrere Einträge zu demselben Brandprodukt bzw. zu derselben toxikologischen Meßgröße. Die Anzahl der Brandprodukteinträge zu einem Brandstoff schwankt beispielsweise zwischen nur einem Datensatz für z.B. Methan und mehr als 300 Datensätzen für PVC. Eine Übersicht darüber, wieviele Brandprodukt datensätze zu einzelnen Brandstoffen vorliegen, gibt Abb. 6.2. Wie Abb. 6.2 zeigt, gibt es eine sehr unterschiedliche Untersuchungstiefe für einzelne Stoffe. Schwerpunkt mäßig werden solche Stoffe untersucht, die aufgrund der verarbeiteten Mengen als bedeutend oder hinsichtlich der Brandproduktbildung als besonders problematisch eingeschätzt werden. Zu einigen Naturprodukten liegen ebenfalls zahlreiche Datensätze vor, da sie vielfach als Referenzstoff bei Untersuchungen anderer Brandstoffe verwendet werden. Unter den elf Stoffen mit 100 bzw. mehr als 100 Brandprodukt datensätzen sind beispielsweise sechs Massenkunststoffe und zwei Naturprodukte (vgl. Tab. 6.2).

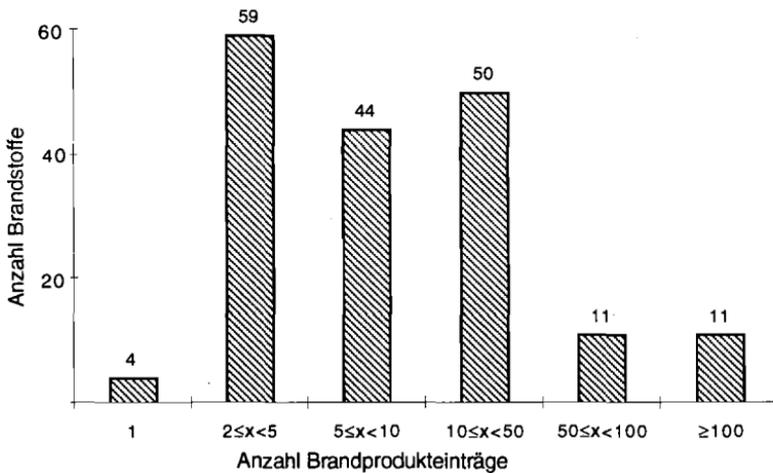


Abb. 6.2: Anzahl der Brandstoffe mit einer bestimmten Anzahl an Brandprodukteinträgen (insg. 4126 Einträge für 179 Stoffe).

Tab. 6.2: Brandstoffe mit mehr als 99 Brandprodukt Datensätzen.

Brandstoff	Stoffkategorie	Zahl d. Brandprodukt-datsätze
Polyvinylchlorid	Kunststoff/ Polymer	337
Holz	Naturprodukt	281
Polystyrol	Kunststoff/ Polymer	164
Polyethylen	Kunststoff/ Polymer	133
Polypropylen	Kunststoff/ Polymer	132
1,2-Dichlorbenzol	Chemikalie	124
Kerze	technisches Produkt	120
Polyurethan	Kunststoff/ Polymer	118
Schmieröl	technisches Produkt	107
MCPA	Pestizid	107
Wolle	Naturprodukt	100

Von den insgesamt 4126 Einträgen zu Brandprodukten bezieht sich die überwiegende Zahl (ca. 84 %) auf die Untersuchung des Brandrauches (Angaben zu Brandgasen, Kondensat oder Schwebstaub) und ca. 16 % der Einträge auf die Untersuchung der Brandrückstände. Daten-

sätze zur Kontamination des Löschwassers (sechs Einträge), des Bodens (drei Einträge) und der Pflanzen (ein Eintrag) sowie Analyseergebnisse zur Zusammensetzung des Schwebstaubes (60 Einträge) spielen bisher nur eine geringe Rolle. Unabhängig vom untersuchten Medium entfallen ca. 40 % der gesamten Brandprodukteinträge auf anorganische Stoffe. Insgesamt werden 450 unterschiedliche Stoffe als Brandprodukte genannt.

Die 514 Datensätze zur Brandprodukttoxizität liefern zu ca. 97 % Informationen zur toxikologischen Wirkung des Brandrauchs. Die übrigen Einträge betreffen, mit Ausnahme eines Eintrags zum Boden, Untersuchungen des Blutserums von Versuchstieren.

Die Einteilung der Brandstoffe in Kategorien nach Abb. 6.1 reicht noch nicht aus für eine Aussage bezüglich des vorhandenen Datenbestandes von Stoffen einer bestimmten Kategorie, vielmehr ist auch die Zahl der Brandprodukt- und Toxikologiedatensätze je Stoffkategorie zu berücksichtigen. Die meisten Brandprodukteinträge liegen für Kunststoffe/Polymere vor; die zweithöchste Zahl findet man für Chemikalien (Abb. 6.3, rechte Säule). Zum Vergleich ist in Abb. 6.3 ebenfalls die Zugehörigkeit der Brandstoffe zu den entsprechenden Kategorien dargestellt. Demnach liegen zu Kunststoffen und Naturprodukten im Mittel die zahlenmäßig umfangreichsten Untersuchungsergebnisse je Brandstoff vor.

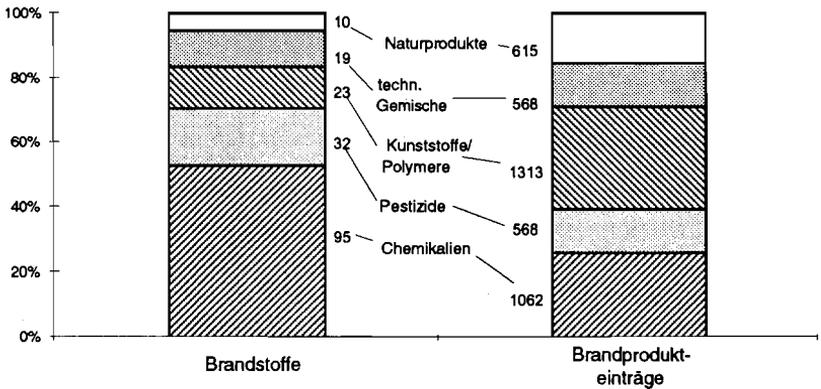


Abb. 6.3: Brandstoffe und Brandprodukteinträge zugeordnet zu Brandstoffkategorien (insg. 179 Stoffe bzw. 4126 Einträge).

Während die Kategoriezuordnung der Stoffe mit Brandproduktatensätzen weitgehend der für die Stoffe mit Brandprodukt- bzw. Toxikologiedatensätzen entspricht, ergibt sich für die Stoffe mit Toxikologiedatensätzen ein anderes Bild. Hier stellen die Kunststoffe die größte Anzahl an Stoffen mit Toxikologiedatensätzen, an zweiter Stelle folgen die Chemikalien. Für Kunststoffe liegt zugleich die größte Anzahl an Toxikologiedatensätzen vor, und die

Naturprodukte folgen an zweiter Stelle (vgl. Abb. 6.4). Für Kunststoffe und Naturprodukte liegen insgesamt im Mittel mit Abstand die meisten Toxikologiedatensätze je Brandstoff vor.

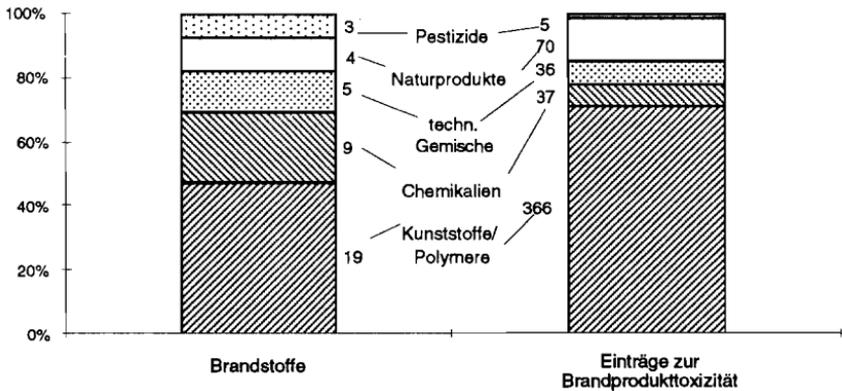


Abb. 6.4: Brandstoffe und Einträge zur Brandprodukttoxizität zugeordnet zu Brandstoffkategorien (insg. 40 Stoffe bzw. 514 Einträge).

Zu Ereignisbränden liegen in der Datenbank bislang 31 ausgefüllte Formulare vor. Darüber hinaus sind 65 Regeln zur Brandproduktbildung hinterlegt (Formular "Regeln").

Weiterhin liegen für 144 Stoffe insgesamt 785 standardisierte Angaben zu Brandprodukten (Standardsätze) vor. Da bei der Ableitung der Standardsätze nur Stoffe mit Einträgen zu Brandprodukten berücksichtigt wurden und zudem für einige Stoffe (Konstitutionsisomere und einige technische Produkte) keine Standardsätze erstellt wurden (siehe Kap. 5.5), ist die Anzahl der hierbei erfaßten Brandstoffe kleiner als die Gesamtzahl der Brandstoffe mit Datensätzen.

Zwischen Brandstoffen einerseits und Anwendungen bzw. technischen Produkten sowie Handelsnamen andererseits wurden Verknüpfungen hergestellt und in die Datenbank eingearbeitet (Formulare "Anwendungen" und "Handelsnamen"). Nach Absprache mit dem Auftraggeber wurde der Schwerpunkt zunächst auf die Produktgruppe Kunststoffe gelegt. Es wurden zu 236 Anwendungen und zu 698 Handelsnamen Verweise auf die darin enthaltenen Kunststoffe und auf den jeweiligen Hersteller (insg. 230 Hersteller) abgelegt.

In der Datenbank werden 744 Literaturstellen zum Thema Brandprodukte nachgewiesen, davon liegen 443 Literaturstellen entweder als Original oder als Kopie bei UMSICHT vor. Darüber hinaus sind in PHLOGISTON 146 Adressen von Personen bzw. Einrichtungen

abgelegt, die im Zusammenhang mit dem Thema Brandprodukte von Interesse sind (z.B. Einrichtungen, die Brandversuche durchgeführt haben).

6.2 Überprüfung der Regeln anhand des Datenbestandes

Die in Kapitel 5.4 erläuterten Regeln wurden aus der veröffentlichten Literatur, überwiegend aus Übersichtsartikeln, abgeleitet und mit dem Bestand an verfügbaren Meßdaten abgeglichen. Bei der Datenanalyse muß der sehr heterogene Charakter der Datenbasis berücksichtigt werden. Bei einer rein qualitativen Auswertung der Daten, der Frage, ob z.B. ein bestimmtes Brandprodukt bei der Verbrennung bzw. Zersetzung eines Brandstoffes nachgewiesen wurde oder nicht, wie auch bei einer quantitativen Auswertung mit Berücksichtigung der absolut gemessenen Werte sind vereinfachende Annahmen erforderlich. Aufgrund der oft fehlenden Informationen hinsichtlich der Nachweisgrenze und des Versuchsfehlers werden diese beiden Aspekte beispielsweise nicht berücksichtigt. Bei der qualitativen Auswertung werden außerdem z.B. die Randbedingungen eines Versuches und die verwendete Versuchsanlage vernachlässigt.

Die Datenbankeinträge zu Brandprodukten wurden analog den Themengebieten der Regeln analysiert. Beispielhaft sollen die Datensätze zu schwefelhaltigen Brandstoffen erläutert werden, wobei die beim Brandversuch entstehenden schwefelhaltigen Brandprodukte von besonderem Interesse sind (vgl. Tab. 10.1 im Anhang).

In der Datenbank sind zur Zeit für 15 unterschiedliche Brandstoffe insgesamt 94 Datensätze zu schwefelhaltigen Brandprodukten abgelegt. Die Brandstoffe sind in sieben Fällen den Stoffkategorien Naturprodukt oder technisches Gemisch zugeordnet (z.B. Holz, Rohöl, Reifen), darüber hinaus ist ein Stoff als Chemikalie (Polysulfon) und sind sieben Verbindungen als Pestizid gekennzeichnet (z.B. Dimethoat, Diazinon, Parathion). Zu einem weiteren schwefelhaltigen Brandstoff liegen Brandproduktdaten vor, jedoch keine zu schwefelhaltigen Brandprodukten (Pestizid Vernam). Bei der Datenanalyse hinsichtlich der Umsetzung des Elementes Schwefel bleiben diese Datensätze unberücksichtigt. Die Brandproduktdaten beruhen bei zwei Brandstoffen auf Messungen bei Ereignisbränden (Rohölbrand in Kuwait [ANON91], Reifenbrand in Ontario [LAUR92]), überwiegend jedoch auf Messungen bei Brandversuchen. Es handelt sich hierbei um Brandversuche mit unterschiedlichen Laborapparaturen sowie um Messungen in zwei Großbrandversuchsanlagen bzw. in einem Versuchsraum. Die Datensätze zum Brandstoff Holz beziehen sich auf schwefelhaltige Brandprodukte als Emission aus Kleinfuerstellen bzw. Kaminen und können nicht genau in das Schema Ereignisbrand/Brandversuch eingeordnet werden. Mit Ausnahme von drei Datensätzen, die eine Analyse des Brandrückstandes, des Kondensates bzw. des im Brandrauch enthaltenen Staubes beinhalten, beruhen alle übrigen betrachteten Datensätze auf einer Untersuchung der Brandgase.

Grundsätzlich können zu einer bestimmten Kombination von Brandstoff und Brandprodukt dann mehrere Datensätze vorliegen, wenn Meßdaten aus unterschiedlichen Quellen vorliegen oder beispielsweise unterschiedliche Apparaturen verwendet oder die Versuchsbedingungen variiert wurden. Bei der Auswertung ist diese unterschiedliche Untersuchungstiefe zu berücksichtigen. Die Datensätze zu schwefelhaltigen Brandprodukten resultieren für dreizehn von fünfzehn Brandstoffen aus jeweils einer Literaturstelle und beruhen jeweils auf Brandversuchen mit ein und derselben Versuchsanordnung bzw. ausschließlich auf Messungen bei Ereignisbränden. Den Datensätzen zu Methylparathion liegen Brandversuche mit zwei Versuchsapparaturen, denen von Dimethoat Brandversuche mit drei Versuchsanordnungen zugrunde, wobei die entsprechenden Meßdaten in drei bzw. vier Literaturstellen dokumentiert sind.

Die Untersuchungstiefe bezüglich eines bestimmten Brandstoffes hängt außerdem von der jeweiligen Zielsetzung einer Untersuchung ab, die sich in der verwendeten Meßtechnik oder auch in der Versuchsdurchführung niederschlagen kann. Bei Untersuchungen hinsichtlich des Mechanismus bzw. der Kinetik von Verbrennungsreaktionen sind beispielsweise Schweißbrandbedingungen von besonderem Interesse, und insbesondere organische Brandprodukte müssen detektiert werden können. Ist die Meßtechnik für eine Bestimmung von organischen Verbindungen geeignet, kann die Zahl der nachgewiesenen Brandprodukte schnell deutlich ansteigen. Während zu den Naturstoffen, den technischen Gemischen und der Chemikalie jeweils nur ein oder teilweise zwei unterschiedliche Brandprodukte in der Datenbank vorliegen (mit einer Ausnahme anorganische bzw. niedermolekulare Verbindungen), wurde bei Brandversuchen mit Pestiziden in der Regel eine größere Anzahl verschiedener Produkte nachgewiesen. Zu den Brandstoffen mit dokumentierten Untersuchungen aus mehreren unterschiedlichen Quellen, bei denen unterschiedliche Versuchsanordnungen verwendet wurden, liegt erwartungsgemäß die größte Anzahl verschiedener Produkte vor; für Dimethoat sind 17 und für Methylparathion 6 verschiedene Brandprodukte in der Datenbank abgelegt.

Für alle Brandstoffe wurde übereinstimmend SO_2 als das bei atmosphärischen Bedingungen stabilste Oxidationsprodukt des Schwefels nachgewiesen. Weitere anorganische bzw. niedermolekulare schwefelhaltige Brandprodukte sind in Tab. 6.3 genannt. Als organische Brandprodukte wurden insgesamt 14 verschiedene Verbindungen oder Summenparameter in der Datenbank abgelegt, wobei diese Stoffe meist bei jeweils nur einem, teilweise auch bei zwei Brandstoffen nachgewiesen wurden.

Tab. 6.3: Anorganische bzw. niedermolekulare schwefelhaltige Brandprodukte. Für insgesamt 15 Brandstoffe liegen Daten zu schwefelhaltigen Brandprodukten vor.

Brandprodukt	SO_2	H_2S	SO_3	S (im Brand- gas, element. /im Staub)	COS	CS_2
Zahl d. Brandstoffe mit pos. Nachweis	15	3	2	1 / 1	2	2

Für das Brandprodukt SO_2 liegen insgesamt sechs Datensatzgruppen vor, bei denen ein Brandstoff in einer Versuchsapparatur bei verschiedenen Brandbedingungen untersucht wurde. In vier Fällen stützen die Versuchsergebnisse die theoretisch zu erwartende Abhängigkeit, daß aus dem Brennstoffschwefel um so mehr SO_2 gebildet wird, je vollständiger die Verbrennung abläuft. In zwei Versuchsreihen mit der DIN-Apparatur zeigte sich eine Zunahme der entstandenen SO_2 -Menge mit steigender Versuchstemperatur, in Versuchsreihen mit dem Kegelkalorimeter nahm die SO_2 -Menge mit steigender eingebrachter Strahlungswärme und steigendem Sauerstoffangebot zu. Die Ergebnisse zweier weiterer Versuchsreihen, eine mit der DIN-Apparatur und eine mit der VCI-Apparatur, wichen jedoch von diesem Schema ab (mögliche Ursachen: Probleme mit hohen SO_2 -Werten bei Untersuchung in der DIN-Apparatur, Einfluß der VCI-Apparatur, Nachweismethoden). Während die Daten kein einheitliches Bild zur SO_2 -Bildung in Abhängigkeit von den Brandbedingungen ergeben, ist für die Pestizide insgesamt ein relativ hoher Umsetzungsgrad des Brandstoffschwefels zu SO_2 erkennbar. Der Quotient f_A aus der gemessenen Schadgasmassenausbeute und der bei vollständiger Verbrennung des Brandstoffschwefels zu SO_2 theoretisch möglichen Schadgasmassenausbeute, liegt daher im Mittel bei 0,6 (Standardabweichung 0,3) bzw. bei Vernachlässigung der Versuchsergebnisse aus den beiden zuletzt angesprochenen Versuchsreihen bei 0,8 (Standardabweichung 0,2). Für hohe Versuchstemperaturen und Strahlungswärmen sowie bei gutem Sauerstoffangebot liegt der Faktor f_A in Laborapparaturen teilweise nahe 1, d.h. die Umsetzung zu SO_2 erfolgt nahezu vollständig. Brandversuche mit ca. 50 kg eines Pestizids in handelsüblicher Verpackung in der Großbrandversuchsanlage INERIS ergaben einen Wert von 0,3. Für die übrigen schwefelhaltigen Brandstoffe konnte der Quotient f_A aufgrund fehlender Angaben zum Schwefelanteil der Brandstoffe nur abgeschätzt werden. Die Versuchsergebnisse deuten darauf hin, daß bei Bränden unter Beteiligung von schwefelhaltigen Brandstoffen mit einer erheblichen Umsetzung des Brandstoffschwefels zu SO_2 gerechnet werden muß.

Mit Hilfe des Toxizitätsindex ToxI , dem Quotienten aus der tatsächlich gemessenen Schadgasmassenausbeute und dem ETW, kann die relative Bedeutung einzelner Brandgase beurteilt werden. Zur Orientierung kann bei einem Vergleich der Faktor ToxI für CO , dem in der Regel hinsichtlich der entstehenden Menge und der Toxizität bedeutendsten Brandgas, hinzugezogen werden (vgl. Kap. 5.5). Mit Werten zwischen 85 und 1400 m^3/g für schwefelhaltige Pestizide liegt dieser Quotient für SO_2 in allen Fällen oberhalb des Wertes ToxI von CO (Werte bis 30 m^3/g für CO). Nur schwefelarme Brandstoffe wie z.B. Holz besitzen niedrigere Werte (Bsp. Holz: 0,6 m^3/g). Bei Bränden unter maßgeblicher Beteiligung von schwefelhaltigen Brandstoffen ist daher von einem erheblichen Beitrag des SO_2 zur Gesamtoxizität der Brandgase auszugehen.

Für H_2S und SO_3 kann aufgrund jeweils eines Datensatzpaares eine Zunahme der analysierten Brandproduktmengen mit abnehmendem Sauerstoffangebot bzw. für SO_3 mit abnehmender Temperatur im Brandversuch abgeleitet werden. Die bevorzugte Entstehung dieser beiden Brandprodukte bei unvollständiger Verbrennung ist auch theoretisch nachvollziehbar. Der Quotient f_A liegt für H_2S und SO_3 zwischen 0,004 und 0,3 bzw. zwischen 0,01 und 0,09. In

Anbetracht der geringen Datenbasis sind diese Werte jedoch nicht geeignet, daraus Schlußfolgerungen für andere schwefelhaltige Brandstoffe zu ziehen.

Die Daten zu schwefelhaltigen organischen Brandprodukten sind häufig qualitativer Art. In Versuchsreihen mit der DIN-Apparatur konnte jedoch eine Abhängigkeit der Brandproduktmenge von der Versuchstemperatur ermittelt werden. Während bei mittleren Temperaturen (700°C) die maximalen Werte ermittelt wurden, konnten bei Temperaturen von 900°C keine bzw. nur geringe Mengen organischer Brandprodukte nachgewiesen werden.

Während die Bildung der anorganischen bzw. niedermolekularen schwefelhaltigen Brandprodukte in keinem erkennbaren Zusammenhang zur Vorstruktur, d.h. der Art der schwefelhaltigen funktionellen Gruppe des Brandstoffes steht, ist für die organischen Brandprodukte ein solcher Zusammenhang teilweise bei niedrigen und mittleren Versuchstemperaturen erkennbar. Bei zwei Pestiziden wurde darüber hinaus der unzersetzte Brandstoff in den Brandgasen nachgewiesen.

Die Ausführungen zeigen, daß der Datenbestand zu schwefelhaltigen Brandprodukten nicht im Widerspruch zu den Regeln steht, insbesondere nicht zu den Regeln der Themengebiete Pestizide und schwefelhaltige Brandstoffe. Eine Erweiterung der Regeln anhand des Datenbestandes wurde nachträglich nur für das Brandprodukt SO₂ vorgenommen. In Anbetracht der eher dünnen Datengrundlage wurden für die übrigen Brandprodukte keine neuen Regeln erstellt bzw. die vorhandenen aufgrund fehlender Widersprüche nicht geändert. Die neu erstellten Regeln zu SO₂ lauten (vgl. Tab. 5.13):

- Bei Bränden von schwefelhaltigen Brandstoffen muß insbesondere bei Vollbrandbedingungen mit einer weitgehenden Umsetzung des Brandstoffschwefels zu SO₂ gerechnet werden.
- Bei Bränden unter maßgeblicher Beteiligung von schwefelhaltigen Brandstoffen kann SO₂ wesentlich zur Toxizität der Brandgase beitragen.

6.3 Schlußfolgerungen aus den ermittelten Daten

Die Auswahl der auszuwertenden Literatur erfolgte unter Berücksichtigung der Anzahl der behandelten Brandstoffe (v.a. solche, zu denen noch keine Daten vorlagen) und der Aussagekraft und Verlässlichkeit der Ergebnisse. Unter den 81 ausgewerteten Quellen für Brandversuche bzw. Ereignisbrände sind daher einige sehr umfangreiche Forschungsberichte. Mehrfache Einträge zu einem Brandstoff kamen dadurch zustande, daß in einer Literaturstelle meist mehrere Brandstoffe, zu denen teilweise bereits Informationen vorlagen, untersucht wurden, eine Literaturstelle bei der Bearbeitung jedoch komplett ausgewertet wurde. Wie die Ausführungen in den zwei vorangehenden Kapiteln zeigen, muß für eine fundierte Ableitung

von Regeln und insbesondere für quantitative Aussagen eine ausreichende Untersuchungstiefe für einzelne Brandstoffe vorliegen.

Im Zuge der Erweiterung der Datenbasis sollten deshalb vor allem die Literaturstellen folgenden Inhalts bearbeitet werden:

- Brandprodukt Daten zu Brandstoffen, zu denen bislang noch keine Daten in der Datenbank vorliegen.

In der bei Umsicht vorhandenen und noch nicht abschließend bearbeiteten Literatur sind voraussichtlich zu weiteren ca. 30 Brandstoffen Brandprodukt Daten enthalten (Abschätzung nach oberflächlicher Durchsicht der noch nicht bearbeiteten Literatur).

- Ergänzende Brandprodukt Daten zu Brandstoffen, zu denen bereits Brandprodukt Daten in der Datenbank vorliegen.

Eine Ergänzung der Datenbank um Daten zu bisher nicht genannten Brandprodukten ermöglicht eine umfassendere Information zu einzelnen Brandstoffen und erscheint insbesondere für Brandstoffe mit den Heteroatomen Chlor, Brom, Fluor, Stickstoff, Schwefel und Phosphor wichtig, für die bei unvollständiger Verbrennung in der Regel mehrere unterschiedliche anorganische bzw. niedermolekulare Verbindungen mit hohem toxischen Potential zu erwarten sind. Wird die Datenbasis derart erweitert, müßten auch für bedeutende Nebenprodukte allgemeine Aussagen zur Brandproduktbildung möglich sein (für schwefelhaltige Brandstoffe z.B. eine Aussage zur H₂S- und SO₃-Bildung (vgl. Kap: 6.2)).

- Brandprodukt Daten zu Brandstoffen, zu denen bereits Daten zu demselben Brandprodukt in der Datenbank vorliegen.

Bei mehreren Einträgen zu einem Brandprodukt für denselben Brandstoff ist eine vergleichende Auswertung hinsichtlich des Einflusses der verwendeten Versuchsanordnung und der Brand- bzw. Versuchsbedingungen möglich. Zumindest für einige Stoffe ist exemplarisch ein größerer Datenumfang anzustreben, um derartige Auswertungen vornehmen zu können. Generell stellen mehrfache Einträge zu einem Brandprodukt eine solidere Basis für die Ableitung von Regeln und quantitativen Aussagen zu Brandprodukten dar.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Online-Recherchen können keinen Anspruch auf eine vollständige Erfassung der gesamten relevanten Literatur erheben. Da mit zunehmendem Umfang des vorhandenen Literaturbestandes zu Brand- und Zersetzungsprodukten die Suche nach weiterer projektrelevanter Literatur aufwendiger wird, sollten weitere Recherchebemühungen in erster Linie zum Ziel haben, den Literaturbestand durch neu veröffentlichte Artikel zu aktualisieren sowie gezielt Literaturstellen zu fehlenden Brandstoffen zu ermitteln. Darüber hinausgehende Recherchen erscheinen angesichts von bei UMSICHT vorliegender, noch nicht abschließend bearbeiteter Literatur zunächst nicht erforderlich.

Im Rahmen des Projektes konnten Kontakte zu einigen Forschungseinrichtungen und Universitäten geknüpft und zu einer konstruktiven Zusammenarbeit genutzt werden. Hervorgehoben seien hier die Arbeitsgruppe Prof. Matz (TU Hamburg-Harburg) / Feuerwehr Hamburg und die Forschungsstelle für Brandschutztechnik (TH Karlsruhe). Durch die Entwicklung neuer analytischer Verfahren ist in nächster Zukunft mit einer Reihe von Meßwerten insbesondere zu Ereignisbränden zu rechnen. Diese Daten sollten Eingang in die Datenbank finden. Die Bemühungen, auch Brandproduktdaten aus der Industrie für die Datenbank zu erschließen, die in großer Zahl vorhanden sind und z.B. bei Untersuchungen im Rahmen von Produktentwicklungen ermittelt werden, haben bislang zu keinem Ergebnis geführt. Hier ist nur bei massivem politischem bzw. gesetzgeberischem Druck mit größerer Auskunftsbereitschaft zu rechnen.

Die Projektarbeit zum Thema Anwendungen, d.h. die Herstellung von Verknüpfungen zwischen Anwendungen und den möglichen stofflichen Bestandteilen, läßt die Schlußfolgerung zu, daß ein Datenbankzugriff über Anwendungen auf Brandproduktdaten zwar datenbanktechnisch ohne weiteres machbar ist, jedoch aus inhaltlichen Gründen grundsätzlich nur in Ansätzen verwirklicht werden kann. Diese Einschätzung wurde auch in Fachgesprächen von kompetenten Gesprächspartnern u.a. Mitarbeitern des Verbands Kunststoff-zeugende Industrie (vke) geteilt.

Für den exemplarisch bearbeiteten Bereich Kunststoffe ergeben sich folgende Schwierigkeiten:

- Die Werkstoffwahl für Anwendungen kann überaus einsatzspezifisch sein. So können z.B. Zulieferteile mit derselben Funktion für Kleinwagen und Autos der Oberklasse aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. In entsprechender Weise werden Dichtungsmaterialien in Abhängigkeit von beispielsweise des damit in Berührung stehenden Mediums aus einer Vielzahl verschiedener Werkstoffe hergestellt.
- Aufgrund der Änderung bzw. Weiterentwicklung von für eine Anwendung benutzten Werkstoffen kann ein bestimmtes Autoteil (z.B. ein Armaturenbrett) je nach Herstellungs-ort oder -jahr aus unterschiedlichen Materialien bestehen.
- Eine möglicherweise große Zahl an stofflichen Bestandteilen von Anwendungen kann den Sinn nachfolgender Recherchen nach Brandproduktdaten in Frage stellen. Eine ggf. mögliche weitere Spezifizierung von Anwendungen ist auf der anderen Seite nur in begrenztem Umfang sinnvoll, da dem Benutzer der Brandproduktdatenbank in der Regel ohnehin nur Informationen in Form von grob spezifizierten Anwendungen vorliegen.
- Die Zuordnungen müssen laufend aktualisiert bzw. ergänzt werden, da sich Produktanforderungen und Herstellungsverfahren ändern.

Bei Recherchen zu Einsatzbereichen von Kunststoffen bzw. zu Bestandteilen von Anwendungen ist zu berücksichtigen, daß in Anwendungen aus in- und ausländischer Produktion evtl. unterschiedliche Werkstoffe Verwendung finden. Darüber hinaus reichen Auskünfte bei den Herstellern der Rohkunststoffe wahrscheinlich nicht aus, da die Rohmaterialien vielfach an anderer Stelle für die jeweiligen Anwendungen weiterverarbeitet werden. Ansprechpartner hinsichtlich der Inhaltsstoffe von Produkten bzw. Anwendungen müßten demnach die Hersteller der Endprodukte oder evtl. der Handel sein.

Die Ausführungen zeigen, daß derartige Recherchen kompliziert und sehr arbeitsintensiv sind, die Ergebnisse auf der anderen Seite trotzdem nur eingeschränkte Gültigkeit und bei langen Stofflisten nur begrenzten Nutzen haben können. Ein gangbarer, weniger aufwendiger Weg könnte darin bestehen, sich auf Informationen zu den Anwendungen zu beschränken, für die statistische Übersichten (z.B. aus Studien) mit relativ großem Geltungsbereich vorliegen. Solche Statistiken gibt es z.B. zur Zusammensetzung von Abfällen des Dualen Systems Deutschland (DSD). Die zuvor genannten Einschränkungen bleiben jedoch bestehen.

Ein Datenbankzugriff über Handelsnamen ist datenbanktechnisch machbar. Eine Realisierung erscheint für diesen Bereich auch aus inhaltlichen Gründen eher möglich als für Anwendungen, da die Zuordnung Handelsname - Inhaltsstoff eindeutiger ist. Zwar werden unter einem Handelsnamen teilweise mehrere Produkte geführt, jedoch unterscheiden sich die Zusammensetzungen in der Regel nicht wesentlich. Darüber hinaus existiert mit der Herstellerfirma ein Ansprechpartner, über den zwar keine genauen Rezepturen und eine vollständige Liste aller zugesetzten Additive, zumindest aber die wesentlichen stofflichen Bestandteile eines Handelsproduktes recherchiert werden können. Die einem Handelsprodukt zugeordnete Zahl an Stoffen ist dementsprechend meist überschaubar, oft ist über Literaturangaben nur die Hauptkomponente bekannt. Bei der Realisierung eines Datenbankzugriffs über Handelsnamen ist jedoch auch die große Zahl an bestehenden Handelsnamen zu beachten. Vor weiteren Dateneingaben von Hand sollte deshalb zunächst geklärt werden, ob in bereits bestehenden Datenbanken wie z.B. dem Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften GESTIS verwertbare Daten enthalten sind.

7 Glossar

Zu wichtigen Begriffen aus der Brandforschung (Verbrennungsversuche, Brandprodukte, Toxikologie) wurde folgendes Glossar erarbeitet.

Abbrandgrad α (grade of burn up)

Der Abbrandgrad α ist ein Maß für die Vollständigkeit der Verbrennung und gibt das Verhältnis zwischen der in den Verbrennungsprodukten enthaltenen Sauerstoffmenge und der theoretisch aufnehmbaren Sauerstoffmenge an. α kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Pyrolysen weisen kleine α -Werte auf [SIST 89] [SCHU91].

Abbrandrate (mass burning rate)

Masseverlust des in einer bestimmten Zeitspanne unter festgelegten Prüfbedingungen verbrennenden Materials nach [DIN50060]. Die Abbrandrate bzw. die Abbrandrate pro Volumeneinheit stellt eine wichtige Eingangsgröße für eine Reihe von mathematischen Modellen zur Vorhersage der Toxizität von Brandgasen dar [ISO9122-T5].

ventilationsgesteuerter Brand [SEEG87]:

$$\text{Abbrandrate} = \text{Faktor} * \text{Ventilationsparameter}$$

brandstoffgesteuerter Brand [SEEG87]:

$$\text{Abbrandrate} = \text{Faktor} * \text{Brandstoffoberfläche}$$

Abflammen, oberflächliges (surface flash)

Schnelle Flammenausbreitung über die Oberfläche eines Materials ohne Entzündung seines Grundkörpers nach [DIN50060].

Abrenngeschwindigkeit, flächenbezogene (area burning rate)

Die unter festgelegten Prüfbedingungen in der Zeiteinheit verbrannte Fläche eines Materials nach [DIN50060]. Einheit: m^2/s .

Abrenngeschwindigkeit, lineare (linear burning rate)

Die unter festgelegten Prüfbedingungen in der Zeiteinheit abgebrannte Länge eines Materials nach [DIN50060]. Einheit: m/s .

ADI-Wert (acceptable daily intake)

Duldbare tägliche Aufnahme. Nach WHO und FAO bezeichnet der ADI-Wert für den Menschen "die tägliche Aufnahme während des gesamten Lebens, die nach dem Stand allen verfügbaren Wissens kein erkennbares Risiko darstellt" [ROEM89].

Asche (ash)

Mineralische Rückstände nach vollständiger Verbrennung [DIN50060].

Atemschutz (respiratory protection)

Schutz gegen das Einatmen von gesundheitsschädlichen Schadstoffen sowie bei Sauerstoffmangel [ROEM89].

Aufflammen (lighting)

Erscheinen einer Flamme [DIN50060].

Ausbeute eines Brandgases (combustion gas yield)

Siehe Schadgasmassenausbeute.

Bersten (bursting)

Plötzliches Aufreißen eines Gegenstandes aufgrund eines darin herrschenden oder darauf einwirkenden Überdrucks [DIN50060].

Bioassay-Methoden (biological assay, bioassay)

In der Literatur zur Brandgasthematik verwendete Bezeichnung für toxikologische Untersuchungen, bei denen Versuchstiere den Brandgasen ausgesetzt werden [ISO9122-T2].

BIS-Apparatur (apparatus of BIS)

Laborapparatur zur analytischen Untersuchung von Brandgasen.

Die BIS-Apparatur ist von einem Arbeitskreis bestehend aus Fachleuten der Firmen Bayer, ICI und Shell (BIS) entwickelt worden und ist ein Vorläufer der VCI-Brandgasapparatur [MERZ86].

Brand (fire)

Nach [DIN50060] unterscheidet man:

1. Verbrennungsvorgang, charakterisiert durch Freisetzung von Wärme, begleitet von Rauch und/oder Flammen
2. schnelle, sich räumlich und zeitlich unkontrolliert ausbreitende Verbrennung.

Brand, vollentwickelter (fully developed fire)

siehe Vollbrand

Brandbelastung, flächenbezogene (fire load density)

Brandlast, je Flächeneinheit nach [DIN50060]. Einheit: J/m^2 .

Brandendphase (final phase of fire)

In der Brandendphase sinken Temperatur, Brandgeschwindigkeit und Rauchentwicklung. Das Feuer brennt langsam aus [ROTH90].

Brandfördernde Stoffe (fire promoting materials)

Stoffe, die selbst nicht brennbar sind, aber einen Brand durch Sauerstoffzufuhr fördern. Brandfördernde Stoffe sind z.B. Peroxide und Düngemittel (Nitrate). Bei Anwesenheit brandfördernder Stoffe sind Brände schwerer zu löschen, und es muß mit vermehrter Stickoxidbildung gerechnet werden [ROTH90].

Brandgase bzw. flüchtige Brandprodukte (fire effluents)

Brandgase bzw. flüchtige Brandprodukte sind alle gasförmigen und staubförmigen Produkte sowie alle Aerosole einer Verbrennung oder einer Pyrolyse [DIN50060].

Brandklasse (classification of inflammability)

Brennbare Stoffe werden in Brandklassen eingeteilt. Die Einteilung ist für die Praxis der Brandbekämpfung bestimmt.

	Definition	Beispiele	Löschmittel
Klasse A	brennbare feste Stoffe, hauptsächlich organischer Natur, die unter Flammen- und Glutbildung verbrennen	Holz, Stroh, Papier, Textilien, Kohle, manche Kunststoffe	Wasser, Luftschaum, ABC-Löschpulver
Klasse B	brennbare flüssige Stoffe und solche Stoffe, die bei Erwärmung flüssig werden	Ether, Benzol, Benzin, Öle, Fette, salbenförmige Stoffe, Lacke, Alkohol	Kohlendioxid, BC-Löschpulver, ABC-Löschpulver
Klasse C	brennbare Gase mit einem Siedepunkt unter 20°C	Wasserstoff, Methan, Propan, Acetylen, Stadtgas	Kohlendioxid, BC-Löschpulver, ABC-Löschpulver
Klasse D	brennbare Metalle	Lithium, Kalium, Natrium, Magnesium, Aluminium, Barium, Calcium	Metallbrand-Löschpulver, Sand

[ROTH90]

Brandlast (fire load)

Summe der Wärmeenergien, die bei Verbrennung aller brennbaren Stoffe in einem Bereich frei werden könnte, einschließlich der Bekleidungen von Wänden, Trennwänden, Böden und Decken. Einheit: J. Anmerkung: diese Definition nach [DIN50060] deckt sich nicht mit der Begriffsbestimmung nach [DIN18230-1].

Brandphasen (fire stages, fire phases)

Ein Brand läßt sich in die Entzündungsphase und drei Brandphasen einteilen.

In der Entzündungsphase wird durch die Zündung eines Brennstoff/Luft-Gemisches die Aktivierungsenergie, die die exotherme Verbrennungsreaktion initiiert, zur Verfügung gestellt.

In der Entwicklungsphase (Entstehungsbrand) ist der Brand um den Entzündungsherd lokalisiert, die Brandtemperatur ist niedrig, steigt aber laufend und immer schneller an.

Der vollentwickelte Brand entsteht aus dem Entstehungsbrand durch eine plötzliche, sehr schnelle Ausbreitung des Feuers, dem sogenannten "flash-over" oder "Überspringen der Flammen" (s.dort). Durch die stark ansteigende Brandtemperatur greift der Brand auf alles Brennbare über. Brandtemperatur und Energiefreisetzung erreichen ein Maximum, Rauchgas- und Hitzeentwicklung sind am stärksten.

In der Endphase des Brandes sinken Temperaturen, Brandgeschwindigkeit und Rauchentwicklung; das Feuer brennt langsam aus [ROTH90].

Brandprodukte (fire products)

Brandprodukte werden in Brandgase, Löschwasser und Brandrückstände eingeteilt [TRGS514].

Brandprodukte, flüchtige (fire effluents)

Vergleiche Brandgase.

Brandrückstände (fire residues)

Brandrückstände setzen sich aus

- teilweise verbrannten Feststoff- und Flüssigprodukten sowie
- kontaminierten Gegenständen (z.B. Brandschutt, Schutzkleidung, Hilfsgeräte) zusammen [TRGS514].

Brandschlacke (clinker)

Festes Agglomerat von Rückständen aus vollständiger oder unvollständiger Verbrennung, das im allgemeinen auf teilweises oder vollständiges Schmelzen zurückgeführt werden kann. [DIN50060].

Brandschutt (fire debris)

Brandschutt sind die bei einem Brandfall entstehenden und zu entsorgenden Abfälle. Sie stellen im allgemeinen ein Gemenge aus Sperrmüll, Asche und Bauschutt dar [BUND90].

Brandverlauf (course of fire)

Ein Brand wird in eine Entzündungsphase und drei Brandphasen (Entwicklungsphase, vollentwickelter Brand und Brandendphase) unterteilt [ROTH90].

Brandverhalten (fire behaviour)

Alle physikalischen und/oder chemischen Veränderungen von Materialien, Produkten und/oder Konstruktionen, die bei einem unkontrollierten Brand stattfinden [DIN50060].

Brandverhalten von Baustoffen (reaction to fire of building products)

Verhalten eines Materials, mit dem es infolge seiner Zersetzung das Feuer, dem es unter festgesetzten Prüfbedingungen ausgesetzt ist, beeinflusst [DIN50060].

Brandwärmedämmung (thermal insulation)

Die Eigenschaft eines Materials oder Bauteils, während einer genormten Prüfung auf Feuerwiderstandsfähigkeit den Wärmedurchgang zu beschränken [DIN50060].

Brennen (burn)

Im Zustand der Verbrennung sein [DIN50060].

Brennen mit Flamme (flame)

Brennen in der Gasphase unter Aussendung sichtbarer Strahlung [DIN50060].

BRI-Apparatur mit Kegelofen (BRI cone furnace)

Laborapparatur des BRI (Building Research Institute, Japan) zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen.

Der Verbrennungsofen besteht aus einem konisch zulaufenden Quarzrohr, das sich innerhalb eines kegelförmig angeordneten elektrischen Strahlungsofens befindet. Eine elektrische Zündquelle soll möglichst frühzeitig eine Verbrennung mit Flammeneerscheinung initiieren. Die Versorgung mit Luft oder einem Luft/Stickstoff-Gemisch erfolgt über das untere weite Ende des konischen Quarzrohres. Die Verbrennungsluft umströmt die Probe mit einem Durchmesser von 100 mm und gelangt über das obere Ende des Quarzrohres in die Expositions-kammer, in der sich unter anderem rotierende Käfige für die Versuchstiere befinden. Mit Hilfe einer Wägevorrichtung kann die Abbrandrate der Brandstoffprobe während des Versuchs gemessen werden.

Die BRI-Apparatur erfüllt nach einem technischen Bericht der ISO die meisten der für die Simulation einzelner Brandphasen erforderlichen Kriterien und ist flexibel bei der kontrollierten Einstellung verschiedener Ventilationsbedingungen. Nach den bisher veröffentlichten Informationen ist die Apparatur hauptsächlich für die Simulation von vollentwickelten Bränden mit geringer Ventilation geeignet. Eine umfassende Beurteilung der Methode ist gegenwärtig nicht möglich, da die Dokumentation der Apparatur in der Literatur noch nicht ausreicht [ISO9122-T4].

CAMI (Civil Aero-Medical Institute), Methode nach

Das CAMI ist Teil der FAA (US-Federal Aviation Administration) und hat auf der Basis eines Röhrenofens eine Testmethode zur Abschätzung der Giftigkeit von Brandgasen entwickelt. Der Ofen wird in einem statischen Modell unter Rückführung bei konstanter Temperatur betrieben. Als Endpunkt der Untersuchungen dient die Zeit bis zur Bewußtlosigkeit bzw. dem Tod von Ratten, die in motorgetriebenen rotierenden Käfigen dem Brandgas ausgesetzt werden [ISO9122-T1].

Ciba-Geigy Apparatur

Vorläufer der VCI-Apparatur.

CMIR-Apparatur (CMIR apparatus)

Laborapparatur des CMIR (Carnegie-Mellon Institute of Research) zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen.

Die CMIR-Apparatur besteht aus einem Ofen, der durch IR-Strahlen aufgeheizt wird, und einer Expositions-kammer, in der Nagetiere den Brandgasen im Ganzkörper-Modus ausgesetzt sind. Der Verbrennungsofen und die damit verbundene Expositions-kammer ermöglichen eine statische Exposition der Versuchstiere [PAAB87a].

COHb-Wert (COHb-Value)

Der COHb-Wert gibt den Anteil des Hämoglobins (roter Blutfarbstoff) in % wieder, der durch CO gebunden ist und für den Sauerstofftransport nicht mehr zur Verfügung steht (Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe-VCH Verlag).

Deflagration (deflagration)

Explosion, die sich mit einer Geschwindigkeit unterhalb der Schallgeschwindigkeit ausbreitet [DIN50060].

Detonation (detonation)

Explosion mit Überschallgeschwindigkeit, charakterisiert durch eine Stoßwelle [DIN50060].

DIN 53 436

"Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung"

Norm in 3 Teilen, die eine Beschreibung der Zersetzungsapparatur und der Verfahren zur thermischen Zersetzung und inhalationstoxikologischen Untersuchung enthält [DIN53436T1-T3].

Charakteristisch für die Untersuchungsmethode ist die Verwendung eines beweglichen, ringförmigen Rohrofens, in dem bei konstanter Temperatur Brand- und Zersetzungsgase erzeugt werden. Die kontinuierlich entstehenden Brandgase werden mit Luft gemischt und entweder chemisch analysiert oder Ratten zur Inhalation zugeleitet.

Die DIN-Apparatur ermöglicht eine Untersuchung bei verschiedenen Verbrennungstemperaturen (200 - 600 °C, in modifizierten Geräten bis 1000 °C) und unterschiedlicher Luftzufuhr, wobei letztere nach der DIN-Methodik in erster Linie zur Einstellung der Konzentration dient. Die untersuchten Substanzmassen sollen je nach Probenkonsistenz zwischen 3,6 g und 7,2 g liegen. Zur toxikologischen Untersuchung ist eine Kopf/Nasen- oder Ganzkörper-Exposition der Versuchstiere für eine Dauer von 30 min bei einer Nachbeobachtungszeit der Tiere von 14 Tagen vorgesehen.

Die DIN-Methode wird nach einem technischen Bericht der ISO für geeignet gehalten, alle Brandphasen simulieren zu können. Mit der Methode können demnach auch die hohen Temperaturen und sauerstoffarmen Bedingungen eines Vollbrandes eingestellt werden [ISO9122-T4].

Dow Chemical-Apparatur (Dow Chemical apparatus)

Laborapparatur, die bei der Firma Dow Chemical zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen entwickelt worden ist.

Die Brandgase werden bei der Dow Chemical-Apparatur in einem Tiegelofen erzeugt, der sich innerhalb einer Expositionskammer befindet. Bei einer Untersuchung werden Ratten den Brandgasen im Ganzkörper-Modus für eine Dauer von 30 Minuten ausgesetzt. Die entstehenden Brandgase verbleiben für die Dauer eines Versuchs in der Expositionskammer (statische Untersuchungsmethode) [PAAB87a].

EC₅₀ (effective concentration 50 %)

Konzentration, die statistisch bei 50 % der Versuchstiere eine Wirkung (z.B. eine bestimmte Verhaltensstörung oder Symptome) zeigt [ISO9122-T2].

Einsatztoleranzwert (ETW)

Die Einsatztoleranzwerte sind in einem vfdB-Richtlinienentwurf so festgesetzt, daß unterhalb des Einsatztoleranzwertes die Leistungsfähigkeit von Einsatzkräften ohne Atemschutz bei etwa 4-stündiger Exposition während eines Einsatzes und in der Folgezeit nicht beeinträchtigt

wird. Die für Einzelstoffe geltenden Einsatztoleranzwerte sind als Entscheidungshilfe für das Verhalten bei Einsätzen, bei denen es aufgrund von z.B. Leckagen und Bränden zur Entwicklung von Schadstoffwolken kommt, konzipiert (z.B. bei der meßtechnischen Erkundung und Absperrung einer Gefahrenstelle). Die Werte berücksichtigen jedoch nicht den Gemischcharakter von Brandrauch und daraus resultierende toxikologische Effekte. Sie sind nach toxikologischen Gesichtspunkten begründet und festgelegt worden.

Sie sind in einem Richtlinienentwurf der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb) von 1992 enthalten [VFDB92]. Dieser Entwurf wurde jedoch mittlerweile zurückgezogen, um laufende Diskussionen, die eine Vereinheitlichung von Grenzwerten für den Bereich luftgetragener Schadstoffe zum Ziel haben, abzuwarten.

Entflammbarkeit (flammability)

Eigenschaft eines Materials oder Produktes, unter festgelegten Prüfbedingungen mit Flammenbildung brennen zu können [DIN50060].

Entwicklungsphase (phase of development)

Der Brand ist um das Entstehungsgebiet lokalisiert und die Brandtemperatur ist niedrig. Der Brand vergrößert sich und in der Umgebung des Brandes steigt die Temperatur an [ROTH90].

Entwicklung zum Vollbrand (full fire development)

Übergangsphase zu dem Brandstadium, in dem das brennbare Material vollständig erfaßt ist [DIN50060].

Entzündung (ignition)

Einleiten der Verbrennung [DIN50060].

Entzündungsphase (phase of ignition)

Die Zündung eines Brennstoff/Luft-Gemisches liefert die Aktivierungsenergie, um die exotherme Verbrennungsreaktion zu starten. Die erforderliche Mindestzündenergie ist für jedes System unterschiedlich. Als Zündquelle können Flammen, Funken, Wärme, Reibung und/oder Stoß wirken oder es kommt zur Selbstentzündung [ROTH90].

Entzündungstemperatur/Zündtemperatur (ignition temperature)

Niedrigste Temperatur eines Materials, bei der unter festgelegten Prüfbedingungen eine anhaltende Verbrennung eingeleitet werden kann [DIN50060].

ERPG-Werte (Emergency Response Planning Guidelines-Value)

Bei den ERPG-Werten handelt es sich um Konzentrationsleitwerte, die von der AIHA (American Industrial Hygiene Association, USA) im Rahmen von Planungsrichtlinien für Notfallmaßnahmen erstellt worden sind. Die Werte sollen nicht als sichere Grenzwerte für routinemäßige Arbeiten, als definitive Abgrenzung zwischen sicheren und unsicheren Expositionsbedingungen oder als Grundlage einer quantitativen Risikobewertung dienen. Die ERPG-Werte beziehen sich ausschließlich auf den Luftpfad.

Bei der Festlegung der Konzentrationsleitwerte werden gegenüber einer chemischen Exposition anfälliger Menschen als der Durchschnitt der Bevölkerung (z.B. junge und ältere Menschen und Gruppen mit leichten chronischen Krankheiten) berücksichtigt, nicht jedoch schwerer behinderte, extrem empfindliche Gruppen wie z.B. Personen mit Lungenentzündung oder Herzinfarkt. Die Werte beziehen sich auf eine maximale Expositionszeit von 1 Stunde.

ERPG-2: "Die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, daß unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang exponiert werden könnten, ohne daß sie unter irreversiblen oder sonstigen schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen oder Symptomen leiden bzw. solche entwickeln, die die Fähigkeit einer Person beeinträchtigen könnten, Schutzmaßnahmen zu ergreifen."

Die ERPG-1 und ERPG-3 Konzentrationsleitwerte dienen der zusätzlichen Information hinsichtlich des toxikologischen Profils eines Schadstoffes.

Die ERPG-Werte werden auch vom Arbeitskreis "Schadstoffe" der Störfall-Kommission als Kriterien zur Beurteilung akzeptabler Schadstoffkonzentrationen empfohlen [SFK93].

Explosion (explosion)

Plötzliche Zerfalls- oder Oxidationsreaktion, die eine Temperatur- oder Druckerhöhung oder beides gleichzeitig bewirkt [DIN50060].

Expositionsdosis (exposure-dose)

Unter der Expositionsdosis versteht man die Menge toxischer Stoffe, denen ein Subjekt für eine bestimmte Zeitspanne ausgesetzt ist. Für individuelle Gase ist die Expositionsdosis die integrierte Fläche unter einer Konzentrations-Zeit-Kurve, ausgedrückt in parts per million (ppm) x Minuten. In der Verbrennungstoxikologie von Brandgasen versteht man unter der Expositionsdosis die integrierte Fläche unter einer Auftragung des Massenverlusts pro Volumeneinheit gegen die Zeit (Einheit: mg min / l). Die Expositionsdosis wird oft abgeschätzt durch Multiplikation der Konzentration (entweder die nominale Ofenbrandlast (furnace load) pro Kammervolumen oder der nominale Massenverlust pro Kammervolumen) mit der Einwirkungszeit.

halb des Rostes in einem anflanschbaren Schubkasten aufgefangen werden. Die Luftversorgung erfolgt über eine Rohrleitung in der Schubkastenmitte. Mit Hilfe einer Drosselklappe kann die Luftzufuhr auf Volumenströme zwischen ca. 20 und 163 m³/h eingestellt werden. Eine Haube mit trapezförmigem Querschnitt schließt den Verbrennungsraum nach oben ab. Die Rauchgase werden durch einen Kamin in den Abzug der Rauchgasreinigungsanlage geleitet.

Zur Durchführung von Brandversuchen befindet sich in der Mitte des Gitterrostes eine Zündwanne (30 cm x 30 cm x 3 cm). Während flüssige Brandstoffe direkt in die Zündwanne gegeben werden, werden feste Brandstoffe in Form von Stäben zu einer Krippe aufgeschichtet und auf drei über der Zündwanne liegenden stählernen Vierkantprofilen plaziert. Zur Erzeugung eines Zünd- bzw. Stützfeuers für feste Brandstoffe werden entweder Heptan (Zündwanne) oder in die Krippenkonstruktion eingefügte Holzstäbe verwendet.

Zur Temperaturmessung und zur analytischen Untersuchung der Rauchgase (CO, CO₂, O₂ und organische Stoffe) sind im Versuchsraum und im Kamin entsprechende Meßsonden angebracht [FOEH93].

Fire model

Methoden zur Zersetzung und/oder Verbrennung von Testbrandstoffen unter definierten Bedingungen, wobei die entstehenden Brandgase hinsichtlich ihrer Toxizität untersucht werden. Die Versuchsbedingungen sollen bekannte Brandphasen repräsentieren. Mit dem Begriff "fire model" werden darüber hinaus mathematische Modelle zur Simulation von Brandzuständen bezeichnet [ISO9122-T1], [ISO9122-T2].

Flamme (flame)

Verbrennungszone in der Gasphase, von der Licht ausgesandt wird [DIN50060].

Flammenausbreitung (flame spread)

Ausbreitung einer Flammenfront [DIN50060].

Flammenausbreitung, selbständige (self propagation of flame)

Ausbreitung einer Flamme nach Wegnahme der Zündquelle [DIN50060].

Flammenausbreitungsgeschwindigkeit (rate of flame spread)

Von einer Flammenfront während ihrer Ausbreitung unter festgelegten Prüfbedingungen pro Zeiteinheit zurückgelegte Strecke nach [DIN50060]. Einheit: m/s.

halb des Rostes in einem anflanschbaren Schubkasten aufgefangen werden. Die Luftversorgung erfolgt über eine Rohrleitung in der Schubkastenmitte. Mit Hilfe einer Drosselklappe kann die Luftzufuhr auf Volumenströme zwischen ca. 20 und 163 m³/h eingestellt werden. Eine Haube mit trapezförmigem Querschnitt schließt den Verbrennungsraum nach oben ab. Die Rauchgase werden durch einen Kamin in den Abzug der Rauchgasreinigungsanlage geleitet.

Zur Durchführung von Brandversuchen befindet sich in der Mitte des Gitterrostes eine Zündwanne (30 cm x 30 cm x 3 cm). Während flüssige Brandstoffe direkt in die Zündwanne gegeben werden, werden feste Brandstoffe in Form von Stäben zu einer Krippe aufgeschichtet und auf drei über der Zündwanne liegenden stählernen Vierkantprofilen plaziert. Zur Erzeugung eines Zünd- bzw. Stützfeuers für feste Brandstoffe werden entweder Heptan (Zündwanne) oder in die Krippenkonstruktion eingefügte Holzstäbe verwendet.

Zur Temperaturmessung und zur analytischen Untersuchung der Rauchgase (CO, CO₂, O₂ und organische Stoffe) sind im Versuchsraum und im Kamin entsprechende Meßsonden angebracht [FOEH93].

Fire model

Methoden zur Zersetzung und/oder Verbrennung von Testbrandstoffen unter definierten Bedingungen, wobei die entstehenden Brandgase hinsichtlich ihrer Toxizität untersucht werden. Die Versuchsbedingungen sollen bekannte Brandphasen repräsentieren. Mit dem Begriff "fire model" werden darüber hinaus mathematische Modelle zur Simulation von Brandzuständen bezeichnet [ISO9122-T1], [ISO9122-T2].

Flamme (flame)

Verbrennungszone in der Gasphase, von der Licht ausgesandt wird [DIN50060].

Flammenausbreitung (flame spread)

Ausbreitung einer Flammenfront [DIN50060].

Flammenausbreitung, selbständige (self propagation of flame)

Ausbreitung einer Flamme nach Wegnahme der Zündquelle [DIN50060].

Flammenausbreitungsgeschwindigkeit (rate of flame spread)

Von einer Flammenfront während ihrer Ausbreitung unter festgelegten Prüfbedingungen pro Zeiteinheit zurückgelegte Strecke nach [DIN50060]. Einheit: m/s.

Flammenausbreitungszeit (flame spread time)

Zeit, die eine Flammenfront benötigt, um sich auf einem in Brand gesetzten Material über eine festgelegte Strecke oder äußere Fläche unter festgelegten Prüfbedingungen auszubreiten [DIN50060]. Einheit: s.

Flammhemmendes Mittel (flame retardant)

Substanz, die einem Material zugegeben wird oder eine Behandlung, die angewendet wird, um die Flammausbreitung an dem Material zu unterdrücken, wesentlich zu verringern oder zu verzögern [DIN50060].

Flammpunkt (flash point/flash temperature)

Die niedrigste Temperatur, bei der unter bestimmten Prüfbedingungen eine Flüssigkeit genügend brennbaren Dampf und/oder genügend brennbare flüchtige Zersetzungsprodukte entwickelt, die sich bei Kontakt mit einer Zündquelle sofort entzünden [DIN50060]. Einheit: °C.

Flash-over/ schlagartige Flammenausbreitung (flash-over)

Schlagartiges Übergreifen eines Brandes auf die Oberfläche aller brennbaren Stoffe eines Bereiches in einem geschlossenen Raum [DIN50060].

Kommt es nach der Entstehungsphase eines Brandes nicht zum flash-over, geht der Brand aus. Ideale Voraussetzungen für einen flash-over liegen vor, wenn

- brennbare Stoffe in der Nähe des Entstehungsbrandes auf Zündtemperatur aufgeheizt sind,
- brennbare Pyrolyseprodukte vorliegen, die sich plötzlich entzünden,
- ein plötzlicher Luftzutritt (z.B. durch gebrochene Fensterscheiben oder aufspringende Türen) auftritt sowie
- wenn Behälter mit brennbaren Stoffen durch Hitze zerbersten [ROTH90].

Der flash-over kann zwischen 400 und 650 °C auftreten.

FMRC-Apparaturen (FMRC apparatus)

Brandversuchsapparaturen des FMRC (Factory Mutual Research Corporation, USA) in verschiedenem Maßstab zur Untersuchung des Brandverhaltens von Stoffen und zur analytischen Untersuchung von Brandgasen.

Beim FMRC stehen drei nach einem ähnlichen Prinzip arbeitende Apparaturen mit einer spez. Strahlungsleistung von ca. 50, 500 bzw. 10 000 kW/m² zur Verfügung.

Die Apparatur im 50 kW-Maßstab besteht aus einer ca. 1,5 m hohen Anordnung zur Verbrennung bzw. Zersetzung und einer sich oberhalb anschließenden trichterförmigen Vorrichtung zum Auffangen und Ableiten der aufsteigenden Brandprodukte. Bei Brandversuchen befindet sich die Probe auf einer Plattform, die mit einer Wägezelle verbunden ist. Die Brandstoffprobe wird durch vier Infrarot-Heizelemente einem externen Wärmestrom von 10 bis 65 kW/m² ausgesetzt. Eine 10 mm lange Ethylen/Luft-Flamme im Abstand von 10 mm zur Brandstoffoberfläche dient als Pilotflamme. Die Apparatur kann sowohl für Versuche mit freier Luftansaugung genutzt werden als auch für Versuche mit definierter Gaszusammensetzung. Für die letztgenannte Variante wird die Anordnung um einen luftdichten Quarzzyylinder (Durchmesser 162 mm) ergänzt, der am unteren Ende mit einem Gasverteiler verbunden ist. Die Luft oder ein definiertes Gasgemisch wird unterhalb der Brandstoffprobe über den Gasverteiler zugeführt und umströmt die Probe mit über den Zylinderquerschnitt weitgehend einheitlicher Gasgeschwindigkeit ($\leq 0,18$ m/s) in vertikaler Richtung. Für die Untersuchung von Größen, die das Brandverhalten von Brandstoffen kennzeichnen, sind weitere Modifikationen der Apparatur und der Versuchsvorschrift vorgesehen. Die entstehenden Brandprodukte werden in einer kaminähnlichen Vorrichtung aufgefangen und analysiert. Gegebenenfalls können weitere Größen wie z.B. die korrosiven Eigenschaften oder die optische Dichte der Brandgase bestimmt werden. [TEWA92], [TEWA93a]

Freibrandversuch (outdoors fire experiment)

Brandversuch außerhalb von Apparaturen, auch außerhalb von Gebäuden, unter realen Bedingungen [SCHU94].

Gefährdungspotential (danger potential)

Gefährdungspotential GP = Toxizitätspotential * Zersetzungsrate [SAND88].

Glimmen (glowing combustion)

Verbrennung eines Materials im festen Zustand ohne Flammerscheinung, jedoch mit Ausstrahlung von Licht aus der Verbrennungszone [DIN50060].

Glühen (incandescence)

Ausstrahlung von Licht durch ein erhitztes Material. Dies kann mit oder ohne Verbrennung erfolgen [DIN50060].

Haber, Gesetz von - (law of Haber)

Beschreibung des Einflusses von Gaskonzentration und Zeit auf die Toxizität eines Gases im Tierexperiment [HART83].

$$\text{Gaskonzentration} * \text{Expositionszeit} = \text{konst}$$

IDLH-Wert (Immediately Dangerous to Life and Health-Value)

Der IDLH-Wert gibt die Maximalkonzentration eines Stoffes in der Atmosphäre an, bei der sich ein Arbeitnehmer bei Ausfall eines Atemschutzgerätes innerhalb von 30 Minuten aus der Expositionszone entfernen kann, ohne daß die Flucht behindert wird oder daß irreversible Gesundheitsschäden auftreten. Der Wert wurde vom National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), USA, aufgestellt [ORTN95].

INERIS, Brandversuchsanlage (INERIS fire research site)

Großbrandversuchsanlage von INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Frankreich). Die Versuchsanlage besteht aus einem 50 m langen Strömungskanal, durch den Frischluft angesaugt wird, einem zentralen Bereich mit einer Höhe von 10 m, in dem sich das Brandgut befindet, einem Gebläse und Rauchgasreinigungseinrichtungen [CWIK92].

Japanese Ministry of Construction, Untersuchungsmethode des - (investigation method of the)

In Japan benutztes Verfahren zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen mit einer Laborapparatur. Im Verbrennungsofen wird die Oberfläche der Brandstoffprobe (18 cm x 18 cm) durch die Wärmestrahlung eines elektrischen Heizgerätes und mittels einer Propangasflamme an der unteren Seite der Probe aufgeheizt. Die Verbrennungsluft wird am unteren Ende des Verbrennungsofens eingespeist, umströmt die Brandstoffprobe und wird anschließend zusammen mit den Brandgasen zur toxikologischen Untersuchung in die Expositions-kammer der Versuchstiere geleitet.

Diese Methode ist nach einem technischen Bericht der ISO zur Simulation der bei einem voll-entwickelten Brand mit geringer Ventilation herrschenden Bedingungen geeignet [ISO9122-T4].

Kegel-Kalorimeter (cone calorimeter)

Apparatur zur Messung der Wärmefreisetzung und weiterer Größen bei der Verbrennung. Bei Untersuchungen mit dem Kegel-Kalorimeter werden Stoffproben (100 mm x 100 mm bei einer Dicke zwischen 6 mm und 50 mm) durch eine elektrische Heizschlange, die in Form eines Kegelstumpfes über der Probe angeordnet ist, aufgeheizt. Die gesamte Versuchsanordnung ist zu den Seiten offen. Der zu untersuchende Stoff befindet sich auf einer Wägezelle und kann bei Bedarf durch einen elektrischen Funken extern gezündet werden. Die Verbrennungsabluft wird durch einen oberhalb der Heizschlange beginnenden Abgaskamin mit variabler Geschwindigkeit abgesaugt.

Mit der Apparatur lassen sich nach einem technischen Bericht der ISO in Abhängigkeit des eingestellten Wärmestromes flammenlose oxidative Zersetzungsbedingungen und die Brandbedingungen während der Entwicklungsphase eines Brandes einstellen. Da das Rauchgas mit einem relativ hohen Volumenstrom in den Kamin gesaugt wird und eine starke Vermischung mit der Umgebungsluft bewirkt, ist das Kegel-Kalorimeter nur mit Einschränkungen für Brandgasuntersuchungen geeignet [ISO9122-T4].

Zur Simulation von Brandzuständen mit geringer Ventilation wird ein modifiziertes Kegel-Kalorimeter verwendet, bei dem sich die Wägezelle und die Probe in einer geschlossenen Kammer befinden, die unterhalb der Heizschlange angeordnet ist. Zur Einstellung der Sauerstoffkonzentration werden Stickstoff und Sauerstoff in den erforderlichen Mengen über den Boden in die Kammer dosiert [MIKK94].

LC50 (lethal concentration 50%)

Die relative akute Inhalationstoxizität LC₅₀ gibt das Verhältnis der Masse der Probe (Materialgewicht der während der Expositionszeit beanspruchten Probe) zur eingesetzten Gesamtluftmenge an, bei der 50% der Versuchstiere unter festgelegten Versuchsbedingungen sterben [DIN53436-T3].

Der LC₅₀-Wert bezeichnet die Konzentration an toxischen Stoffen, die innerhalb einer bestimmten Zeit statistisch den Tod der Hälfte der Versuchstiere verursacht. Er wird in parts per million (ppm) (Volumenangabe) oder in Milligramm pro Liter (mg/l) angegeben. In der Verbrennungstoxikologie sind zwei Definitionen des LC₅₀-Wertes, angegeben in mg/l, gebräuchlich:

- Die zu Versuchsbeginn eingesetzte Probenmasse wird auf das zur Verfügung stehende Luftvolumen bezogen (nominale Ofenlastkonzentration – nominal furnace load concentration).
- Die augenblicklich verbrauchte Probenmasse (z.B. die Differenz aus Probenmasse zu Versuchsbeginn und -ende) wird auf das zur Verfügung stehende Luftvolumen bezogen (nominale Massenverlustkonzentration – nominal mass loss concentration).

[ISO9122-T2]

LIFT-Apparatur (lateral ignition and flame spread apparatus)

Vom NIST (National Institute of Standards and Technology, USA) entwickelte Laborapparatur zur Untersuchung der Flammenausbreitung und zur Bestimmung von Zündfähigkeitsdaten [SNEL89].

Luftverhältnis λ (air relations)

Das Luftverhältnis λ ist definiert als der Quotient aus dem zugeführten Luftvolumen und dem für die stöchiometrische Verbrennung benötigten Luftvolumen [SAND88].

MAK-Wert (maximum concentration at the place of work)

Die maximale Arbeitsplatz-Konzentration ist die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich 8-stündiger Exposition, jedoch bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden (in Vierschichtbetrieben 42 Stunden je Woche im Durchschnitt von vier aufeinanderfolgenden Wochen) im allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt [MAK96].

Mindestzündzeit (minimum ignition time)

Mindestzeit, während der ein Material unter festgelegten Prüfbedingungen einer Zündquelle ausgesetzt ist, um eine anhaltende Verbrennung zu produzieren [DIN50060].

Nachbrennen mit Flamme (afterflame)

Fortdauerndes Brennen mit Flammen eines Materials nach Entfernen der Zündquelle [DIN50060].

Nachglimmen (afterglow)

Fortdauerndes Glimmen nach Erlöschen der Flamme oder wenn nach der Entfernen der Zündquelle kein Brennen mit Flamme auftritt [DIN50060].

Narkotisch, Brandgase mit narkotischer Wirkung (fire effluents with narcotic effect)

Brandgase mit narkotischer Wirkung wirken sich auf das Gehirn und das Kreislaufsystem aus und verursachen in Abhängigkeit der wirkenden Expositionsdosis Verwirrungszustände gefolgt von Bewußtlosigkeit und Tod. Untersuchungen zeigen, daß die Fähigkeit des Menschen zu kontrolliertem Verhalten ab einer definierten Schwelle der Brandgaskonzentration

deutlich nachläßt. Aufgrund dieses Sachverhaltes wird u.a. mit Hilfe von mathematischen Modellen versucht, den Übergang von kontrolliertem zu unkontrolliertem Verhalten vorherzusagen.

Bei Feuer oder Bränden sind nur CO, HCN, CO₂ und Sauerstoffmangel aufgrund ihrer narkotischen Wirkung von Bedeutung [ISO9122-T6].

NIST (NBS)-Apparatur mit Tiegelofen (NIST cup furnace)

Laborapparatur des NIST (National Institute of Standards and Technology, USA, früher: NBS) zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen.

Die Aufheizung der Probe erfolgt in einem zylinderförmigen Tiegelofen mit einem Volumen von ca. 1 l durch im unteren Teil des Quarztiegels und am Boden angeordnete Heizelemente. Für Untersuchungen werden üblicherweise Stoffproben mit einer Masse bis zu 8 g verwendet. Der Ofen ist nach oben mit dem Expositionsraum von 200 l Volumen verbunden, der mit Öffnungen zur Probenahme und toxikologischen Untersuchung mittels Versuchstieren ausgestattet ist.

Die Methode stellt nach einem technischen Bericht der ISO ein gutes Modell für flammenlose oxidative Zersetzungen dar und ermöglicht darüber hinaus die Simulation der Zersetzungsbedingungen eines gutventilierten Brandes in der Entwicklungsphase. Mit der Apparatur können nicht die hohen Temperaturen und sauerstoffarmen Bedingungen eines vollentwickelten Brandes eingestellt werden [ISO9122-T4].

NOEL - No-observed-effect-level

Schwellendosis, die als Dosis ohne erkennbare Wirkung zum Ausdruck bringt, daß mit den verwendeten Methoden bei dieser Dosis keine Wirkung entdeckt werden konnte. Der NOEL ist abhängig von Spezies, Organ und der Untersuchungsmethode [GREI96].

Pyrolyse (pyrolysis)

Der Begriff Pyrolyse wird in der Literatur nicht einheitlich verwendet:

- durch thermische Energie initiierte, irreversible chemische Zersetzung, üblicherweise keine Oxidationsreaktion (Definition entsprechend [ISO9122-T1]),
- oxidative oder nichtoxidative Zersetzung ohne Flammerscheinung bei Anwesenheit einer externen Wärmequelle (weiter gefaßte Definition zitiert in [ISO9122-T1]),
- nichtoxidative Zersetzung bei einem Sauerstoffgehalt von weniger als 5 %, ohne Flammerscheinung und bei Anwesenheit einer externen Wärmequelle [ISO9122-T1],
- Irreversible chemische Zersetzung eines Materials durch Erhöhung der Temperatur ohne Oxidation [DIN50060].

Pyrophorer Stoff (pyrophoric material)

Stoff, der sich an der Luft von selbst entzünden kann [DIN50060].

Rauch (smoke)

Eine sichtbare Dispersion von festen oder flüssigen Partikeln in Luft (Aerosol), die von einer Verbrennung oder Pyrolyse herrührt [DIN50060].

Rauchdichte, optische (optical density of smoke)

Dekadischer Logarithmus der Lichtdurchlässigkeit (Opazität) durch Rauch $\lg(I/T)$ [DIN50060].

Rauchextinktionsfläche, mittlere spezifische (average specific smoke extinction area)

Meßgröße zur Quantifizierung der Rauchentwicklung.

Die mittlere spezifische Rauchextinktionsfläche σ_m (gemessen in m^2/kg) wird in ASTM E 1354-92 folgendermaßen definiert:

$$\sigma_m = \frac{\sum_i V_i k_i \Delta t}{m_a - m_e}, \text{ mit } k_i = \frac{1}{L} \ln\left(\frac{I_0}{I_i}\right) \text{ und}$$

V_i – Volumenstrom in der Abgasleitung,

k_i – Extinktionskoeffizient,

Δt – Zeit zwischen zwei Messungen,

m_a – Brandstoffmasse bei Versuchsbeginn,

m_e – Brandstoffmasse bei Versuchsende,

L – Länge des Strahlungsweges,

I_0 – Strahlungsintensität am Empfänger ohne Rauch,

I_i – Strahlungsintensität am Empfänger mit Rauch.

[MIKK94]

RD₅₀ - (respiratory dose)

Gaskonzentration, die eine 50%ige Herabsetzung der Atmungsrate im Tierversuch bewirkt [HUGG87].

Reizend, Brandgase mit reizender Wirkung (fire effluents with irritating effects)

Die reizende Wirkung von Brandgasen zeigt sich auf folgende Weise:

- Sie verursachen plötzliche schmerzhaftes Sinnesanregungen und -reizungen von Augen und oberen Atemwegen (Nase, Hals).
- Sie verursachen Entzündungen und Ödeme der unteren Atemwege (Lunge), die durch Atemlähmung zum Tod führen können.

Die bei Bränden entstehende Atmosphäre wirkt in jedem Fall reizend und enthält eine Vielzahl von chemischen Substanzen mit reizender Wirkung. Obwohl bereits eine große Zahl solcher Stoffe in Brandgasgemischen identifiziert worden ist, kann davon ausgegangen werden, daß weitere Stoffe mit reizender Wirkung enthalten sind. Aufgrund der vielen in Brandgasen enthaltenen Einzelsubstanzen werden zur Abschätzung der reizenden Wirkung von Brandgasen neben umfassenden chemischen Analysen meist Tierversuche eingesetzt. [ISO9122-T2] [ISO9122-T6].

Relative akute Inhalationstoxizität (relative acute toxicity by inhalation)

Begriff aus DIN 53436 mit zwei verschiedenen Definitionen:

- Die relative akute Inhalations-Toxizität RAIT wird charakterisiert durch ein Letalitätsverhältnis, nämlich Anzahl gestorbener Tiere zur Gesamtzahl der im Tierversuch eingesetzten Tiere [DIN53436-T3].
- Die relative akute Inhalationstoxizität LC₅₀ (LC = Letale Concentration) gibt das Verhältnis der Masse der Probe (Materialgewicht der während der Expositionszeit beanspruchten Probe) zur eingesetzten Gesamtluftmenge an, bei der 50 % der Versuchstiere unter festgelegten Versuchsbedingungen sterben [DIN53436-T3].

RIPT-Apparatur mit Kegelofen (RIPT cone furnace)

Laborapparatur des RIPT (Research Institute for Polymers and Textiles, Japan) zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen. Die RIPT-Apparatur besteht aus einem Verbrennungsofen mit den Abmessungen 91 cm x 91 cm x 61 cm, an den über Verbindungsleitungen die analytischen Meßgeräte und eine Expositions-kammer für toxikologische Untersuchungen angeschlossen sind. Die auf einer Wägezelle liegende Stoffprobe wird im Verbrennungsofen mit Hilfe eines kegelförmigen Heizelements aufgeheizt.

Die Apparatur wird nach einem technischen Bericht der ISO hauptsächlich zur Simulation eines vollentwickelten Brandes mit begrenzter Ventilation eingesetzt, müßte jedoch ebenfalls als Modell für weitere Brandphasen geeignet sein. Aufgrund der unzureichenden Dokumentation der Apparatur in der Literatur ist eine umfassende Beurteilung der Methode nicht möglich [ISO9122-T4].

Ruß (soot)

Feinteilige Partikel, die hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehen und von einer unvollständigen Verbrennung organischen Materials herrühren [DIN50060].

Schadgasmassenausbeute (mass yield of harming gas)

Quantitative Bestimmung der Schadgase in Bezug auf die Menge des Brandstoffes als grundlegende quantitative Größe für Gefahrenabschätzungen durch Brandgase [SCHU94].

Die Ausbeute eines Brandgases Y kann berechnet werden, wenn die Abbrandrate m (gemessen in g/s), der gesamte zugeführte Gasvolumenstrom V (gemessen in l/s) und die Konzentration eines Brandgases C (gemessen in g/l) bekannt sind. Es gilt die Berechnungsformel:

$$Y = C * V / m.$$

Da die Ausbeute eines Brandgases nicht vom Volumen der zugemischten Luft abhängt, können die mit unterschiedlichen Brandversuchsapparaturen ermittelten Ausbeuten bei sonst gleichen Brandbedingungen miteinander verglichen werden. [MIKK94]

Schwelbrand (smouldering fire)

Schwelen wird definiert

- als langsame oxidative Reaktion eines Materials ohne Leuchterscheinung, im allgemeinen durch Rauch und/oder Temperaturanstieg gekennzeichnet [DIN50060] oder
- als selbständige exotherme Zersetzung, die zum Teil unter Glühen des Materials abläuft. Ausgelöst durch eine lokale Quelle hoher Temperatur kann es hauptsächlich in Naturmaterialien und einigen Kunststoff-Natur-Verbundwerkstoffen zu Schwelbränden kommen. Der Sauerstoffbedarf von Schwelbränden ist gering. Die Zersetzung findet ohne Flammenteerscheinung statt [ISO9122-T1].

Zum Schwelbrand kommt es, wenn die Verbrennung bei einem offenen Brand in einem geschlossenen Raum (z.B. Zimmerbrand) durch Sauerstoffmangel zum Stillstand kommt. Durch die Hitze findet jedoch weiterhin eine pyrolytische Zersetzung des Materials statt. Verschwelungsprozesse finden bei jedem Brand in der Entstehungsphase und in Randzonen statt. Durch Sauerstoffzufuhr kann ein Schwelbrand jederzeit in einen offenen Brand übergehen [ROTH90].

Selbstentzündung (self-ignition)

Durch Selbsterwärmung bewirkte Entzündung [DIN50060].

Selbstentzündungstemperatur (spontaneous ignition temperature)

Die niedrigste Temperatur, bei der durch Hitzeeinwirkung unter bestimmten Prüfbedingungen die Zündung eines Produktes ohne Zündquelle erfolgt. Einheit: °C. [DIN50060].

Selbsterwärmung (self-heating)

Temperaturanstieg in einem Material durch eine exotherme Reaktion innerhalb des Materials [DIN50060].

Tewarson-Apparatur (Tewarson apparatus)

Von Tewarson entwickelte Laborapparatur zur Bestimmung der Wärmefreisetzungsrate und für Brandgasuntersuchungen.

Die Apparatur besteht aus einem senkrecht stehenden, nach oben offenen Verbrennungsrohr und einer kaminähnlichen Vorrichtung zum Auffangen der Brandgase oberhalb des Rohres. Bei einer Untersuchung werden etwa 10 g einer Stoffprobe auf einem Probenteller im Verbrennungsrohr angeordnet und durch an der Rohraußenseite liegende Heizelemente aufgeheizt. Das Probengewicht wird kontinuierlich mittels einer Wägevorrichtung gemessen. Zur Einstellung definierter Versuchsbedingungen kann über den Rohrboden Luft oder ein künstliches Sauerstoff/Stickstoff-Gemisch eingespeist werden.

Die Apparatur kann mit Hilfe einer Pilotflamme zu Zündversuchen von Stoffproben eingesetzt werden oder mit Hilfe entsprechender Meßgeräte in der Abgasauffangvorrichtung zur Ermittlung der Wärme- und Brandgasemissionen dienen.

Thermolyse (thermolysis)

Ohne Katalysator eintretender spontaner Zerfall oder die gezielte Spaltung von organischen Verbindungen unter dem Einfluß thermischer Energie (thermische Dissoziation) [ROEM92].

Toxisches Potential (toxic potency)

Maß für die Menge eines toxischen Stoffes, die zum Auftreten eines bestimmten toxischen Effektes (z.B reizende oder narkotische Wirkung) erforderlich ist. Je geringer die erforderliche Menge ist, um so größer ist das toxische Potential. [ISO9122-T2].

Toxizität (toxicity)

Man unterscheidet bei der Toxizität (Giftigkeit eines Stoffes) zwischen akuter Toxizität (Giftwirkung nach einmaliger oder kurzzeitiger Aufnahme) und chronischer Toxizität (Giftwirkung nach wiederholter Aufnahme während längerer Zeit). Die Wirkung akuter Toxizität zeigt sich entweder sofort oder nach einigen Stunden oder Tagen [VDS94a], [ISO9122-T2].

Es werden zwei Definitionen für die chronische Toxizität verwendet [FIGG92]:

- Wirkung nach langandauernder, evtl. lebenslanger Exposition mit relativ geringen Konzentrationen;
- viel später, evtl. nach Jahrzehnten beobachtete Wirkung nach einer einmaligen Exposition.

Der in der Datenbank PHLOGISTON verwendete Begriff der toxischen Langzeitwirkung entspricht inhaltlich der zweiten Definition für die chronischen Toxizität.

TRK-Wert (technical recommended value)

Die technische Richtkonzentration ist die Konzentration eines Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann (§15 Abs. 6 Gefahrstoff-Verordnung) und als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die meßtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen ist. TRK-Werte werden nur für solche gefährlichen Arbeitsstoffe benannt, für die zur Zeit keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Wert) aufgestellt werden können, insbesondere für krebserzeugende und erbgutverändernde Stoffe. Auch bei einer Unterschreitung der Technischen Richtkonzentration ist eine Gesundheitsgefährdung nicht vollständig auszuschließen [MAK96].

UMichigan-Apparatur (UMichigan apparatus)

An der Universität Michigan, USA, entwickelte Laborapparatur zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen.

UPitt-Apparatur mit Kastenofen (UPitt box furnace)

An der Universität Pittsburgh, USA, entwickelte Laborapparatur zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen.

Der Verbrennungsofen der UPitt-Apparatur besteht aus einem kastenförmigen Behälter mit einem Volumen von 25 l, in dem sich die Stoffprobe auf einem mit einer Wägevorrichtung versehenen Sockel befindet. Während eines Versuchs wird der Ofen gleichmäßig mit einer

Aufheizrate von 20 °C/min bis auf Temperaturen von 1100 °C aufgeheizt. Dabei wird der Verbrennungskammer ständig ein Luftvolumenstrom von 1 l/min zugeführt. Die seitlich abgeführten Brandgase können analytisch und toxikologisch untersucht werden.

Die Kombinationen der Brandbedingungen, die sich nach der UPitt-Methode einstellen lassen, lassen sich nach einem technischen Bericht der ISO nicht eindeutig einzelnen Brandphasen zuordnen. Trotz der sehr niedrigen O₂-Konzentrationen bestehen jedoch Ähnlichkeiten zu den Zersetzungsbedingungen eines Brandes in der Entwicklungsphase. Mit der Methode läßt sich aber sehr gut die spezielle Situation einer kleinen Brandlast in einer Umgebung mit beschränkter Ventilation nachstellen [ISO9122-T4].

USF-Apparatur (USF apparatus)

An der Universität San Francisco (USF), USA, entwickelte Laborapparatur und Testmethode zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen.

Bei der USF-Methode werden üblicherweise 1 g der zu untersuchenden Substanz in einem Rohrofen zersetzt. Der Ofen kann bei Untersuchungen entweder mit einer Aufheizrate von 40 °C/min von 200 °C auf 800 °C aufgeheizt oder bei einer konstanten Temperatur zwischen 200 und 800 °C betrieben werden; weiterhin können die Experimente im Rohrofen mit oder ohne Luftstrom erfolgen. Zur toxikologischen Untersuchung werden Versuchstiere (vier Mäuse) den Brandgasen für eine Dauer von 30 Minuten im Ganzkörper-Modus ausgesetzt [PAAB87a].

US Strahlungs-ofen, modifiziert (US radiant furnace, modified)

Laborapparatur zur analytischen und toxikologischen Untersuchung von Brandgasen. Der Verbrennungs-ofen der US Strahlungsapparatur besteht aus einem horizontal angeordneten zylindrischen Quarzrohr von ca. 13 cm Durchmesser und ca. 32 cm Länge, das durch einen Kamin mit der Expositions-kammer verbunden ist. Die Stoffprobe befindet sich auf einer länglichen Halterung innerhalb des Quarzrohres und wird durch Wärmestrahlung von außerhalb des Rohres angebrachten Lampen aufgeheizt. Eine Zündung der Probe kann mit Hilfe einer Funkenquelle vorgenommen werden. Weiterhin ist eine Wägevorrichtung zur Messung des Massenverlustes der Probe vorhanden. Entstehende Brandgase gelangen durch den mittleren des in drei Kanäle geteilten Kamins in die Expositions-kammer, wobei gleichzeitig durch die außen liegenden Kanäle Luft in das Verbrennungsrohr zurückströmt. An die Expositions-kammer sind Öffnungen für toxikologische Untersuchungen mit Versuchstieren sowie Probenahmeöffnungen für Brandgasanalysen angebracht.

Die Apparatur ist nach einem technischen Bericht der ISO geeignet, die in der Entwicklungsphase eines Brandes mit Flammerscheinung herrschenden Bedingungen zu simulieren. Die geringe Informations- und Datengrundlage steht einer genaueren Charakterisierung der Methode entgegen. [ISO9122-T4]

VCI-Brandgasapparatur (VCI-apparatus for fire effluents measurement)

"Verfahren zur Erzeugung und analytischen Charakterisierung von Brandgasen", ein von einer Arbeitsgruppe des VCI (Verband der chemischen Industrie e.V.) entwickeltes Verfahren mit Laborapparatur.

Die Apparatur besteht aus einem aufklappbaren Zweizonenofen, in dem ein Quarzrohr (Gesamtlänge 36 mm, äußerer Durchmesser 28 mm) mit Gasumlenkung und seitlichem Abgang senkrecht angeordnet ist. Als Verbrennungsgas wird Luft am oberen Rohrende eingespeist, die entstehenden Verbrennungsprodukte werden über den seitlichen Abgang des Rohres gesammelt und anschließend analysiert. Bei einem Versuch wird der Ofen mit eingesetztem Verbrennungsrohr auf die gewünschte Temperatur (400 - 1000 °C) aufgeheizt und der Luftstrom auf einen festen Wert von ca. 400 ml/min eingestellt. Die zu untersuchende Substanz, im Normalfall etwa 25 mg, wird in ein Quarznäpfchen eingewogen und mittels einer Schleuse in das Verbrennungsrohr eingebracht. Notwendige größere Einwaagen werden portionsweise eingeworfen (Mehrfacheinwurf). Nach ca. 2 Minuten befinden sich je nach Verbrennungstemperatur nur noch Kohlenstoffreste im Verbrennungsrohr, so daß nach einer Gesamtanalysezeit von 5 Minuten der Versuch beendet werden kann [VCI87b] [HULP87] [MERZ86].

Verbrennung (combustion)

Exotherme Reaktion eines Stoffes mit einem Oxidationsmittel, gewöhnlich in Verbindung mit Flammen und/oder Glimmen und/oder Rauch [DIN50060].

Verbrennungstemperatur, kalorische (caloric temperature of combustion)

Die kalorische Verbrennungstemperatur ist die Temperatur, die die Verbrennungsprodukte annehmen, wenn die gesamte sich bildende Wärmemenge zu ihrer Erwärmung verbraucht wird. Es findet kein Wärmeaustausch mit der Umgebung statt. Die Wärmemenge, die zur Dissoziation der Verbrennungsprodukte verbraucht wird, wird nicht eingerechnet. Die kalorische Verbrennungstemperatur hängt nicht von der Menge des brennbaren Stoffes, sondern nur von seiner Zusammensetzung ab [DEMI80].

Verbrennungstemperatur, theoretische (theoretical temperature of combustion)

Bei der theoretischen Verbrennungstemperatur wird wie bei der kalorischen Verbrennungstemperatur angenommen, daß die gesamte sich bildende Wärmemenge zur Erwärmung der Verbrennungsprodukte verbraucht wird. Es findet kein Wärmeaustausch mit der Umgebung statt. Es wird jedoch die Wärmemenge mitgerechnet, die zur Dissoziation der Verbrennungsprodukte verbraucht wird. [DEMI80]

Verbrennungstemperatur, reale (real temperature of combustion)

Die reale Verbrennungstemperatur ist die Temperatur, die bei einem Brand unter realen Bedingungen auftritt. Dabei wird die freiwerdende Wärmemenge teilweise zur Erwärmung der Verbrennungsprodukte genutzt oder geht durch Strahlung und andere Wärmeverluste verloren [DEMI80].

Verbrennungswärme, effektive (actual calorific value / heat release)

Die Wärmemenge je Masseneinheit, die bei der Verbrennung eines Materials unter bestimmten Prüfbedingungen frei wird [DIN50060]. Einheit: J/kg.

Verbrennungswärme , spezifische (heat of combustion, calorific potential)

Die gesamte je Masseneinheit freisetzbare Wärmemenge bei vollständiger Verbrennung eines Materials [DIN50060]. Vergleiche auch [DIN51900-1].

Verkohlen (char)

Bildung kohlenstoffreicher Rückstände bei Pyrolysen oder unvollständigen Verbrennungen [DIN50060].

Versengen (scorch)

Verändern der Materialoberfläche durch unvollständige Verkohlung unter Einwirkung von Wärme [DIN50060].

Vollbrand (vollentwickelter Brand) (fully developed fire)

Brandstadium, in welchem alle vorhandenen brennbaren Stoffe erfaßt sind [DIN50060].

Aus dem Entwicklungsbrand kommt es durch den "flash-over" zu einer plötzlichen und sehr schnellen Ausbreitung des Feuers. In der Phase des nun vollentwickelten Brandes erreichen die Brandtemperatur, Rauchgasentwicklung und die Energiefreisetzung ein Maximum. Bei einem Zimmer oder Laborraumbrand besteht dann die Gefahr, daß das Feuer auf andere Gebäudeteile übergreift oder Gebäudeteile einstürzen läßt. [ROTH90]

Wärmeabgabegeschwindigkeit (rate of heat release)

Die Wärmeenergie, die von einem Material bei der Verbrennung unter festgelegten Prüfbedingungen je Zeiteinheit abgegeben wird [DIN50060].

Wärmestrahlung (thermal radiation)

Übertragung von Wärmeenergie durch elektromagnetische Wellen [DIN50060].

Zündquelle (ignition source)

Eine Energiequelle, die brennbare Materialien oder Produkte zu entzünden vermag [DIN50060].

Zündtemperatur (ignition temperature)

Niedrigste Temperatur eines Materials, bei der unter festgelegten Prüfbedingungen eine anhaltende Verbrennung eingeleitet werden kann [DIN50060].

8 Literatur

- [ANON91] Tyre fires - a pile of pollution.
Fire Prevention, July/August 1991, Vol.241, S.11-12
- [ANON96] Bericht: Kunststoff-Brandprodukte
Landesumweltamt Brandenburg, Referat Umweltoxikologie und
Gefahrstoffe, AZ. I6-75121
- [BASM95] Basmer, P.: Erfahrungen aus Brandrauchanalysen mit einem GC/MS-
System. vfdb Jahresfachtagung, 11-15. Juni 1995, S. 75-101
vfdb, Postfach 1231, 48338 Altenberge
- [BUFF95] Buff, K.: Die toxikologische Bewertung von Schadstoffkonzentrationen bei
großräumigen Freisetzungen,
vfdb Jahresfachtagung, 11-15. Juni 1995, S. 135-140
vfdb, Postfach 1231, 48338 Altenberge
- [BUND90] Empfehlungen zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden.
Bundesgesundheitsblatt, 1990, Nr.1, S.32-34
- [COLE94] Cole, S.T.; Wicks, P.J. (ed.): Industrial Fires II, Workshop of the European
Commission, Workshop Proceedings Draft, Cardache,
Frankreich, 17./18.5. 1994
- [CWIK92] Cwiklinski, C.: Incendie dans les stockages de produits phytosanitaires.
R.G.S., Janvier/Fevrier, 1992, Vol.110, S.41-45
- [DEMI80] Demidow, P.G.; Sauschew, W.S.: Verbrennung und Eigenschaften
brennbarer Stoffe. Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik,
Berlin, 1980
- [DIN50060] Prüfung des Brandverhaltens von Werkstoffen und Erzeugnissen - Begriffe
Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für
Normung e.V., August 1985
- [DIN53436-T1] Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter
Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung.
Zersetzungsgerät und Bestimmung der Versuchstemperatur.
Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für
Normung e.V., April 1981
- [DIN53436-T2] Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter
Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung.
Verfahren zur thermischen Zersetzung.
Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für
Normung e.V., August 1986
- [DIN53436-T3] Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter
Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung.
Verfahren zur inhalationstoxikologischen Untersuchung.
Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für
Normung e.V., November 1989

- [ENGL90] Engler, A.; Pieler, J.; Einbrodt, H.J.: Gefährdungsabschätzung von Brandgasen und Brandrückständen unter humantoxikologischen Gesichtspunkten.
Wissenschaft und Umwelt, 1990, No.4, S.191-204
- [ESPO88] Esposito, F.M.; Alarie Y.: Inhalation Toxicity of Carbon Monoxide and Hydrogen Cyanide Gases Released During the Thermal Decomposition of Polymers
Journal of fire Sciences, vol. 6 1988 S.195 - 242
- [FIGG92] Figge, J.; Pieler, J.: Mutagene Aktivität der Verschmelzungsprodukte von Fichtenholz in der Zusatzapparatur zur DIN53436 - Erste Ergebnisse.
Wissenschaft und Umwelt, 1992, 3, S.209-214
- [FOEH93] Föhl, C.A.; Basmer, P.: Untersuchung der Löschverfahren und Löschmittel zur Bekämpfung von Bränden gefährlicher Güter.
Brandschutzforschung der Bundesländer, 1993, Report-Nr. 86
- [GOER95] Goertz, R.: Abschlußbericht zum Untersuchungsvorhaben Bildung und Bildungsraten toxischer Stoffe bei Bränden.
Arbeitsgruppe Massenspektrometrie, Lehrstuhl für Analytische Chemie, Ruhr-Universität Bochum, November 1995
- [GREI96] Greim, H.: Toxikologie: Eine Einführung für Naturwissenschaftler und Mediziner, Herausgeber H.Greim und E. Deml.,
VCH Weinheim, 1996
- [HART83] Hartzell, G.E.; Packham, S.C.; Switzer, W.G.:
Toxic Products from Fires.
Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 1983, Vol.44, No.4, S.248-255
- [HOLL76] Holleman, A.F.; Wiberg, E.: Lehrbuch der Anorganischen Chemie
Walter de Gruyter Berlin 1976
- [HUGG87] Huggett, C.; Levin, B.C.: Toxicity of the Pyrolysis and Combustion Products of Poly (Vinyl Chlorides): A Literature Assessment.
Fire and Materials, 1987, Vol.11, S.131-142
- [HULP87] Hulpke, H.: Methoden zur Untersuchung von Brandgasen.
Aus: Brände und ihre Vermeidung, Reihe Chemie und Fortschritt,
Herausgeber VCI, 1987, No.1, S.37-41
- [HUMM76] Moore, W.J.; Hummel D.O.: Physikalische Chemie
Walter de Gruyter Berlin 1976
- [IMNW95] Jahresbericht 1994 über das Brandschutzwesen im Land Nordrhein-Westfalen, Innenministerium des Landes NRW, August 1995
- [ISO9122-T1] Toxicity testing of fire effluents - Part 1: General.
ISO/IEC TR9122-1, September 1989
- [ISO9122-T2] Toxicity testing of fire effluents - Part 2: Guidelines for biological assays to determine the acute inhalation toxicity of fire effluents (basic principles, criteria and methodology).
ISO TR9122-2, 1989

- [ISO9122-T3] Toxicity testing of fire effluents - Part 3: Methods for the analysis of gases and vapours in fire effluents.
ISO TR9122-3, Mai 1993
- [ISO9122-T4] Toxicity testing of fire effluents - Part 4: The fire model (furnaces and combustion apparatus used in small-scale testing).
ISO TR9122-4, Mai 1993
- [ISO9122-T5] Toxicity testing of fire effluents - Part 5: Prediction of toxic effects of fire effluents.
ISO TR9122-5, 1993
- [ISO9122-T6] Toxicity testing of fire effluents - Part 6: Guidance for regulators and specifiers on the assessment of toxic hazard in fires in buildings and transport.
ISO TR9122-6, Februar 1994
- [JANS92] Jansen, C.M.A.: Survey study of the products which can be released during a fire.
Aus: Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials.
Forschungsarbeit der TNO, Nr. CPR 16 E, led. 1992, Niederlande
- [KOIV94] Koivisto, R.; Nielsen, D.: FIRE - a database on chemical warehouse fires.
J. Loss. Prev. Process Ind., 1994, Vol.7, No.3, S.209-215
- [LAUR92] Laursen, K.K.; Ferek, R.J.; Hobbs, P.V. und Rasmussen, R.A.:
Emission factors for particles, elemental carbon, and trace gases from the Kuwait oil fires. Journal of Geophysical Research, 1992, Vol.97, No.D13, S.14491-14497
- [LEMK94] Lemke, E. (Hrsg); Brauer, L.: Handbuch Brandschutz.
ECOMED, Landsberg/Lech, 1994, Loseblatt-Ausgabe
- [LEVI87] Levin, B.C.: A Summary of the NBS Literature Reviews on the Chemical Nature and Toxicity of the Pyrolysis and Combustion Products from seven Plastics: Acrylnitrile-Butadiene-Styrene (ABS), Nylons, Polyesters, Polyethylenes, Polystyrenes, Poly (Vinyl Chlorides) and Rigid.
Fire and Materials, 1987, Vol.11, S.143-157
- [MAK96] MAK- und BAT-Werte-Liste 1996,
DFG, Mitteilung 32, VCH Weinheim, 1996
- [MARL94] Marlair, G.; Prager, F.H.; Sand, H.: The Behaviour of Commercially Important Diisocyanates in Fire Conditions
Part II: Polymeric Diphenyl Methane-4,4'-diisocyanate (PMDI)
Fire and Materials, 1994, Vol.18, S.17-30
- [MATZ94] Matz, G.; Harder, A.; Schillings, A.; Rechenbach, P.:
Mobiles Massenspektrometer im Feuerwehreinsatz.
Bericht für Brandschutz - Deutsche Feuerwehrzeitung, Hamburg, 28.02.94
- [MATZ95] Matz, G.: Möglichkeiten und Grenzen eines mobilen Massenspektrometers für die Vor-Ort-Analyse
vfdb Jahresfachtagung, 11-15. Juni 1995, S. 55-69
vfdb, Postfach 1231, 48338 Altenberge

- [MAUR93] Maurer, R.: Kunststoffbrände und Dioxinbildung.
brandschutz / Deutsche Feuerwehrzeitung, 1993, Vol.1, S.14-15
- [MERZ86] Merz, W.; Neu, H.-J.; Kuck, M.; Winkler, K.; Gorbach, S.; Muffler, H.:
Ein Verfahren zur Erzeugung und analytischen Charakterisierung von
Brandgasen.
Fresenius Z. Anal. Chemie., 1986, Vol.325, S.449-460
- [MIKK94] Mikkola, E.; Kallonen, R.: Combustion of Chemical Substances and the
Impact on the Environment of the Fire Products.
Cone Calorimeter Experiments.
VTT Building Technology Fire Technology, Espoo, Finland, 1994, S.35
- [MORI86] Morikawa, T.; Yanai, E.: Toxic gases evolution from air-controlled fires
in a semi-full scale room.
J. Fire Sciences, September/October 1986, Vol.4., S.299-314
- [MORR83] Morrison, R.T.; Boyd R.N.: Lehrbuch der Organischen Chemie
Verlag Chemie Weinheim 1983
- [OEST93] Oestmann, B.A.L.; Tsantaridis, L.D.: Smoke data from the cone
calorimeter for comparison with the room fire test.
Fire and Materials, 17 (1993) 4, S.191-200
- [ORTN95] Ortner, Hensler: Beurteilung von Kunststoffbränden
Bei einer Störung des bestimmungsmäßigen Betriebs entstehende Stoffe
nach den Anhängen II-IV BImSchV.
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, AZ. 1/7-1515-21294
- [PAAB87a] Paabo, M.; Levin, B.C.: A Literature review of the Chemicals Nature
and Toxicity of the Decomposition Products of Polyethylenes.
Fire and Materials, 1987, Vol.11, S.55-70
- [RECH95] Rechenbach, P.: Bedarf einer Vor-Ort-Analytik an Feuerwehreinsatzstoffen
vfdB Jahresfachtagung, 11-15. Juni 1995, S. 45-52
vfdB, Postfach 1231, 48338 Altenberge
- [ROEM86] Römer, R.; Hemmer, G.: Schadstoffemissionsermittlung von Freibränden
durch Freibrand-Simulation.
Chem.-Ing.-Tech., 1986, Vol.58, No.8, S.677-679
- [ROEM89] Römpp Chemie Lexikon Bd.1, (Hrsg.: Falbe, J.; Regitz, M.),
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1989
- [ROTH90] Roth, L.; Weller, U.: Gefährliche chemische Reaktionen.
ECOMED, Landsberg/Lech, 1990, Loseblatt-Ausgabe
- [SAND88] Sand, H.: Bewertung des Schadgasemissionsrisikos bei Bränden im
Industriebereich.
Technische Überwachung, 1988, Vol.29, No.10, S.340-343
- [SCHU91] Schuppe, F.: Gefahr bei jedem Einsatz?
Dioxine - ein Überblick für die Feuerwehr
IdF Sachsen-Anhalt Unabhängige Brandschutzzeitschrift (UB), 1991,
Vol.41, No.2, S.10-12
- [SCHU94] Schuppe, F.: Schadgase im Brandfall - Brandstoffspezifisch, Relevanz und
Bewertungskonzept. IdF Sachsen-Anhalt

- [SEEG87] Seeger, P.G.: Chemie und Physik des Brandes. Brände und ihre Vermeidung, Reihe Chemie und Fortschritt, No.1, 1987, S.21-28
- [SIMM95] Simmons, R.F.: Fire Chemistry Combustion Fundamentals of Fire, 1995, S. 405-473
- [SIST89] Sistovaris, N.; Asshauer, J.; Jeske, V.; Schuster, F.: Combustion processes in laboratory devices - fire simulations using the lambda' concept - extend of formation of hydrocyanic acid and aromatic compounds. Fresenius Z. Anal. Chem. Vol. 334, 1989, S. 221-225
- [SMIT94] Smith-Hansen, L.; Jorgensen, K.H.: Combustion products from pesticides and other chemical substances determine by use of DIN53 436. Fire safety Journal, Vol.23, 1994, S.51-66
- [SMIT94b] Smith-Hansen, L.: STEP - Combustion of Chemical Substances and the Impact on the Environment of the Fire Products - Final Report Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, August 1994
- [SNEL89] Snell, J.E.: Smoke Toxicity Hazard: A Status Report LAB DATA, 1989, S.4-9
- [TEWA92] Tewarson, A.: Nonthermal fire damage. Journal of Fire Sciences, 10 (1992) 3, S.188-242
- [TEWA93a] Tewarson, A.; Macaione, D.P.: Polymers and composites - an examination of fire spread and generation of heat and fire products. Journal of Fire Sciences, Vol.11, 1993, S.424-441
- [THEI91] Theisen, J.; Funcke, W.; Hamm, S.: Untersuchung der möglichen Umweltgefährdung beim Brand von Kunststoffen GfA Gesellschaft für Arbeitsplatz- und Umweltanalytik mbH, Münster Roxel, 1991
- [TRGS514] Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS): Anhang II zu TRGS 514 - Gefahren bei Bränden. Bundesarbeitsblatt und Bundesgesundheitsblatt
- [TRGS905] Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS): TRGS 905 - Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe. Ausgabe April 1995 (BArbBl. Nr. 4/1995), zuletzt geändert durch Bek. des BMA (BArbBl. Nr. 10/1995)
- [VCI87b] Verfahren zur Erzeugung und analytischen Charakterisierung von Brandgasen, Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt, April 1987
- [VDS94a] Leitlinie zur Brandschadensanierung, Verband der Sachversicherer, VdS01.94 (01)
- [VFDB92] Richtlinie zur Messung und Bewertung von Schadstoffkonzentrationen beim Feuerwehreinsatz. VFDB-Richtlinie 10/01, erstellt vom Referat 10 - Umweltschutz des Technisch-Wissenschaftlichen Beirates der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Blumenstr. 34, 80331 München

9 Adressen

American Society for Testing and
Materials (ASTM)
1916 Race Street
USA PA 19103 Philadelphia

Baunemann, Dr.
Verband der Kunststoffherzeugenden
Industrie (vke)
Karlstr. 21
D 60329 Frankfurt
Tel. (0 69) 25 56 - 13 17

BF Hamburg
Westfalenweg 1
D 20099 Hamburg
Rechenbach, Dipl.-Ing. Peer
Tel. (040) 28 82 - 43 01
E-mail 040810924-0001@t-online.de
Tasch, Hr.
Tel. (040) 28 82 - 30 32
E-mail 040810924-0001@t-online.de

Brand-Verhütungs-Dienst für Industrie und
Gewerbe
Nüschelerstr. 45
CH 8001 Zürich
Tel. CH - 01 - 2 11 22 35

Building Research Establishment Garston,
WATFORT
UK WD 2 JR Hertfordshire
Cox, Geoff
E-mail coxg@brush.bre.co.uk
Fardell, P.J.

Bundesanstalt für Materialforschung und
-prüfung (BAM)
Laboratorium Brandingenieurwesen der
Fachgruppe Ingenieurbau
Unter den Eichen 87

D 12205 Berlin
Tel. (0 30) 81 04 - 0
Fax (0 30) 811 20 29

Chien, Dr. William P.
Hazardous Materials Bureau, Office of
Fire Prevention and Control
State of New York - Dept. of State
USA NY12231-0001 Albany

Christiansen, M.Sc.(Ing.) Virve
VTT Manufacturing Technology
Tekniikatu 1, P.O.Box 1701
FIN 33101 Tampere
Tel. 358 33 16 32 51
Fax 358 31 3 16 32 51
E-mail Virve.Christiansen@vt.fi

Delain, Mr. Gary
New York State Office of Fire Prevention
and Control - Fire Toxicity Data Bank
PO Box 1958
USA NY 12201 Albany

Deutsches Institut für Normung (DIN)
Normenausschuß "Feuerwehrwesen" im
DIN
Burggrafenstr. 4-10
D 10787 Berlin
Tel. (0 30) 26 01 - 3 41
Fax (0 30) 26 01 - 2 31

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
(FfB) an der Universität Karlsruhe (TH)
Hertzstraße 16
D 76187 Karlsruhe
Basmer, Dipl.-Ing. Peter
Tel. (07 21) 6 08 45 63
Fax (07 21) 75 54 67
John, Dipl.-Ing. Reiner

Adressen

Tel. (07 21) 6 08 44 73

Fax (07 21) 75 54 67

Forschungs- und Materialprüfungsanstalt

Baden-Württemberg

Otto-Graf-Institut

Plattenwaldring 4

D 70569 Stuttgart

Tel. (07 11) 6 85 - 22 86

Fax (07 11) 6 85 - 68 29

Gesellschaft für Arbeitsplatz- und

Umweltanalytik mbH

Otto-Hahn-Str. 22

D 48161 Münster-Roxel

Groupe de Travail Incendie du Comité

Européen des Assurances (CEA)

(Ständige Technische Kommission der

Arbeitsgruppe Feuer des CEA,

Generalsekretariat)

Rue Pillet-Will 11

F 75009 Paris

Hall, John R.

National Fire Protection Agency (NFPA)

USA MA02269-9101 Quincy

Harder, Dipl.-Ing. Alexander

TU Hamburg-Harburg

Harburger Schloßstraße 20

D 21079 Hamburg

Tel. (0 40) 77 18 - 34 05

Fax (0 40) 77 18 - 23 82

Hentschel, Frau

Referat Umwelttoxikologie und
Gefahrstoffe

Landesumweltamt Brandenburg

Postfach 139

D 15201 Frankfurt

Tel. (03 35) 55 50 - 4 29 / -4 24

Fax (03 35) 55 50 - 4 01

Hosser, Prof. Dr.-Ing. Dietmar

Institut für Baustoffe, Massivbau und

Brandschutz (iBMB) der

TU Braunschweig

Beethovenstraße 52

D 38106 Braunschweig

Tel. (05 31) 39 15 441

Hutzinger, Prof. Dr. Otto

LS für ökol. Chemie + Geochemie der

Universität Bayreuth

Universitätsstr.

D 95447 Bayreuth

Tel. (09 21) 55 - 21 55 / 22 54

Fax (09 21) 5 46 26

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
(IdF)

Biederitzer Str. 5

D 39 175 Heyrothsberge

Grabski, BD Prof. Dr. Reinhard

Tel. (03 92 92) 61 - 02

Fax (03 92 92) 61 - 649

Pleiß, Dipl.-Chem. Dr. Georg

Tel. (03 91 92) 20 13 App 374

Steinbach, Dipl.-Chem. Klaus

Tel. (03 92 92) 61 - 6 40

Fax (03 92 92) 61 - 6 49

Institut für Baustoffe, Massivbau und

Brandschutz (iBMB) der

TU Braunschweig

Beethovenstr. 52

D 38106 Braunschweig

Tel. (05 31) 3 91 54 31

Fax (05 31) 3 91 45 73

Institut für Ökologische Chemie

Forschungszentrum für Umwelt und

Gesundheit (GSF) GmbH, Neuherberg

Postfach 11 29, Ingolstädter Landstr. 1

D 85764 Oberschleißheim

Kettrup, Prof. Dr. Antonius

Tel. (089) 31 87 - 40 47

Fax (089) 31 87 - 33 71

Lenoir, Dr. Dieter

Tel. (089) 31 87 - 29 60

Fax (089) 31 87 - 33 71

Schramm, Dr. Karl-Werner

Tel. (089) 31 87 - 31 47

Fax (089) 31 87 - 33 71

Institut für Schadensverhütung und
Schadensforschung der öffentlich-
rechtlichen Versicherer e.V.

Preetzer Str. 75

D 24143 Kiel

Tel. (04 31) 77 57 80

Fax (04 31) 77 57 78 99

Institut für Toxikologie,
Forschungszentrum für Umwelt und
Gesundheit (GSF) GmbH, Neuherberg
Postfach 11 29, Ingolstädter Landstr. 1
D 85758 Oberschleißheim

Greim, Prof. Dr. med. H.

Tel. (089) 31 87 - 24 46

Fax (089) 31 87 - 34 49

Buff, Dr. Klaus

Tel. (089) 31 87 - 31 34

Fax (089) 31 87 - 34 49

E-mail buff@gsf.de

Institut für Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik e.V. (UMSICHT)

Osterfelder Str.3

D 46047 Oberhausen

Tel. (02 08) 85 98 - 0

Fax (02 08) 85 98 - 290

Beard, Adrian, Dr.

Tel. (02 08) 85 98 - 231

Danzig, Joachim, Dr.

Tel. (02 08) 85 98 - 145

Marzi, Thomas, Dr.

Tel. (02 08) 85 98 - 230

Stein, Jürgen, Dipl.-Ing.

Tel. (02 08) 85 98 - 128

International Association for Fire Safety
Science

Secretariat - c/o SFPE

One Liberty Square

USA MA02109-4825 Boston

Kakko, R.

Safety Engineering Laboratory

Technical Research Centre of Finland

P. O. Box 1701

FIN 33101 Tampere

Klingsch, Prof. Dr.-Ing. Wolfram

Fachgebiet Baustofftechnologie und

Brandschutz im Fachbereich

Bauingenieurwesen, BUGH Wuppertal

Gaußstraße 20

D 42097 Wuppertal

Tel. (02 02) 439 31 28

Fax (02 02) 825 60

Landesumweltamt NRW

Wallneyer Str. 6

D 45133 Essen

Gruppe 42

Falkenberg, Dipl.-Ing. Egon

Tel. (02 01) 7 20 06 - 55

Fax (02 01) 79 95 - 4 46

Dez. 314

Kremeskötter, Dipl.-Ing.

Dez. 314

Mentfowitz, Dr. rer. nat. Joachim

Tel. (02 01) 79 95 - 3 03 / 4

Fax (02 01) 79 95 - 4 46

Dez. 422

Gregel, Dr. Rüdiger

Tel. (02 01) 7 20 06 - 21

Fax (02 01) 79 95 - 4 46

Dez. 425 - Fachinformationszentrum (FIZ)

Conrady-Pigorsch, Dr. Rita

Tel. (02 01) 79 95 - 0
Fax (02 01) 79 95 - 446/447

Luck, Prof. Dr.-Ing. Heinz
Brandentdeckungs-Laboratorium,
Fachgebiet Nachrichtentechnik im
Fachbereich Elektrotechnik
Gerhard-Mercator-Universität-GH
Duisburg
Bismarckstr. 90
D 47048 Duisburg
Tel. (02 03) 3 79 - 33 63
Fax (02 03) 3 79 - 29 02

Maansson, M.
Department of Fire Technology
Swedish National Testing and Research
Institute
P. O. Box 857 - Brinellgatan 4
S 50115 Boras
Tel. + 46 33 16 50 00 / 51 94
Fax + 46 33 11 77 59

Markert, Dr. Frank
Risoe National Laboratory
P.O. Box 49
DK 4000 Roskilde
Tel. 45 4677 51 28
Fax 45 46 75 71 01
E-mail frank.markert@risoe.dk

Marlair, Guy
Institut National de l'Environnement
Industriel et des Risques (INERIS)
Parc Technologique ALATA, B.P. n°2
F 60550 Verneuil-en-Halatte
Tel. (33) 44 55 63 70
Fax (33) 44 55 65 10

Marzi, Dr. Willy B.
Bundesamt für Zivilschutz (BZS)
Postfach 20 03 51

D 53133 Bonn
Tel. (02 28) 9 40 - 19 23

Matz, Prof. Dr.-Ing. Gerhard
Arbeitsbereich Meßtechnik
TU Hamburg-Harburg
Harburger Schloßstraße 20
D 21079 Hamburg
Tel. (0 40) 77 18 - 31 13
Fax (0 40) 77 18 - 23 82

McLachlan, Dr. Michael
LS für ökol. Chemie + Geochemie der
Universität Bayreuth
Universitätsstr.
D 95447 Bayreuth
Tel. (09 21) 55 - 21 49
Fax (09 21) 55 - 23 34

Mikkola, Esko
VTT - Technical Research Centre
Building Technology, Fire Technology
Kivimieheitie 4, P. O. Box 1803
FIN 02044 Espoo
Tel. + 358 0 456 1
Fax + 358 0 456 48 15
E-mail esko.mikkola@vtt.fi

Molag, M.
TNO - Institute of Environmental &
Energy Technology
P. O. Box 342
NL 7300 AH Apeldoorn

Moodie, K.
Explosion and Flame Laboratory
Health and Safety Executive, Research and
Laboratory Services Division
UK SK17 9JN Buxton
Tel. Int + 44 298 262 11 / 2224
Fax Int + 44 298 795 14

Müller, Dr. Dietrich
Uni Bochum - Analytische Chemie -

Arbeitsgruppe Massenspektrometrie
 Universitätsstr. 150
 D 44780 Bochum
 Tel. (02 34) 7 00 - 54 65
 Fax (02 34) 70 94 - 1 09

National Fire Protection Association
 1 Batterymarck Park
 USA Quincy , Massachusetts
 Tel. 617 770 3000

National Institute of Standards and
 Technology (NIST)
 Building and Fire Research Laboratory
 USA MD 20899 Gaithersburg
 Bukowski, Richard
 Tel. 001 (301) 975 - 68 53
 E-mail bukowski@enh.nist.gov
 Didion, David A.
 Tel. 001 (301) 975 - 58 81
 E-mail dad@enh.nist.gov.
 Kashiwagi, Takashi
 Tel. 001 (301) 975 - 66 99
 E-mail tkfire@tiber.nist.gov.
 Babrauskas, Vytenis
 Levin, Barbara C.

National Technical Information Service
 5285 Port Royal Road
 USA VA 22161 Springfield
 Tel. 001-703 / 487-4600

Nüßler, Dr. Hans-Dieter
 Berufsfeuerwehr Aachen
 Stolberger Str. 155
 D 52068 Aachen
 Tel. (02 41) 51 85 - 1

Ortner, Dr.
 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
 Elektra Straße
 D 81925 München

Tel. 089-9214-3463
 Fax 089-9214-3281

Petter, Mag. Franz
 Institut für Genetik der
 Universität Salzburg
 Hellbrunner Str. 34
 A 5020 Salzburg
 Tel. (06 62) 80 44 - 57 73
 Fax (06 62) 80 44 - 57 95
 E-mail petter@edvz.sbg.ac.at

Purser, David A.
 Department of Inhalations Toxicology,
 Huntingdon Research Centre
 GB PE18 6ES Huntingdon,
 Cambridgeshire

Rodewald, Dipl.-Chem. Dr. Gisbert
 Landesfeuerwehrschule NRW
 Postfach 49 67
 D 48028 Münster
 Tel. (02 51) 31 12 - 102

Roßmann, Dr. Günther
 Verband der Sachversicherer e.V. (VdS)
 Riehler Str. 36
 D 50668 Köln
 Tel. (02 21) 77 66 - 1 59
 Fax (02 21) 77 66 - 1 09

Sklorz, Dipl.-Geoök. Martin
 LS für ökol. Chemie + Geochemie der
 Universität Bayreuth
 Universitätsstr. 30
 D 95447 Bayreuth
 Tel. (09 21) 55 - 36 44 / 46
 Fax (09 21) 546 26
 E-mail martin.sklorz@uni-bayreuth.de

Smith-Hansen, Dr. Lene
 Risøe National Laboratory
 Frederiksborgvej 399
 DK 4000 Roskilde

Adressen

Tel. 45 - 423 - 712 12 /3082

Fax 45 - 467 - 571 01

Staatliches Materialprüfungsamt (MPA)

Nordrhein-Westfalen

Marsbruchstr. 186

D 44287 Dortmund

Tel. (02 31) 45 02 - 2 01

Fax (02 31) 45 85 49

Staatliches Materialprüfungsamt (MPA)

Nordrhein-Westfalen

-Außenstelle Erwitte-

Auf den Thränen 2

D 59597 Erwitte

Tel. (0 29 43) 8 97 - 0

Fax (0 29 43) 8 97 - 89

Thoelen, Bert

Brandweer Informatiecentrum Gevaarlijke
Stoffen

Technische Schoolstraat 43 A

B 2440 Geel

Tel. B - (014) 58 45 47

Fax B - (014) 58 35 16

Troitzsch, Dr. Jürgen

Berater für Brandschutz

Rheinstr. 21

D 65185 Wiesbaden

Tel. 06 11 - 37 42 32

Fax 06 11 - 30 18 35

Umweltbundesamt (UBA)

Postfach 33 00 22

D 14191 Berlin

Universität Freiburg

Arbeitsgruppe Feuerökologie und

Biomasseverbrennung

Bertoldstr. 17

D 79098 Freiburg

Tel. (07 61) 2 03 - 37 57

Fax (07 61) 2 03 - 37 31

Universität Kaiserslautern

Fachbereich A / RU / BI

Im Kästenbusch 15

D 67434 Neustadt

Becker, Prof. Dipl.-Ing. Wolfram

Tel. (0 63 21) 35 45 23

Fax (0 63 21) 35 45 23

Vereinigung zur Förderung des Deutschen
Brandschutzes (vfdb) e. V.

Geschäfts- und Kassenstelle

Postfach 1231

D 48338 Altenberge

Trepesch, Branddirektor, Dipl.-Ing., Dieter

Lipperheidestr. 16a

D 81245 München

Tel. (0 89) 7 80 45 - 300

Fax (0 89) 7 80 45 - 398

Wickström, Prof. Dr. Ulf

Department of Fire Technology

Swedish National Testing and Research

Institute

P. O. Box 857 - Brinellgatan 4

S 50115 Borås

Tel. Int + 46 33 16 50 00 / 51 94

Fax Int + 46 33 11 77 59

Wieneke, Dipl.-Chem. A.

Fachgebiet Brand- u. Explosionsschutz im

Fachbereich Sicherheitstechnik

BUGH Wuppertal

Gaußstraße 20

D 42097 Wuppertal

E-mail wieneke@wr3.uni-

wuppertal.de

10 Anhang

10.1 Fachzeitschriften

Fachzeitschriften mit gelegentlichen Veröffentlichungen zu Brandprodukten:

- J. Agric. Food Chem.
- J. of Analytical and Applied Pyrolysis
- Combustion and Flame
- Chemosphere
- Environ. Sci. Technol.
- Fire and Flammability Bulletin
- Fire Journal
- Fire Prevention
- Fire Technology
- Fresenius Z. Anal. Chem.
- J. Loss Prev. Process Ind.
- Revue générale de Sécurité (RGS)
- Staub - Reinhaltung der Luft
- Technische Überwachung
- Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung (UWSF)

10.2 Stoffgruppen

In der Datenbank PHLOGISTON vorgesehene Stoffgruppenbezeichnungen zur Charakterisierung von Stoffen:

- Salz
- metallorganisch
- anorganisch
- Metall

- aliphatisch
- unverzweigt
- verzweigt
- polyaromatisch, nicht kondensiert
- polycyclisch
- alicyclisch

- Si-haltig
- Metall-haltig
- H-haltig
- C-haltig
- O-haltig
- Cl-haltig

- Cl-Phenol
- FCKW
- PCB

- Ester (Mineralsäure-)
- Alkohol, arom. (R-OH)
- Dreifachbindung
- Alk(en)yl
- Acetal (R-CH(OR)(OR))
- Carbonsäure (R-COOH)
- Aldehyd (R-CHO)
- Doppelbindung
- Keton (R-CO-R)
- Ether (R-O-R)
- Ester (R-COO-R)
- Alkohol, aliph. und alicycl. (R-OH)
- Halogenid, aliph. und alicycl.
- Halogenid, arom.
- Säurehalogenid (R-CO-X)
- Sulfon (R-SO₂-R)
- Thiocarbonyl (R-C(=S)-R)
- Disulfid (R-S-R)
- Thiol (R-SH)

- polymer
- heterocyclisch, O
- aromatisch
- polyaromatisch, kondensiert
- heterocyclisch, S
- heterocyclisch, N

- F-haltig
- Br-haltig
- Halogen-haltig
- P-haltig
- S-haltig
- N-haltig

- Cl-Benzol
- Dioxin / Furan

- Sulfinsäure (R-SOOH)
- Sulfonsäure (R-SO₂OH)
- Nitril (R-CN)
- Amin, tert. (R₃-N)
- Amin, sek. (R-N₂H)
- Amin, primär (R-NH₂)
- Imin (R-NH)
- Isonitril (R-NC)
- Amid (R-CO-NR₂)
- Nitroso (R-NO)
- Nitro (R-NO₂)
- Nitrat (R-ONO₂)
- Isocyanat (R-NCO)
- Thiophosphat (PO_nS(4-n)-R_x)
- Thiocyanat (R-SCN)

10.3 Datensätze zu schwefelhaltigen Brandprodukten

Brandstoff	Apparat	Flamme	Temp.	O ₂	CO ₂ /CO-V.	Strahl.W.	Brandprgt.	Medium	Typ	Op	min-W.	Op	max-Wert	Einheit	Quelle	f(A)	Toxi
Parathion	VCI	k.Angabe	950°C	21%-vol	-	-	BzThioPhen	Brandgas	A				5	mg/g	MER298		
Dimethoat	COON	ja	-	-	9 - 15-	25-50kW/m ²	COCS	Brandgas	A				5	mg/g	MIKK94		
MParathion	COON	ja	-	15-21%-	1.4 - 3-	50kW/m ²	COCS	Brandgas	A				7	mg/g	MIKK94		
Dimethoat	COON	ja	-	-	9 - 15-	25-50kW/m ²	CS2	Brandgas	A				2	mg/g	MIKK94		
MParathion	COON	ja	-	15-21%-	1.4 - 3-	50kW/m ²	CS2	Brandgas	A				6	mg/g	MIKK94		
Azinphos-M	DIN	nein	-	-	-	-	DBzThioPhen	Brandgas	Q						SMIT94		
Azinphos-M	DIN	nein	-	-	-	-	DBzThioPhen	Brandgas	Q						SMIT94		
Azinphos-M	DIN	ja	-	-	-	-	DBzThioPhen	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	DiMDisulfid	Brandgas	A				53,3	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	DiMDisulfid	Brandgas	A				3,6	mg/g	KAKK95		
MParathion	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	DiMDisulfid	Brandgas	A				22,4	mg/g	KAKK95		
MParathion	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	DiMDisulfid	Brandgas	A				26,4	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	Dimethoat	Brandgas	A				7,8	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	Dimethoat	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	Dimethoat	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	NER	ja	-	-	-	-	Dimethoat	Rückstand	Q						CWIK92		
Dimethoat	NER	ja	-	-	-	-	Dimethoat	Kondensat	Q						CWIK92		
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	DiMSulfid	Brandgas	A				8,4	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	DiMSulfid	Brandgas	A				22,1	mg/g	KAKK95		
MParathion	DIN	ja	900°C	21%-vol	-	-	DiMSulfid	Brandgas	A				4	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	DiMTetSulfid	Brandgas	A				3,6	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	DiMTetSulfid	Brandgas	A				2,6	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	DiMTSulfid	Brandgas	A				6,5	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	DiMTSulfid	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	DiMTSulfid	Brandgas	Q						SMIT94		
Diazinon	LABO	ja	600°C bzw. 200-950°C	21%-vol	4-23mol/mol	-	H ₂ S	Brandgas	A	<	0,4		37	mg/g	KUEB91	0,33	5,3
Malathion	LABO	k.Angabe	-	-	-	-	H ₂ S	Brandgas	Q						KENN72		
Zineb	LABO	k.Angabe	-	-	-	-	H ₂ S	Brandgas	Q						KENN72		
Reifen	RALUM	ja	-	21%-vol	-	-	KW-S	Brandgas	A				131	ug/g	LEM193		
Reifen	RALUM	ja	-	-	-	-	KW-S	Brandgas	A				229	ug/g	LEM193		
Reifen	RALUM	ja	-	21%-vol	-	-	KW-S	Brandgas	K				0,09	mg/m ³	LEM193		
Reifen	RALUM	ja	-	-	-	-	KW-S	Brandgas	K				0,13	mg/m ³	LEM193		
Dimethoat	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	M3PhThioat	Brandgas	A				9,1	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	M3PhThioat	Brandgas	A				6,6	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	NER	ja	-	-	12mol/mol	-	Mercaptane	Brandgas	A				87,5	mg/g	CWIK92		
MParathion	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	MParathion	Brandgas	A				112,2	mg/g	KAKK95		
MParathion	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	MParathion	Brandgas	A				137,6	mg/g	KAKK95		
MParathion	DIN	ja	900°C	21%-vol	-	-	MParathion	Brandgas	A				6,4	mg/g	KAKK95		
MParathion	DIN	nein	-	-	-	-	MParathion	Brandgas	Q						SMIT94		
MParathion	DIN	nein	-	-	-	-	MParathion	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	OM3PDthioat	Brandgas	A				3	mg/g	KAKK95		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	S	Brandgas	Q						SMIT94		
Holz	KA	k.Angabe	-	-	-	-	S	Schwelsta	A		0,001		0,029	mg/g	LARS93		
Dimethoat	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	SM3PDthioat	Brandgas	A				3,9	mg/g	KAKK95		

Tab. 10.1: Ausgewählte und verkürzt wiedergegebene Datensätze zu schwefelhaltigen Brandprodukten (Pestizide, Polysulfon, Holz, Rohöl und Reifen).

Brandstoff	Appar	Flamme	Temp	O ₂	CO ₂ /CO-V	Strahl W	Brandprod	Medium	Typ	Op	min-W	Op	max-Wert	Einheit	Quelle	(f.A)	Toxi(ETW)
Azinphos-M	DIN	ja	900°C	21%-vol	22.8-	-	SO ₂	Brandgas	A	>	150	<	403	mg/g	SMIT94		
Azinphos-M	DIN	nein	700°C	21%-vol	2.8-	-	SO ₂	Brandgas	A	>	150	<	403	mg/g	SMIT94		
Azinphos-M	DIN	nein	500°C	21%-vol	3.1-	-	SO ₂	Brandgas	A	>	150	<	403	mg/g	SMIT94		
Diazinon	LABO	ja	600°C bzw. 200-950°C	21%-vol	4-23mol/mol	-	Brandgas	Brandgas	A	>	70	<	220	mg/g	KUEB91	1,05	550,0
Dimethoat	CON	ja	-	-	9 - 15-	25-50kW/m2	SO ₂	Brandgas	A		510		560	mg/g	MIKK94	1,00	1400,0
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A	-			190	mg/g	KAKK95	0,34	475,0
Dimethoat	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A				440	mg/g	KAKK95	0,79	1100,0
Dimethoat	DIN	ja	900°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A				470	mg/g	KAKK95	0,84	1175,0
Dimethoat	DIN	ja	900°C	21%-vol	>100-	-	SO ₂	Brandgas	A				0,15	g/g	SMIT94	0,27	375,0
Dimethoat	DIN	nein	700°C	21%-vol	3.9-	-	SO ₂	Brandgas	A	>	150	<	558	mg/g	SMIT94		
Dimethoat	DIN	ja	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	3.7-	-	SO ₂	Brandgas	A	>	150	<	558	mg/g	SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	NER	ja	-	-	12mol/mol	-	SO ₂	Brandgas	A				175	mg/g	CWIK92	0,31	437,5
Holz	KA	k.Angabe	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	A		0,16		0,24	mg/g	LARS93		0,60
Malathion	LABO	k.Angabe	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	Q						KENN72		
MParathion	CON	ja	-	15-21%-	1.4 - 3-	50kW/m2	Brandgas	Brandgas	A		160		240	mg/g	MIKK94	0,99	600,0
MParathion	CON	ja	-	-	1.9 - 3.4-	25-50kW/m2	SO ₂	Brandgas	A		170		230	mg/g	MIKK94	0,94	575,0
MParathion	DIN	k.Angabe	700°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A				180	mg/g	KAKK95	0,74	450,0
MParathion	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A				170	mg/g	KAKK95	0,70	425,0
MParathion	DIN	ja	900°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A				230	mg/g	KAKK95	0,94	575,0
MParathion	DIN	nein	500°C	21%-vol	1.9-	-	SO ₂	Brandgas	A				0,12	g/g	SMIT94	0,49	300,0
MParathion	DIN	nein	700°C	21%-vol	5.6-	-	SO ₂	Brandgas	A				0,22	g/g	SMIT94	0,90	550,0
MParathion	DIN	ja	900°C	21%-vol	153-	-	SO ₂	Brandgas	A				0,05	g/g	SMIT94	0,21	125,0
Parathion	VCI	k.Angabe	950°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A		31		34	mg/g	MERZ86	0,15	85,0
Parathion	VCI	k.Angabe	600°C	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	A		82		85	mg/g	MERZ86	0,39	212,5
Polysulfon	KA	k.Angabe	1000°C	-	-	-	SO ₂	Brandgas	A				131	mg/g	SCHU94		327,5
Reifen	RAUM	ja	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	Q			ca	50	ppm-vol	LEM93		
Reifen	RAUM	ja	-	21%-vol	-	-	SO ₂	Brandgas	K				100	ppm-vol	LEM93		
Rohöl	EFB	ja	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	A		31		39	mg/g	LAUR92		97,5
Rohöl	EFB	ja	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	A				16	mg/g	LAUR92		40,0
Rohöl	EFB	ja	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	A		22		24	mg/g	LAUR92		60,0
Rohöl	EFB	ja	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	A		32		70	mg/g	LAUR92		175,0
Rohöl	EFB	ja	-	-	-	-	SO ₂	Brandgas	A		18		33	mg/g	LAUR92		82,5
Parathion	VCI	k.Angabe	950°C	21%-vol	-	-	SO ₃	Brandgas	A				4	mg/g	MERZ86	0,01	
Parathion	VCI	k.Angabe	600°C	21%-vol	-	-	SO ₃	Brandgas	A				25	mg/g	MERZ86	0,09	
Dimethoat	DIN	nein	500°C	21%-vol	-	-	ThiazolMThol	Brandgas	A				3,6	mg/g	KAKK95		
Azinphos-M	DIN	nein	-	-	-	-	TMDTP	Brandgas	Q						SMIT94		
Azinphos-M	DIN	nein	-	-	-	-	TMDTP	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	TMDTP	Brandgas	Q						SMIT94		
Dimethoat	DIN	nein	-	-	-	-	TMDTP	Brandgas	Q						SMIT94		

Forts. Tab. 10.1: Ausgewählte und verkürzt wiedergegebene Datensätze zu schwefelhaltigen Brandprodukten (Pestizide, Polysulfon, Holz, Rohöl und Reifen).

10.4 Thermodynamische Grundlagen von Verbrennungsvorgängen

Für den Ablauf einer chemischen Reaktion ist die Differenz zwischen der freien Enthalpie der Brandprodukte $G(\text{Pr})$ und der freien Enthalpie der Brandstoffe $G(\text{Ed})$ entscheidend:

$$G(\text{Pr}) - G(\text{Ed}) = \Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$$

mit ΔH : Enthalpiedifferenz
 ΔS : Entropiedifferenz und
 T : absolute Temperatur

Der Verlauf der freien Enthalpie für eine Verbrennungsreaktion ist in Abb.10.1 dargestellt.

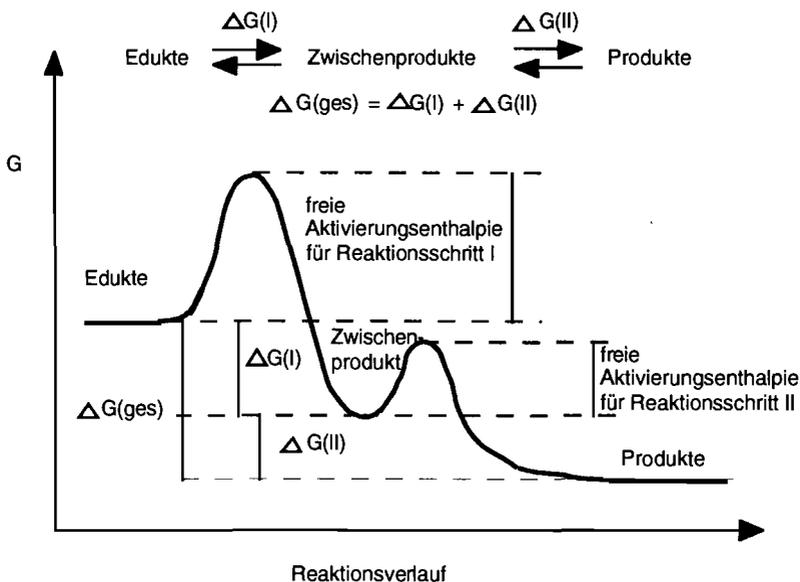


Abb. 10.1: Verlauf der freien Enthalpie für eine Verbrennungsreaktion mit Zwischenproduktbildung nach [MORR83].

Bei der Enthalpieänderung ΔH handelt es sich um die bei konstantem Druck gemessene Reaktionswärme des reagierenden Systems. Für eine exotherme Reaktion mit $\Delta H < 0$ wird bei der Reaktion Wärme frei, während für eine endotherme Reaktion mit $\Delta H > 0$ das System Wärme aus der Umgebung aufnimmt. Die Entropie S stellt nach Boltzmann ein Maß für die thermodynamische Wahrscheinlichkeit eines Zustandes dar [HUMM76]:

$$S = k \cdot \ln W$$

mit S: Entropie,
 k: Boltzmann-Konstante,
 W: thermodynamische Wahrscheinlichkeit; Zahl der Möglichkeiten, einen bestimmten Makrozustand durch makroskopisch nicht unterscheidbare Mikrozustände zu realisieren

Bei natürlich ablaufenden irreversiblen Prozessen findet nur ein Übergang von einem thermodynamisch unwahrscheinlicheren Zustand zu einem thermodynamisch wahrscheinlicheren Zustand statt, d.h. von niedriger Entropie zu höherer Entropie ($\Delta S > 0$). Voraussetzung ist, daß es sich um ein abgeschlossenes System handelt, das sich noch fern vom Gleichgewicht befindet. Was damit gemeint ist, wird deutlich, wenn man die Verteilung von Teilchen in einem abgeschlossenen System betrachtet. In Abbildung 10.2 sind die möglichen Verteilungen von 4 nicht unterscheidbaren Teilchen auf die begrenzten Gitterplätze eines Systems dargestellt. Dabei wird zwischen zwei Randbedingungen unterschieden. In einem Fall sind die Teilchen ähnlich wie in einer chemischen Verbindung miteinander verbunden, während sie im zweiten Fall beweglich sind. Es wird deutlich, daß es sehr viel weniger Möglichkeiten gibt, die miteinander verbundenen Teilchen im System anzuordnen als die frei beweglichen Teilchen. Es ist somit ein Systemzustand thermodynamisch wahrscheinlicher, d.h. der Zustand weist eine höhere Entropie auf, in dem die Teilchen nicht miteinander verbunden sind. Die Bildung niedermolekularer Komponenten aus höhermolekularen Komponenten, wie es bei einer Verbrennung der Fall ist, erhöht die thermodynamische Wahrscheinlichkeit eines Systemzustandes und bewirkt eine Entropiezunahme. Die Entropiezunahme ist eine der Ursachen für den Ablauf der Verbrennungsreaktion.

Für $\Delta G < 0$ läuft die Reaktion nach Aufbringung der Aktivierungsenergie von selbst ab. Dies ist bei einer Entropiezunahme u.a. dann der Fall wenn $\Delta H < 0$ ist. Ist $\Delta H > 0$, kann die Reaktion nur ohne Enthalpiefuhr ablaufen, wenn der Wert des Produktes $T \cdot \Delta S > 0$ ist und der Betrag von $T \cdot \Delta S$ größer ist als der Betrag von ΔH . Umgekehrt können "unwahrscheinlichere" Produkte mit niedrigerer Entropie nur durch die Aufnahme von Enthalpie aus der Umgebung gebildet werden.

Bei $-T \cdot \Delta S = \Delta H$ gilt $\Delta G = 0$ und die Reaktion befindet sich im Gleichgewicht. Bei $\Delta G > 0$ ist für den Ablauf der Reaktion die Zufuhr von Energie erforderlich, die Reaktion läuft nicht "freiwillig" ab.

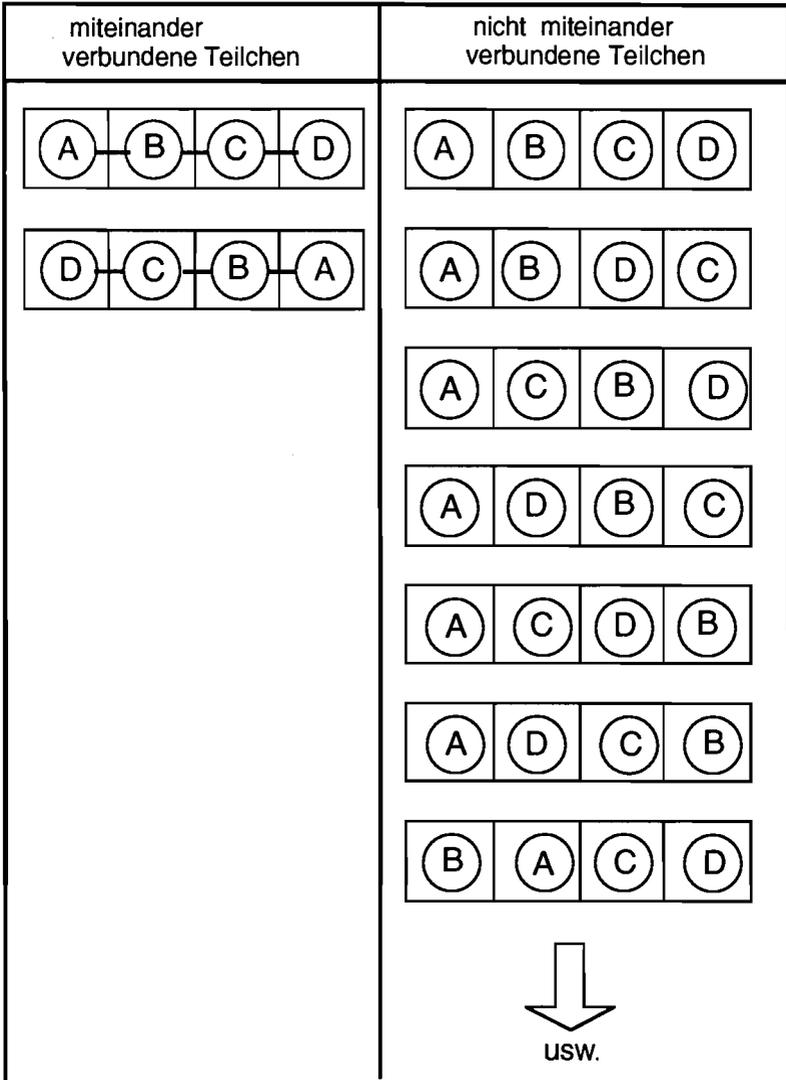


Abb. 10.2: Anordnungsmöglichkeiten von miteinander verbundenen und "freien" Teilchen innerhalb eines geschlossenen System mit begrenzten Gitterplätzen.

Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des Landesumweltamtes NRW erschienen:

- | | | |
|----|---|----------|
| 1 | Der Dynamische Daphnientest
– Erfahrungen und praktische Hinweise –
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S. | 15,00 DM |
| 2 | Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien
2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S. | 15,00 DM |
| 3 | Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S. | 20,00 DM |
| 4 | Einsatz alternativer Baustoffe in Abdichtungssystemen
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 91 S. | 15,00 DM |
| 5 | Einwicklung im Bereich der Sonderabfallentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 39 S. | 15,00 DM |
| 6 | Ökologische Auswirkungen von Fischteichen auf Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 208 S. | 25,00 DM |
| 7 | Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 462 S. | 28,00 DM |
| 8 | Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe
der Infrarot-Thermographie
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 53 S. | 15,00 DM |
| 9 | Prozeßleittechnik in Anlagen der chemischen Industrie –
Anlagenschutz und sicherheitsrelevante Komponenten
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 119 S. | 20,00 DM |
| 10 | Sicherheitstechnische Hinweise und Anforderungen an Abschott- und
Entlastungssysteme aus der Sicht der Störfall-Verordnung
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 40 S. | 15,00 DM |
| 11 | Literaturstudien zum PCDD/F-Transfer vom Boden in die Nahrungskette
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 149 S. | 25,00 DM |
| 12 | Die verlust- und kontaminationsfreie Probenahme und -vorbereitung
von Wässern und Feststoffen
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 203 S. | 28,00 DM |
| 13 | Essener Verfahren zur Bewertung von Altlastenverdachtsflächen
– Erstbewertung und normierte Charakterisierung –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 66 S. | 15,00 DM |
| 14 | Optimierung der thermischen Behandlung organischer chlorhaltiger
Problemabfälle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 132 S. | 25,00 DM |
| 15 | Entsorgungsbericht 1993 über Sonder- und Massenabfälle in NRW
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 75 S. | 20,00 DM |
| 16 | Begleitende meßtechnische Erfolgskontrolle bei der Sanierung
einer Textilreinigungsanlage
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 60 S. | 15,00 DM |

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

- 17 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse der halbtechnischen Versuchskläranlage
– Untersuchungen zur Stickstoffelimination –
– Praxiserprobung von Online-Meßtechnik –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 110 S. 20,00 DM
- 18 Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs- und Bewertungsmethoden für Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 140 S. 25,00 DM
- 19 Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen
– Ergebnisse der Erprobung in NRW –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 150 S. 25,00 DM
- 20 Information und Dokumentation bei Deponien
4. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch, 26. Oktober 1994
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 98 S. 20,00 DM
- 21 Ausbreitungsuntersuchungen von Gerüchen anhand einer Modellquelle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 57 S. 15,00 DM
- 22 Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs
– Prognose und Schutzmaßnahmen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 658 S. 40,00 DM
- 23 Naturraumspezifische Leitbilder für kleine und mittelgroße Fließgewässer in der freien Landschaft
Eine vorläufige Zusammenstellung von Referenzbach- und Leitbildbeschreibungen für die Durchführung von Gewässerstrukturgütekartierungen in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 127 S. 25,00 DM
- 24 Siedlungsabfalldeponien – Oberflächenabdichtung und Sickerwasser
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 162 S. 25,00 DM
- 25 Thermodynamische Analyse der Verfahren zur thermischen Müllentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 121 S. 25,00 DM
- 26 Normierung und Konventionen in der Abfallanalytik – Aufgaben und Ziele
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 188 S. 28,00 DM
- 27 Entsorgungsbericht 1994 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 92 S. 20,00 DM
- 28 Umweltüberwachung im Spannungsfeld; integral/medial – privat/staatlich
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 289 S. 30,00 DM
- 29 Bauabfallentsorgung – von der Deponierung zur Verwertung und Vermarktung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 181 S. 28,00 DM
- 30 Ergebnisse von Dioxin-Emissionsmessungen an Industrieanlagen in NRW
– Dioxinmeßprogramm Nordrhein-Westfalen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 114 S. 20,00 DM
- 30 Results of Measurements of the Emissions of Dioxins by Industrial Plants in North Rhine-Westphalia – Dioxins Measurement Programme
North Rhine-Westphalia – Final Report 1996
English translation of the report LUA-Materialien No. 30 (1996); original edition published in German language – Translated by Edith Navé, Hohenbrunn, Germany
Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 102 S. 30,00 DM

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

31	Umsetzung der TA Siedlungsabfall bei Deponien in NRW Fortbildungsveranstaltung am 27./28. Juni 1995 im Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) in Essen Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 189 S.	28,00 DM
32	Medienübergreifendes Arbeiten im technischen Umweltschutz Beiträge aus dem Fachgespräch anlässlich der Verabschiedung von Herrn Abteilungsdirektor Dr.-Ing. H.-O. Weber am 06. Juli 1995 Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 78 S.	20,00 DM
33	Handbuch der Laborpraxis für Ver- und Entsorgerinnen/ Ver- und Entsorger – 1. und 2. Ausbildungsjahr – Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 186 S.	30,00 DM
34	Explosionsschutz bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten Entwicklungen und Erkenntnisse Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 54 S.	18,00 DM
35	Physikalisch-chemische und biologische Auswirkungen bei der Verwendung von Waschbergen in Schifffahrtskanälen Untersuchungsbericht des Arbeitskreises „Waschberge im Wasserbau“ Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 154 S.	25,00 DM
36	Anforderungen an sachverständige Stellen für die Bekanntgabe und die Zulassung im Bereich des Immissionsschutzes Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 132 S.	25,00 DM
37	Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für ausgewählte Abfallarten Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 275 S.	30,00 DM
38	Zivile Anschlußnutzung von Militärstandorten – Risikofaktor Altlasten/Bodenbelastung – Tagungsband Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 168 S.	25,00 DM
39	Flächenhafter Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser – Abschlußbericht, Dezember 1994 Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 217 S.	30,00 DM
40	Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen Teil I: Oberirdische Gewässer Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 40 S.	15,00 DM
41	Brand- und Zersetzungsprodukte Abschlußbericht des Projekts „Integration von Daten zu Brand- und Zersetzungsprodukten in das Informationssystem für gefährliche/ umweltrelevante Stoffe (IGS)“ Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 134 S	25,00 DM