

Löbbert · Pohl · Thomas · Kruszinski



Brandschutz- planung

für Architekten und Ingenieure

mit beispielhaften Konzepten
für alle Bundesländer

5., überarbeitete Auflage

Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure

mit beispielhaften Konzepten für alle Bundesländer

5., überarbeitete und erweiterte Auflage
mit 128 Abbildungen und 43 Tabellen

Dipl.-Ing. Anke Löbbert

Staatlich anerkannte Sachverständige für die Prüfung des
Brandschutzes und Gutachterin in der Brandursachenermittlung

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dieter Pohl

Ordentlicher Professor em. für Brand- und Explosionsschutz

Dipl.-Ing. Klaus-Werner Thomas

Brandschutz-Ingenieur und Brandschutz-Gutachter

Dipl.-Ing. Thomas Kruszinski

Brandschutz-Ingenieur und Sachverständiger



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Feuertrutz GmbH Verlag für Brandschutzpublikationen, Köln 2007
Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschließlich seiner Bestandteile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Wiedergabe von DIN-Normen mit Erlaubnis des DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.). Maßgebend für das Anwenden von Normen ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist. Maßgebend für das Anwenden von Regelwerken, Richtlinien, Merkblättern, Hinweisen, Verordnungen usw. ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der jeweiligen herausgebenden Institution erhältlich ist. Zitate aus Normen, Merkblättern usw. wurden, unabhängig von ihrem Ausgabedatum, in neuer deutscher Rechtschreibung abgedruckt.

Das vorliegende Werk wurde mit größter Sorgfalt erstellt. Verlag, Herausgeber und Autoren können dennoch für die inhaltliche und technische Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes keine Haftung übernehmen.

Wir freuen uns, Ihre Meinung über dieses Fachbuch zu erfahren. Bitte teilen Sie uns Ihre Anregungen, Hinweise oder Fragen per E-Mail: mail@feuertrutz.de oder Telefax: 0221 5497-140 mit.

Umschlaggestaltung: Designbüro Lörzer, Köln
Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, Erfstadt
Druck und Bindearbeiten: Media-Print Informationstechnologie GmbH, Paderborn
Printed in Germany

ISBN 978-3-939138-08-2

Vorwort

... zur 1. Auflage

Die Brandkatastrophe am Düsseldorfer Flughafen, der am 11. April 1996 17 Menschen zum Opfer fielen, hat den baulichen Brandschutz wieder stark ins öffentliche Interesse gerückt. In der Folge dieses Großbrandes, der, wie mittlerweile feststeht, wegen baulicher Mängel diese tragischen Ausmaße angenommen hat, wurden vielerorts, insbesondere in öffentlichen Gebäuden, die vorhandenen Brandschutzmaßnahmen überprüft. Das Ergebnis dieser Prüfungen war mitunter erschreckend und führte teilweise zur vorübergehenden Räumung der Gebäude oder einzelner Gebäudeabschnitte. So ist beispielsweise in Wuppertal die Kinderklinik zur Brandschutzsanierung geschlossen und Teile der Wuppertaler Gesamthochschule für den öffentlichen Verkehr gesperrt worden, um fehlende Rettungswege einzurichten.

In den der Düsseldorfer Katastrophe folgenden Diskussionen ist immer wieder der Ruf nach strengeren Brandschutzregelungen laut geworden. Bei genauerem Hinsehen kann aber festgestellt werden, dass das in Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien festgeschriebene Brandsicherheitsniveau bei konsequenter und sachgerechter Umsetzung durchaus ausreichend ist.

Damit der Brandschutz in all seinen Einzelaspekten Berücksichtigung finden kann, ist ein umfassender Überblick über das beklagte „Wirrarr“ von Regelungsgegenständen aber unerlässlich. Wer sich diesen Überblick für das gesamte Bundesgebiet verschaffen will, steht zunächst vor einem Beschaffungsproblem, da Baurecht Länderrecht ist und somit Gesetz- und Verordnungsblätter für Bauordnungen, Verwaltungsvorschriften, Sonderbauverordnungen und -richtlinien und Erlasse von 16 Bundesländern berücksichtigt werden müssen. Das Durcharbeiten derartiger Mengen von Verordnungstexten kostet viel Zeit, die im normalen Alltag eines Planungsbüros selten zur Verfügung steht. Um eine schnelle Orientierung und Übersicht zu ermöglichen, sind in diesem Buch die wichtigsten Bestimmungen und Regelungen übersichtlich und verständlich zusammengestellt.

In den Jahren 1993 bis 1996 sind in allen Bundesländern neue Bauordnungen erlassen worden, die zum Teil erhebliche Änderungen gegenüber ihren Vorgängern erfahren haben. Diese weitreichenden Änderungen sind notwendig geworden, um zum einen die auf EU-Ebene erlassene Bauproduktenrichtlinie in nationales Recht umzusetzen, zum anderen aber auch, um das Baugenehmigungsverfahren zu beschleunigen. So ist die Zahl der genehmigungsfreien Vorhaben größer geworden, ebenso die Vorhaben, die nur ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren durchlaufen müssen. Aber auch bei diesen Vorhaben müssen die bauordnungsrechtlichen Anforderungen an bauliche Anlagen erfüllt werden. Dies fällt nun, da die Behörde nicht mehr oder nur geringfügig kontrolliert, in die Verantwortung der Bauherrschaften bzw. des Architekten oder der Architektin. Damit diese ihrer Aufgabe gerecht werden können, war es Ziel dieses Buches, möglichst umfassend und übersichtlich über alle Brandschutzregelungen in allen Bundesländern zu informieren.

Um den Zugang zum Thema „baulicher Brandschutz“ und auch die praktische Anwendung der Vorschriften zu erleichtern, ist das Buch in drei Teile geteilt. Der Teil A gibt nach einer theoretischen Einführung über das Phänomen „Brand und Explosion“ einen Überblick über die rechtlichen Anforderungen, geordnet nach „Gebäudeabschnitten“, wie Rettungswege, Aufzüge, Wände, Decken, Dächer, aber auch über Aufstellflächen für die Feuerwehr und Abstandsflächen sowie über Brandmeldeanlagen, automatische Löschanlagen und Rauch- und Wärmeabzugsanlagen. Der Teil B ermöglicht den Zugang zum Thema über Musterbrandschutzkonzepte für bauliche Anlagen, die nach den Bauordnungen beurteilt werden müssen, ebenso wie für bauliche Anlagen, die nach Sonderbauverordnungen

oder -richtlinien beurteilt werden. Eines der Musterbrandschutzkonzepte stellt die unterschiedlichen Anforderungen in den verschiedenen Bundesländern im Vergleich dar. In den anderen Musterkonzepten erfolgt die Beurteilung jeweils nach den Verordnungen für ein Bundesland. Der Teil C schließlich enthält Tabellen und ein Lexikon mit den wichtigsten brandschutztechnischen Begriffen. In den Tabellen sind die brandschutztechnischen Anforderungen nach den Bauordnungen und Sonderbauverordnungen aller Bundesländer übersichtlich dargestellt.

Dieses Buch verdankt seine Entstehung nicht nur den Autoren, sondern auch etlichen Helfern. Unser besonderer Dank gilt den Studierenden und Kollegen von der Universität Wuppertal: Peter Schildhauer für das Korrekturlesen, Holger de Vries für feuerwehrtechnische Beratung, Sonja Noje-Knollmann für die Mitarbeit an den Tabellen und Peter Hoffmann für die Bearbeitung vieler Zeichnungen, Erstellung von Rohfassungen für einige Kapitel und Bearbeitung der Tabellen. Den Berufsfeuerwehren von Wuppertal (Herr Zander), Hannover (Herr Göwecke), Berlin (Herr Schmidt), Frankfurt (Herr Czech), Hamburg (Herr Czys) und Freiburg (Herr Hauser) möchten wir hier herzlich für die Überprüfung der tabellarischen Bauordnungen und die Anregungen für Verbesserungen danken. Weiterer Dank geht an die Firma F-Plan für die Überlassung der Krankenhauspläne für Kapitel B-6 und an Andrea Hellekes-Rölle für die Überlassung der Pläne für Kapitel B-4. Abschließend danken wir unseren Familien für ihre Geduld während der Entstehungsphase, aber auch für Zeichnungen (Hubert Plattfaut, Karin Thomas), Korrekturlesen und Diskussionen.

Wuppertal, im Juni 1997 Für die Autoren Anke Löbbert

... zur 5. Auflage

Seit Erscheinen der 4. Auflage haben sieben Bundesländer eine neue Bauordnung eingeführt. Diese Bundesländer (Berlin, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen) haben die Musterbauordnung nahezu wortgleich übernommen. Im Bereich der Sonderbauvorschriften hat sich besonders in Berlin viel geändert, da sämtliche Sonderbauregelungen zurückgezogen und durch eine Sonderbaubetriebsvorschrift ersetzt wurden. Das bedeutet, es gibt dort keine Regelungen zum Bau von Sonderbauten mehr, sondern lediglich zu deren Betrieb.

Hamburg hat dagegen Sonderbauvorschriften für Geschäftshäuser, Versammlungsstätten, Beherbergungsstätten und Industriebauten eingeführt. Hessen hat sich von seiner Krankenhausbauverordnung verabschiedet, ebenso wie Thüringen, Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern.

Diese Aufzählung ist nicht abschließend, alle Neuerungen sind jedoch in den Tabellenteil C eingeflossen.

Auch im Bereich der Bauproduktenklassifizierung geht es in Europa weiter. Die Bezeichnungen der Europaklassen haben zwar noch keinen Eingang in die bauordnungsrechtlichen Regelungen gefunden, jedoch ist deren Verwendung im realen Baugeschehen immer öfter zu beobachten. Daher haben wir die Übersetzungstabelle für Baustoff- und Bauteilklassifizierungen in Kapitel 4 aufgenommen.

In Teil B sind einige der Brandschutzkonzepte ausgetauscht worden.

In der Gebäudeklasse 4 wird ein Wohngebäude vorgestellt, das in einem alten Schwimmbad entstehen soll. Das Gebäude steht unter Denkmalschutz und ist unmittelbar an der Ruhr gelegen. Das führt insbesondere bezüglich der Aufstellflächen für die Feuerwehr zu Herausforderungen, da ein zweiter Rettungsweg sichergestellt werden muss.

Als Beispiel für ein Brandschutzkonzept für einen Schulbau wurde eine denkmalgeschützte Schule aus Wuppertal ausgewählt. Auch hier bestand die besondere Herausforderung in der Sicherstellung des zweiten Rettungsweges, da die Schule unmittelbar an die Wupper grenzt.

Ganz neu aufgenommen wurde ein Konzept für einen fliegenden Bau. Damit sind erstmalig auch die Anforderungen der Richtlinie über Bau und Betrieb von fliegenden Bauten im Buch vertreten.

Das Beispiel eines Brandschutzkonzeptes für ein Krankenhaus wurde ausgewählt, weil es über zwei Treppenträume verfügt, deren Fenster an einem Schacht liegen und nicht an einer freien Außenwand. Die Überprüfung, inwieweit diese Situation Auswirkungen auf die Schutzziele hat, fand mit einem Brandsimulationsmodell statt. Die Ergebnisse sind im betreffenden Kapitel grafisch dargestellt.

Das Brandschutzkonzept für den Industriebau besteht im Wesentlichen aus der Überprüfung und Bildung von Rauchabschnitten, da aufgrund geringer Brandlasten brandschutztechnisch sonst keine Maßnahmen erforderlich waren.

Auch bei den Autoren gab es Veränderungen. Neu im Team ist Thomas Kruszinski, der bereits als Autor am Brandschutzatlas mitgewirkt hat.

Professor Pohl ist in den wohlverdienten Ruhestand getreten und hat daher an der 5. Auflage nicht mehr mitgewirkt. Ihm sei an dieser Stelle für die Initiierung des Projektes herzlich gedankt, das uns nun über weit mehr Jahre begleitet, als wir je geglaubt hätten.

Wir hoffen, auch mit dieser überarbeiteten Auflage wieder ein hilfreiches Werkzeug geschaffen zu haben, das Sie bei Ihrer Arbeit in allen Belangen des Brandschutzes unterstützt.

Wuppertal, im Mai 2007 Anke Löbbert

Noch mehr Sicherheit mit TROX



Rauchauslöseeinrichtung

Die neue Rauchauslöseeinrichtung von TROX bietet noch mehr Sicherheit

Vorteile:

- Automatische Anpassung der Alarmschwelle bei zunehmender Verschmutzung
- Längere Standzeiten
- Geringere Betriebskosten
- Geeignet für die Ansteuerung von Brand- und Rauchschutzklappen
- Fabrikatsunabhängige Anwendung zulässig
- Einfache Nachrüstbarkeit

TROX® **TECHNIK**

The art of handling air

TROX GmbH

Heinrich-Trox-Platz
D-47504 Neukirchen-Vluyn

Telefon +49(0)28 45 / 2 02-0
Telefax +49(0)28 45 / 2 02-2 65
E-Mail trox@trox.de
www.trox.de

Gesamtinhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	11
Teil A Einleitung mit historischem Überblick; Brandlehre; brandschutztechnische Einrichtungen; Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile	13
Inhalt	15
1 Einleitung mit historischem Überblick	17
2 Brandlehre	21
3 Brandschutztechnische Einrichtungen	35
4 Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile	127
Teil B Brandschutzkonzepte	159
Inhalt	161
1 Brandschutzkonzept für ein Bootshaus	171
2 Brandschutzkonzept für ein Wohngebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen	175
3 Brandschutzkonzept für ein Gebäude geringer Höhe	179
4 Brandschutzkonzept für ein Gebäude mittlerer Höhe	181
5 Brandschutzkonzept für ein Hochhaus	191
6 Brandschutzkonzept für eine Reha-Klinik	205
7 Brandschutzkonzept für eine Schule	221
8 Brandschutzkonzept für ein Geschäftshaus	237
9 Brandschutzkonzept für ein Kongress- und Veranstaltungszentrum	245
10 Brandschutzkonzept für ein Stahlwerk	263
11 Garagen	271
12 Brandschutzkonzept für einen fliegenden Bau	279
Lexikon	289
Zitierte Normen	297
Literaturverzeichnis	299
Stichwortverzeichnis	301

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz	EBO	Einheitsbauordnung
ARGEBAU	Fachkommission Bauaufsicht der Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder und der Bundesrepublik Deutschland	EG	Erdgeschoss
		EG	Europäische Gemeinschaften
		EltBauVO	Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen
AtG	Atomgesetz	ETB	einheitliche technische Baubestimmungen
AWAG	automatisches Wähl- und Anzeigerät	etc.	et cetera
AWUG	automatisches Wähl- und Übertragungsgerät	ETK	Einheitstemperaturzeitkurve
		Ex-Gefahr	Explosionsgefahr
		Ex-RL	Explosionsschutz-Richtlinien
BAKT	Bundesarbeitskreis Trockenbau	FeuVO	Feuerungsverordnung
BASchulR	Bauaufsichtliche Richtlinie für Schulen	FlBauR	Baurichtlinie über Fliegende Bauten
BauO Bln	Bauordnung für Berlin	FM	Factory Mutual Research Corporation
BauO BW	Landesbauordnung für Baden-Württemberg	FSHG	Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung bei Unglücksfällen und öffentlichen Notständen (NRW)
BauO LSA	Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt	FSK	Feuerwehrschlüsselkasten
BauO NRW	Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen		
BauPG	Bauproduktengesetz	GaVO/GarVO	Garagenverordnung
BayBO	Bayerische Bauordnung	GastBauR	Gaststättenbaurichtlinie
BB	Brandenburg	GastBauV	Gaststättenbauverordnung
BbgBO	Brandenburgische Bauordnung	GBl	Gesetzblatt
BbgGStV	Brandenburgische Garagen- und Stellplatzverordnung	GfK	Gipskartonfeuerschutzplatten
BE	Berlin	ggf.	gegebenenfalls
BG	Berufsgenossenschaft	GLU	Gleichstromlinien-Umpolung
BK	Brandschutzklasse	GMA	Gefahrenmeldeanlage
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion	GVBl	Gesetz- und Ordnungsblatt
BMA	Brandmeldeanlage		
BMZ	Brandmelderzentrale	Hb	Hämoglobin
BremLBO	Bremische Landesbauordnung	HB	Bremen
BW	Baden-Württemberg	HBauO	Hamburgische Bauordnung
BY	Bayern	HBO	Hessische Bauordnung
bzw.	beziehungsweise	HCN	Blausäure
		HE	Hessen
ca.	circa	HeimR	Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Altenheime, Altenwohnheime, Pflegeheime und Wohnheime für Behinderte
CE-Zeichen	Conformité européenne		
CEA	Comité Européen des Assurances	HH	Hamburg
CEN	Comité Européen de Normalisation	HHR	Hochhausrichtlinie
CO	Kohlenmonoxid		
CO-Hb	Kohlenmonoxid-Hämoglobin	IndBauR	Industriebaurichtlinie
CPU	Central Processing Unit	IR	Infrarot
		ISO	International Standardization Organisation
d. h.	das heißt		
DampfkV	Dampfkesselverordnung	KG	Kellergeschoss
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik	KhBauVO	Krankenhausbauverordnung
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	KHR	Krankenhausrichtlinie
DruckbehV	Druckbehälterverordnung		
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches		
DVN BauO	Durchführungsverordnung zur Niedersächsischen Bauordnung		

LAR	Leitungsanlagenrichtlinie	TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
LBauO M-V	Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern	TU	Technische Universität
LBauO R.-P.	Landesbauordnung für Rheinland-Pfalz	u. a.	unter anderem
LBO Schl.-H.	Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein	ÜE	Übertragungseinrichtung
LBO SL	Bauordnung für das Saarland	ÜZ	Überwachungszeichen
Lkw	Lastkraftwagen	UEG	Untere Explosionsgrenze
LöRüRL	Richtlinien zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe	usw.	und so weiter
LSI	Large Scale Integration	u. U.	unter Umständen
LüAR	Lüftungsanlagenrichtlinie	UV	Ultraviolett
max.	maximal	VAwS	Verordnung über Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe bzw. über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe
MBO	Musterbauordnung	VbF	Verordnung über brennbare Flüssigkeiten
MDL	Meldelinie mit digitaler Leitungsüberwachung	VDE	Verein deutscher Elektrotechniker e.V.
MGarVO	Mustergaragenverordnung	VdS	Verband der Schadenversicherer Köln e.V.
mind.	mindestens	VFDB	Verein zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Bonn
MIndBauRI	Muster-Industriebau-Richtlinie	VkVO/VkV	Verkaufsstättenverordnung
MKhBauVO	Musterkrankenhausbauverordnung	VStättR	Versammlungsstättenrichtlinie
M-LAR	Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie	VStättVO NRW	Versammlungsstättenverordnung Nordrhein-Westfalen
MV	Mecklenburg-Vorpommern	VSTR	Verkaufsstättenrichtlinie
NBauO	Niedersächsische Bauordnung	VV	Verwaltungsvorschrift
NI	Niedersachsen	WGK	Wassergefährdungsklasse
notw.	notwendig	z. B.	zum Beispiel
Nr.	Nummer	ZH	Berufsgenossenschaftliche Sicherheitsregeln
NRW	Nordrhein-Westfalen		
OEG	Obere Explosionsgrenze		
OG	Obergeschoss		
OLG	Oberlandesgericht		
		Maße	
Pkw	Personenkraftwagen	cm	Zentimeter
PVC	Polyvinylchlorid	g	Gramm
PZ	Portland-Zement (neue Bezeichnung CEM I)	h	Stunde
		Hz	Hertz
RbBH	Richtlinie über die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau	J	Joule
		K	Kelvin
Richtl.	Richtlinie	kg	Kilogramm
RP	Rheinland-Pfalz	km	Kilometer
RWA	Rauch- und Wärmeabzugsanlage	km/s	Kilometer pro Sekunde
RWG	Rauch- und Wärmeabzugsgerät	kV	Kilovolt
		kW	Kilowatt
S.	Seite	kWh	Kilowattstunde
SächsBO	Sächsische Bauordnung	kWs	Kilowattsekunde
SchulBauR	Schulbau-Richtlinie	l	Liter
SH	Schleswig-Holstein	lx	Lux
SL	Saarland	m	Meter
SN	Sachsen	mg	Milligramm
ST	Sachsen-Anhalt	min	Minute
StAnz	Staatsanzeiger	MJ	Mega Joule
StGB	Strafgesetzbuch	mm	Millimeter
StrSchV	Strahlenschutzverordnung	mm	Mikrometer
		MW	Megawatt
TH	Thüringen	N	Newton
ThürBO	Thüringische Bauordnung	Pa	Pascal
Thür VSTVO	Thüringer-Verkaufsstätten-Verordnung	pCi	Piko Curie
TRB	Technische Richtlinie Druckbehälter	ppm	part(s) per million
TRbF	Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten	s	Sekunde
		t	Tonne

Teil A

Einleitung mit historischem Überblick

Brandlehre

Brandschutztechnische Einrichtungen

Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung mit historischem Überblick	17
2	Brandlehre	21
2.1	Allgemeine Grundlagen der Verbrennungsprozesse	21
2.2	Gefahren durch Brände bzw. Explosionen	31
3	Brandschutztechnische Einrichtungen	35
3.1	Flächen für die Feuerwehr	43
3.1.1	Aufstellflächen	43
3.1.2	Bewegungsflächen	44
3.1.3	Zu- und Durchgänge	45
3.1.4	Zu- und Durchfahrten	45
3.2	Abstandsflächen	47
3.3	Bauprodukte	55
3.4	Wände und Decken	59
3.4.1	Brandwände und Komplextrennwände	61
3.5	Dächer	71
3.6	Rettungswege	73
3.6.1	Wege aus dem Aufenthaltsraum	74
3.6.2	Notwendige (allgemein zugängliche) Flure	77
3.6.3	Treppen	78
3.6.4	Treppenräume	79
3.6.5	Kennzeichnung von Rettungswegen	87
3.6.6	Zweiter Rettungsweg	87
3.6.7	Flucht- und Rettungspläne	88
3.7	Aufzüge	90
3.8	Leitungsanlagen	93
3.8.1	Installationsschächte und -kanäle	93
3.8.2	Offene Verlegung	93
3.8.2.1	Feuerbeständige Trennwände und Decken	93
3.8.2.2	Brandwände	94
3.8.2.3	Treppenräume und Flure (Flucht- und Rettungswege)	94
3.8.3	Elektrische Leitungsanlagen von notwendigen Sicherheitseinrichtungen	94
3.8.4	Leitungsanlagen	94
3.9	Feuerungsanlagen	96
3.9.1	Allgemeines	96
3.9.2	Anwendungsbereich und Begriffsbestimmung	96
3.9.3	Verbrennungsluftversorgung	96
3.9.4	Aufstellung von Feuerstätten	97
3.9.5	Aufstellräume für Feuerstätten	98
3.9.6	Heizräume	99
3.9.7	Abgasanlagen	99
3.9.8	Abstände von Abgasanlagen zu brennbaren Bauteilen und Fenstern	100

3.9.9	Höhe der Mündungen von Schornsteinen und Abgasleitungen über Dach	101
3.9.10	Aufstellung von Wärmepumpen, Blockheizkraftwerken und ortsfesten Verbrennungsmotoren und Abführung ihrer Ab- oder Verbrennungsgase	102
3.9.11	Lagerung von Brennstoffen	102
3.10	Löschwasserversorgung	103
3.11	Automatische Löschanlagen	108
3.11.1	Sprinkleranlagen und Sprühwasser-Löschanlagen	108
3.11.2	Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln	109
3.11.3	Fehler bei Auslegung und Planung	110
3.12	Rauch- und Wärmeabzugsanlagen	111
3.13	Brandmeldeanlagen	115
3.13.1	Brandmelder	117
3.13.2	Brandmelderzentrale	121
4	Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile	127
4.1	Baustoffe	129
4.1.1	Steine	133
4.1.2	Mörtel	134
4.1.2.1	Anorganische Bindemittel	134
4.1.3	Beton	135
4.1.4	Stahlbeton	136
4.1.5	Stahl	136
4.1.6	Glas	137
4.1.7	Dämmstoffe	138
4.1.8	Brennbare Baustoffe	138
4.1.8.1	Holz	138
4.1.9	Kunststoffe	139
4.1.10	Flammschutzmittel und Brandschutzbeschichtung	140
4.2	Bauteile	143
4.3	Sonderbauteile	148
4.3.1	Brandwände	148
4.3.2	Nichttragende Außenwände	148
4.3.3	Abschlüsse von horizontalen und vertikalen Öffnungen	150
4.3.3.1	Dichtschließende Türen	150
4.3.3.2	Rauchschutztüren	150
4.3.3.3	Feuerschutzabschlüsse	151
4.3.3.4	Feststellanlagen	151
4.3.3.5	Abschlüsse in Fahrschachtwänden	152
4.3.4	Verglasungen der Feuerwiderstandsklasse G	152
4.3.5	Lüftungsleitungen	153
4.3.6	Absperrvorrichtungen für Lüftungsleitungen	153
4.3.7	Bedachungen	154
4.3.8	Rohrabschottungen, Rohrummantelungen	155
4.3.9	Kabelabschottungen	155
4.3.10	Funktionserhalt elektrischer Anlagen	156
4.3.11	Schmelzpunkt von Mineralfaserdämmstoffen	157

1 Einleitung mit historischem Überblick

Auf der Kenntnis vom Feuer, seiner künstlichen Erzeugung, seinem Einsatz als Werkzeug und seiner Beherrschung als Hilfsmittel beruht der größte Teil der Entwicklung der menschlichen Zivilisation und der in Jahrtausenden gewachsenen Kultur. Es verwundert daher nicht, dass dem Feuer einstmalig und bis hin in unsere Zeit Bewunderung, Verehrung, aber auch die Furcht vor seiner ungezügelt gewalt entgegengebracht wurde. Im Altertum wurde es zunächst als eigenes geheiligtes Element betrachtet und als göttlich angebetet; in der Alchemie sollte es aus der Verbindung der Körper mit einem eigentümlichen Stoff, Phlogiston (G. E. Stahl, 1659–1734) genant, entspringen. Erst durch die systematischen Untersuchungen von A. L. Lavoisier (1743–1794, guillotiniert in Paris) konnte die wahre Natur dieser Gruppe der chemischen Stoffumsetzungen erkannt und für den Naturwissenschaftler bzw. Techniker entzaubert werden, da es sich um simple unter „kräftiger Wärme- und Lichtentwicklung“ ablaufende Oxidationsreaktionen von zumeist Kohlenwasserstoffen als Brennstoff handelt [1]. Weiterhin wirksam bleibt jedoch die Faszination von offenem Feuer in Form von Lagerfeuer oder Kaminromantik, aber jeweils weiterhin gepaart mit dem Gefühl der hilflosen Ohnmacht gegenüber seinem ungezügelt Wüten. Letzteres führte dazu, dass der Tatbestand der „Brandstiftung“ bereits vor 3000 Jahren in die römische Gesetzgebung als „crimen publicum“ aufgenommen wurde.

Diese janusköpfige Evidenz des Feuers auf seine Anwender kommt schon in den mythologischen Sagen über die „Gottesgabe“ Feuer in den verschiedensten Kulturkreisen zum Ausdruck.

In der griechischen Mythologie stahl der Titanensohn Prometheus mithilfe des langen Stängels des markigen Riesenfenchels dem vorüberfahrenden Sonnenwagen das Feuer und brachte es als glimmenden Zunder auf die Erde als Geschenk für seine Geschöpfe, das Menschengeschlecht. Über diese nicht autorisierte Entnahme erbost, organisierte der Göttervater Zeus die Schöpfung der Pandora mit ihrer Büchse, aus der sich beim Öffnen des Deckels das Unheil wie eine schwarze Schar mit Blitzesschnelle über die bislang glückliche Erde verbreitete. Nur die Hoffnung verblieb als rasch wieder eingeschlossener Bodensatz im Gefäß.

Ähnliches wird über die Ambivalenz des Feuers und seine Verwendung auch in den Mythologien anderer Völker und Kulturkreise erzählt.

Dieses hat sich bis in unsere Zeit erhalten mit der modernen versicherungsrechtlichen Differenzierung von Nutzfeuer und Schadenfeuer, worüber im folgenden Abschnitt der



Abb. A/1-1: Abstandsflächen nach Sachsenspiegel [2].

Brandlehre, ihren Grundlagen und Definitionen, noch zu berichten sein wird.

Aus diesem schon sehr früh erkannten Risiko des Umgangs mit dem segensreichen Hilfsmittel „Feuer“ ergaben sich bereits im Altertum in den organisierten Zivilisationszentren Vorschriften zum Umgang mit dem Feuer, seiner Verwahrung in den baulichen Anwendungsbereichen (vorbeugender Brandschutz) und der Minderung des Schadens für die Gemeinschaft durch abwehrende Brandschutzmaßnahmen, welche in Form von Monumenten (z. B. die Gesetzestexte des Hammurabi von Babylon; 1768–1686 v. Chr.) oder später auch handschriftlich überliefert wurden.

Wesentlicher Grund für die Vorsorgemaßnahmen war, dass mit wenigen Ausnahmen die privaten, zum Teil auch die öffentlichen Bauwerke aus den relativ leicht entflammaren Baustoffen Holz, Stroh, Schilf oder sonstigen natürlich gewachsenen Zellulose-Stoffen bestanden. Durch den relativ geringen Abstand zwischen den einzelnen Bauten innerhalb der städtischen Befestigungen (intra muros) ergab sich ein hohes Brandübertragungsrisiko, was zuweilen auch bei simpler Feuerverwahrlosung (fahrlässiger Brandstiftung) zur praktisch vollständigen Zerstörung des gesamten Siedlungszentrums führte. Schon im Sachsenspiegel (erstes Drittel des 13. Jahrhunderts) werden im zweiten Buch der Landrechte, Abschnitt 51 „Abstandsflächen“ zwischen der Bebauung verschiedener Grundstücke aufgezeigt, da hier formuliert wird [2]:

- „1. Backofen, Abort und Schweinestall sollen drei Fuß von dem Zaun entfernt sein.
2. Jeder soll ferner auf seinen Backofen und seine Feuermauer achten, damit ihm nicht Schaden dadurch erwächst, daß die Funken in den Hof des anderen fliegen.“ (Abb. A/1-1)

Drakonisch waren die Strafen auch für den „handhaften Brandstifter“ (auf frischer Tat ertappten Brandstifter): Rädern, Pfählen und zum Schluss der Feuertod.

Im Mittelalter bis hin zur Neuzeit wurde legislativ und organisatorisch der Brandschutz z. B. in Form von Feuerordnungen festgeschrieben, wobei dann auch die Strafjustiz einbezogen werden musste, da sich durch die Gründung von Feuerversicherungen (im 17. Jahrhundert zunächst in England aus Feuerhilfskassen entstandene Feuerasssekuranzen) ein Anreiz zum persönlichen Missbrauch, dem Versicherungsbetrug, ergab.

Bis 1919 gab es über 300 verschiedene Baupolizeiordnungen in Preußen, deren Anforderungen an den baulichen Brandschutz zum Teil weit über das hinausgingen, was heute gefordert wird. Beispielhaft sei hier die Baupolizeiverordnung für den Stadtbezirk Wiesbaden vom 7. Februar 1905 zitiert [3]:

„§ 25 Brandmauern

1. *Brandmauern müssen massiv und ohne Öffnungen hergestellt und 0,40 m über den unmittelbar anschließenden Dachteil emporgeführt werden.*
2. *Die Stärke derjenigen Brandmauern, welche voraussichtlich freistehen, muß bei Backsteinmauerwerk wenigstens betragen:
im Dachgeschoß und dem obersten Geschoß 1 Stein (= 0,25 m)
in den beiden folgenden Geschossen 1½ Stein (= 0,38 m)
darunter 2 Stein (= 0,51 m)
Brandmauern dürfen aus Material, das durch Feuer zerstört wird, nicht hergestellt werden.*
3. *Bei geschlossener Bauweise ist den Nachbarn die Herstellung gemeinschaftlicher Brandmauern gestattet. Eine solche Mauer muß in allen Geschossen um mindestens 0,13 m stärker sein, als eine selbständige Brandmauer.“*

Die hier geforderte Dicke der Brandmauer hatte im schwächsten Bereich eine Stärke, welche den heutigen Anforderungen an Komplextrennwände nach den Vorschriften des Verbandes der Schadenversicherer (VdS) genügt. Eine Komplextrennung ist aber heute im Wohnungsbau nicht mehr gefordert. Hier genügen Trennwände, die nur die Hälfte oder gar weniger der Feuerwiderstandsdauer von Komplextrennwänden aufweisen.

Die erste übergeordnete gesetzliche bauaufsichtliche Regelung wurde 1919 in Preußen erlassen (Einheitsbauordnung, EBO), womit die vielen verschiedenen bis dahin gültigen Baupolizeiordnungen abgelöst wurden. Die EBO von 1919 ist daher nicht mit der Musterbauordnung (MBO; 1960–2002) vergleichbar, da diese keinen Gesetzescharakter hat. In der Tab. A/1-1 ist diese historische Entwicklung mit einigen Daten exemplarisch belegt. In der Neuzeit ergab sich im Zuge der raschen Industrialisierung und dem hierdurch hervorgerufenen starken übernationalen Handelsaustausch die Notwendigkeit einer normativen Beschreibung bzw. Vereinheitlichung der Dimensionierung von industriell in hoher Stückzahl hergestellten Produkten und Verfahren im weitesten Sinne.

Naturgemäß beeinflusste dieser „Normungsgedanke“ auch den Brandschutz, wobei sicherlich auch die erhebliche Ausweitung des Versicherungswesens beeinflussend eingriff, da gerade hier zur Quantifizierung des Versicherungsrisikos vergleichbare, möglichst übernationale vorhandene Mess-, besser noch Rechendaten vorhanden sein mussten.

Aus diesem ergab sich nachvollziehbar, dass auch über das zunächst nationale, in neuester Zeit auch das übernationale Normenwesen im Bauwesen, hier interessierend besonders im vorbeugenden baulichen Brandschutz, der jeweils geltende „Stand von Wissenschaft und Technik“ einbezogen wurde. Im deutschen Bereich wurde daher 1934 die erste Ausgabe der DIN 4102 (Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme) vom Ausschuss für einheitliche technische Baupolizeibestimmungen (ETB) herausgebracht. Schon in dieser ersten Ausgabe (Abb. A/1-2) finden sich die auch noch heute den Aufbau der DIN 4102 bestimmenden Begriffe wieder, wenngleich diese verbal variiert bzw. präzisiert wurden:

Baustoffe

- I. brennbar
- II. schwer brennbar
- III. nicht brennbar

Bauteile

- IV. feuerhemmend (heute F 30)
- V. feuerbeständig (heute F 90)
- VI. hochfeuerbeständig (heute F 180)

In der Ausgabe von 1965 der DIN 4102 wurde der prinzipiell noch heute gültige Aufbau dieser grundlegenden baulichen Brandschutznorm in die Bereiche Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, ergänzt durch den Katalogteil 4 (klassifizierte Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile), vorgegeben. Neben einer deutlich erweiterten Anzahl von Blättern, die sich mit diesen Sonderbauteilen beschäftigen, wurde die moderne DIN 4102 durch Teile, in welchen Prüfgeräte bzw. -verfahren niedergelegt sind, erweitert.

Die zukünftige Normung und Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen wird im Rahmen des europäischen Harmonisierungsverfahrens eine wesentlich differenziertere Einstufung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen mit sich bringen. Die grundlegenden Anforderungen, auf die sich die europäischen Mitgliedsstaaten bisher einigen konnten, sind im Grundlagendokument „Brandschutz“ festgeschrieben [5].

DK 691	Deutsche Normen	August 1934
Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme Begriffe		DIN 4102 Blatt 1
Nachdruck des Inhalts und Hinweis auf die DIN-Nummer gestattet, dagegen Nachdruck der äußeren Ausgestaltung des Normblattes nur mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses	<p>Die Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme werden durch folgende Begriffe gekennzeichnet:</p> <p>Baustoffe¹⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> I. brennbar II. schwer brennbar III. nicht brennbar <p>Bauteile</p> <ul style="list-style-type: none"> IV. feuerhemmend V. feuerbeständig VI. hochfeuerbeständig <p>Begriffsbestimmungen</p> <p>Baustoffe</p> <p>I. Brennbar Als brennbar gelten Baustoffe, die, auf ihre Entzündungstemperatur gebracht, bei atmosphärischer Luft von selbst weiterbrennen.</p> <p>II. Schwer brennbar Als schwer brennbar gelten Baustoffe, die unter Einwirkung von Feuer und Wärme zwar zur Entzündung gebracht werden können, so daß sie verkohlen, aber bei atmosphärischer Luft nicht von selbst weiterbrennen; dabei ist vorausgesetzt, daß die der Erhitzung ausgesetzten Teile des Baustoffes nach Fortnahme der Wärmequelle nur kurze Zeit nachglühen und etwa entstandene Flammen von selbst erlöschen, so daß die Verbrennung im Baustoff nicht fortschreitet.</p> <p>III. Nicht brennbar Als nicht brennbar gelten Baustoffe, die bei atmosphärischer Luft infolge ihrer natürlichen Eigenschaften nicht zur Entzündung gebracht werden können.</p> <p>Bauteile</p> <p>IV. Feuerhemmend Als feuerhemmend gelten Bauteile, die beim Brandversuch nach DIN 4102, Blatt 3 — Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme, Brandversuche — während einer Prüfzeit von 1/2 Stunde nicht selbst in Brand geraten, ihren Zusammenhang nicht verlieren und den Durchgang des Feuers verhindern, derart, daß tragende Bauteile dabei ihre Tragfähigkeit nicht verlieren. Einseitig dem Feuer ausgesetzte Bauteile dürfen auf der dem Feuer abgekehrten Seite während des Brandversuches nicht wärmer als 130° werden.</p> <p>V. Feuerbeständig Als feuerbeständig gelten Bauteile aus nicht brennbaren Baustoffen, die bei einem Brandversuch nach DIN 4102, Blatt 3 — Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme, Brandversuche — während einer Prüfzeit von 1 1/2 Stunden unter der Einwirkung des Feuers und des Löschwassers ihr Gefüge nicht wesentlich ändern, ihre Standfestigkeit und Tragfähigkeit nicht verlieren und den Durchgang des Feuers verhindern. Einseitig dem Feuer ausgesetzte Bauteile dürfen auf der dem Feuer abgekehrten Seite während des Brandversuches nicht wärmer als 130° werden. Allseitig feuerbeständig ummantelte Bauteile dürfen sich während des Brandversuches auf höchstens 250° erwärmen.</p> <p>VI. Hochfeuerbeständig Als hochfeuerbeständig gelten Bauteile, die den Anforderungen an feuerbeständige Bauteile (Absatz V) während einer Prüfzeit von 3 Stunden genügen.</p> <p><small>¹⁾ Einschl. Gewebe, Papier und dergleichen.</small></p> <p style="text-align: center;">Ausschuß für einheitliche technische Baupolizeibestimmungen (ETB)</p>	

Abb. A/1-2: Erste Ausgabe der DIN 4102 [4]. Blatt 1 der Erstausgabe von DIN 4102, Fassung August 1934.

Tab. A/1-1: Exemplarische Daten aus der Entwicklung der Brandschutzgesetzgebung.

18. Jahrhundert v. Chr.	Mesopotamien	Hammurabi: Gesetzesstele; Regelung von Hausabständen, Bauweise und Wandstärke von Häusern
ca. 120 v. Chr. Zeitenwende	Alexandria	Heron: Feuerspritze Augustus: Feuer- und Nachtwachen (cohortes vigilum)
500–1500	Mittelalter	Brand-/Feuer- und Feuerwehrrordnungen der Städte
ca. 1230		Eike von Repgow: Abstandsverordnung von Backöfen etc.; Sachsenspiegel
17. Jahrhundert	England	Feuerassekuranzen, entstanden aus Brandhilfskassen
ca. 1700	Europa	Aufstellung von Berufsfeuerwehren (Wien, London, Paris)
Anfang 18. Jahrhundert	Kurmark Brandenburg	Landesbrandkasse aus Sozietäten
1718	Berlin	Berlinische Feuerversicherungsanstalt
1841	Meißen	erste freiwillige Feuerwehr in Deutschland
1851	Berlin	erste deutsche Berufsfeuerwehr
1919	Preußen	Einheitsbauordnung (EBO)
August 1934	Deutschland	Erstausgabe der DIN 4102
1960–2002	Deutschland	Musterbauordnung (MBO)
ab 1962	Deutschland	Landesbauordnungen
ab 1991	Europa	Harmonisierung der Prüfverfahren

2 Brandlehre

Versucht man sich einem vorgegebenen Thema zuzuwenden, so sollte als Erstes möglichst genau abgeklärt werden, um was es sich dabei handelt. Im technischen bzw. naturwissenschaftlichen Bereich ist dieses relativ einfach, da zumeist auf allgemein anerkannte Definitionen, in vielen Fällen jedoch auch auf normenmäßig festgelegte Begriffe, Messanordnungen oder Bewertungsschemata zurückgegriffen werden kann. In dem hier zu behandelnden Abschnitt geht es zunächst um den Begriff Brand einschließlich seiner „Sonderform“ der Explosion, eine zunächst einfach erscheinende Aufgabe, die jedoch durch die zumeist damit verknüpften strafrechtlichen (Brandstiftung, §§ 306–310a und Herbeiführen einer Sprengstoffexplosion, §§ 311–311c Strafgesetzbuch [StGB]) oder auch versicherungsrechtlichen Folgerungen besondere Sorgfalt erfordert.

Relativ einfach ist der Unterschied in der Phänomenologie dieser beiden Ereignisse Brand und Explosion aufgrund des Schadensbildes darzustellen und zu differenzieren, unter der Voraussetzung, dass sie unvermischt auftreten (siehe Abb. A/2-1).

2.1 Allgemeine Grundlagen der Verbrennungsprozesse

Versucht man nun die Ursachen für diese beiden, in ihrer Auswirkung so unterschiedlichen Phänomene zu ergründen, so lässt sich einfach ableiten, dass sie gemeinsam mit der Zündung eines Energie liefernden, zumeist eindeutig oxidativ ablaufenden chemischen Umsetzungsprozesses beginnen. Um diese Reaktion einzuleiten, sind nach Emmons 3 materielle bzw. energetische Voraussetzungen notwendig:

- Brennstoff,
- Oxidationsmittel,
- Zündquelle bzw. Zündenergie.

Alle 3 müssen am gleichen Ort, aber auch zur gleichen Zeit zusammentreffen, damit zunächst allein die Möglichkeit einer Zündung gegeben ist (räumliche und zeitliche Koinzidenz). Wenn diese Grundvoraussetzung gegeben ist, müssen noch die folgenden Zusatzparameter erfüllt sein, damit es zu einer Primärzündung kommt:

- Brennstoff und Oxidationsmittel müssen innerhalb der Zündgrenzen miteinander vermischt oder zumindest vermischbar sein,
- die dargebotene Zündenergie, zumeist in Form einer konkreten Zündquelle, muss für das jeweils vorhandene System aus Brennstoff und Oxidationsmittel effektiv wirksam sein.



Abb. A/2-1: Unterscheidung Brand und Explosion aufgrund des Schadensbildes:

- a) durch Gasexplosion zerstörtes Gebäude;
b) brennendes Haus.

Emmons hat diese Voraussetzung für den Eintritt einer Zündung grafisch in Form eines Tetraeders dargestellt. Hierbei bilden Brennstoff, Oxidationsmittel und Zündenergie die Ecken eines gleichschenkligen Dreiecks, welches durch den weiteren Eckpunkt Zündung/Rückzündung zur räumlichen Figur des Tetraeders ergänzt wird. Die zusätzlich notwendigen Randbedingungen ergänzen diese übersichtliche geometrische Struktur (Abb. A/2-2).

Praktische Anwendung gefunden hat dieses Zündungsmodell nach Emmons in den „Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre – Explosionsschutz-Richtlinien (Ex-RL)“ der Berufsgenossenschaft Chemie (BG Chemie). Diese Schutzmaßnahmen wurden auch in die seit dem 01.01.2003 nicht mehr gültige Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) und die anhängen-

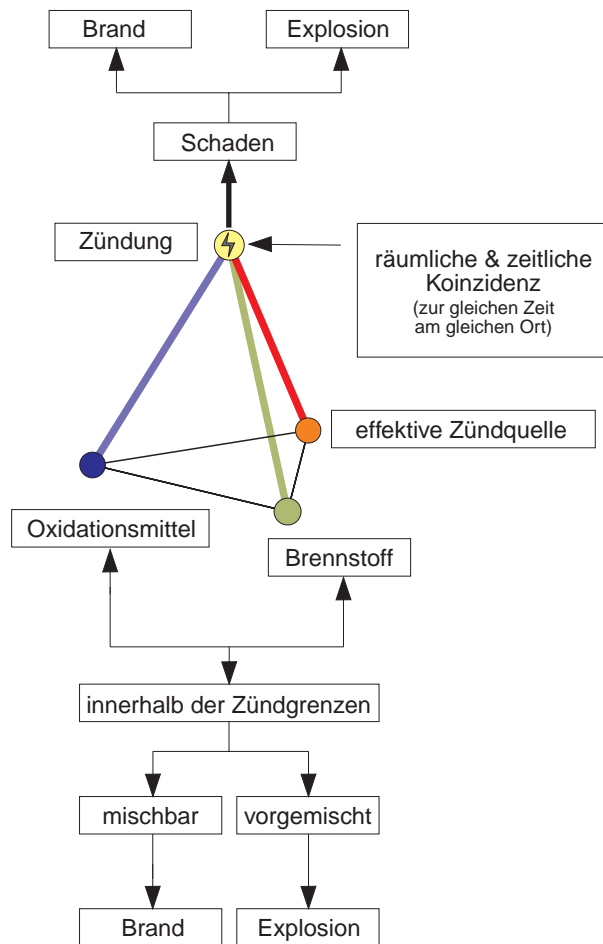


Abb. A/2-2: Emmons-Tetraeder.

genden und trotz Rückzug der VbF weiterhin gültigen Technischen Richtlinien für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) integriert.

Die Ex-RL führt eine Dreiteilung der Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahren (entsprechend den erläuterten Erkenntnissen von Emmons) ein:

- E-1: Maßnahmen, welche eine Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären verhindern oder einschränken (primärer Explosionsschutz).
- E-2: Maßnahmen, welche die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären verhindern (sekundärer Explosionsschutz).
- E-3: Konstruktive Maßnahmen, welche die Auswirkung einer nicht vermeidbaren Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken (tertiärer oder konstruktiver Explosionsschutz).

Die unter E-1 zusammengestellten Schutzmaßnahmen werden wie folgt eingeteilt:

- E-1.1: Vermeidung oder Einschränkung von Stoffen, die explosionsfähige Gemische zu bilden vermögen.

- E-1.2: Verhinderung oder Einschränkung der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Apparaturen:

1. Konzentrationen unterhalb der unteren Explosionsgrenze halten (nicht zündfähig, da zu wenig Brennstoff: zu mageres Gemisch),
2. Konzentrationen oberhalb der oberen Explosionsgrenze (nicht zündfähig, da zu wenig Sauerstoff: zu fettes Gemisch),
3. Inertisierung (Verdrängung des Sauerstoffs durch inaktive Gase).

- E-1.3: Verhinderung oder Einschränkung der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in der Umgebung von Apparaturen:

1. Verfahrenstechnische Maßnahmen, Bauart und räumliche Anordnung der Betriebsanlagen,
2. Konstruktion,
3. Prüfung der Apparaturen auf Dichtigkeit,
4. Lüftungsmaßnahmen (natürlich oder technisch).

- E-1.4: Überwachung der Konzentration in der Umgebung von Apparaturen:

1. Gaswarnanlagen mit Alarmgabe,
2. Gaswarnanlagen mit automatischer Auslösung von Schutzmaßnahmen,
3. Gaswarnanlagen mit automatischer Auslösung von Notfunktionen.

Unter E-2 werden die folgenden Maßnahmen zusammengefasst:

- E-2.1: Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche:
 - Zone 0 Explosionsgefahr durch ein Gemisch von Luft und Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig oder langzeitig,
 - Zone 1 Explosionsgefahr durch ein Gemisch von Luft und Gasen, Dämpfen oder Nebeln gelegentlich,
 - Zone 2 Explosionsgefahr durch ein Gemisch von Luft und Gasen, Dämpfen oder Nebeln nur selten und dann kurzfristig,
 - Zone 20 Explosionsgefahr durch Staub-Luft-Gemische gelegentlich,
 - Zone 21 Explosionsgefahr durch Staub-Luft-Gemische langfristig oder häufig,
 - Zone 22 Explosionsgefahr durch Staub-Luft-Gemische nur selten und dann kurzfristig.

- E-2.2: Umfang der Schutzmaßnahmen.

Zu vermeiden sind:

- in Zone 2 betriebsmäßig zu erwartende Zündquellen,
- in Zone 1 wie für Zone 2, außerdem auch Zündquellen durch Betriebsstörungen, mit denen man üblicherweise rechnen muss,
- in Zone 0 wie für Zone 1, außerdem sogar Zündquellen durch selten auftretende Betriebsstörungen,
- in Zone 20 wie für Zone 0,
- in Zone 21 wie für Zone 1,
- in Zone 22 wie für Zone 2.

E-2.3: Auflistung der Zündquellenarten (Abb. A/2-3) und erforderliche Schutzmaßnahmen hiergegen:

Abb. A/2-3: Zündquellenarten nach den Explosionsschutzrichtlinien.

E 2.3	Zündquellenarten
E 2.3.1	Heiße Oberflächen
E 2.3.2	Flammen und heiße Gase
E 2.3.3	Mechanisch erzeugte Funken
E 2.3.4	Elektrische Anlagen
E 2.3.5	Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz
E 2.3.6	Statische Elektrizität
E 2.3.7	Blitzschlag
E 2.3.8	Elektromagnetische Wellen im Bereich der Frequenzen von 10^4 Hz bis $3 \cdot 10^{12}$ Hz bzw. Wellenlängen von 30 km bis 0,10 mm (Hochfrequenz)
E 2.3.9	Elektromagnetische Wellen im Bereich der Frequenzen von $3 \cdot 10^{11}$ Hz bis $3 \cdot 10^{15}$ Hz bzw. Wellenlängen von 1000 μm bis 0,1 μm (Optischer Spektralbereich)
E 2.3.10	Ionisierende Strahlung
E 2.3.11	Ultraschall
E 2.3.12	Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase
E 2.3.13	Chemische Reaktionen

Soweit Konsens zwischen Herstellern, Abnehmern und den im Problembereich engagierten Wissenschaftlern erreicht wird, werden Zündungsszenarien entwickelt zur vergleichenden Risikoabschätzung der Verwendung der verschiedenen Materialien. Diese werden in Normen oder sonstigen Prüfvorschriften festgeschrieben und erlauben einen Vergleich des Zündungsrisikos bzw. des Brandverhaltens unterschiedlicher Substanzen, jedoch nur bei strenger Einhaltung der vorgegebenen Szenario-Konditionen. Diese Messwertreihen sind unter dem Begriff Sicherheitstechnische bzw. Brandschutztechnische Kennwerte zusammengefasst und können natürlich auch aus naturwissenschaftlich definierten Stoffkonstanten reiner Verbindungen oder ihrer definierten Gemische bestehen (z.B. Dampfdruck als Funktion der Flüssigkeitstemperatur, spezifisches Gewicht, Dichte gegenüber Luft bei Gasen und Dämpfen etc.). Sie sollen in den folgenden Einzeldarstellungen kurz vorgestellt werden, wenn dieses zur Erläuterung des vorliegenden Generalthemas notwendig erscheint.

Bei den Zündquellen ergeben sich bezüglich international normierter Szenarien in den brandschutzrelevanten Normen die folgenden Modellvorstellungen:

- niedrigerenergetische Zündquellen (Szenario Streichholz oder Feuerzeug) über das Modell des genormten beweglichen Kleinbrenners bei Kontaktzeiten zwischen Brennerflamme und Probenoberfläche bzw. -querschnitt (Kantenbeflammung) mit 10 bis 20 Sekunden (Dauer des Streichholzabbrandes).

Weitere Zündungsszenarien im weitesten Sinne sind:

- aufgebrachte erhitzte Schraubenmutter, Zigarettentest, Papierkissentest, Holz-Kleinkrippe mit wenigen Millilitern Propanol im kreuzweise aufgeschlitzten Sitzpolster gezündet (zur Simulation von bekanntem Vorgehen in öffentlichen Verkehrsmitteln) und anderes mehr,
- mittlereenergetische Zündquellen analog einem brennenden, gefüllten Papierkorb bzw. über einem Maschendrahtkorb, gefüllt mit Holzwolle zur Simulation von Flugfeuer und strahlender Hitze bei der Differenzierung von harter und weicher Bedachung nach DIN 4102,
- Pyrolysetests in Kleinöfen unter Einwirkung von Gasflammen (Brandschacht nach DIN 4102) oder elektrisch hervorgerufener thermischer Strahlungsbelastung (Wärmestrahler nach DIN 4102-14),
- Ofentests zur Bestimmung der Feuerwiderstandsfähigkeit bezüglich Standfestigkeit und Erhalt des Raumabschlusses mit Belastungstemperaturen entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK nach DIN 4102) und andere mehr.

Nachdem die unterschiedlichen in der häuslichen und der betrieblichen Praxis auftretenden Zündquellen, ihre Vermeidung bzw. die Verminderung ihrer Effektivität im Modell des Emmons'schen Zündungstetraeders nach den Ex-RL der BG-Chemie vorgestellt wurden, sollte der zweite Bereich, die für ein Feuer, hier jedoch insbesondere ein Schadenfeuer im Sinne von Explosion oder Brand, erforderlichen Oxidationsmittel und Brennstoffe, kurz vorgestellt werden. Hierbei wird auf die hier wesentlich erscheidenden und für die einzelnen Substanzgruppen wichtigen sicherheitstechnischen Kennwerte kurz eingegangen.

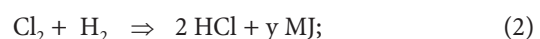
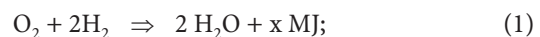
Oxidationsmittel

In der DIN 14 011-1 „Begriffe aus dem Feuerwehrwesen“ wird unter Punkt 3 (Vorgänge beim Brennen) formuliert:

„3.1 Brennen

Brennen ist eine mit Flamme und/oder Glut selbstständig ablaufende exotherme Reaktion zwischen einem brennbaren Stoff und Sauerstoff oder Luft.“

Als Oxidationsmittel wird hier demnach nur der Sauerstoff zugelassen, eine Einschränkung, die zwar für die alltägliche Feuerwehrpraxis, nicht jedoch in der betrieblichen Schadensvorsorge, hier insbesondere für die chemische Industrie, toleriert werden kann. Betrachten wir ein einfaches Beispiel, welches die analoge Wirkung auch anderer Oxidationsmittel als Sauerstoff (im ca. 20%igen Anteil in der Luft) auf einfache Weise belegt:



Reaktion (1) wird die Knallgas-Reaktion, Reaktion (2) die Chlorknallgas-Reaktion genannt. Beide laufen in Konzentrationsbereichen zwischen den Explosionsgrenzen mit erheblicher Rasanze und Zerstörungskraft ab. Reaktion (2) wäre jedoch nach der Definition der DIN 14011 nicht als ein Verbrennungsprozess anzusehen, da die Oxidation nicht mittels Sauerstoff, sondern durch Chlor erfolgt.

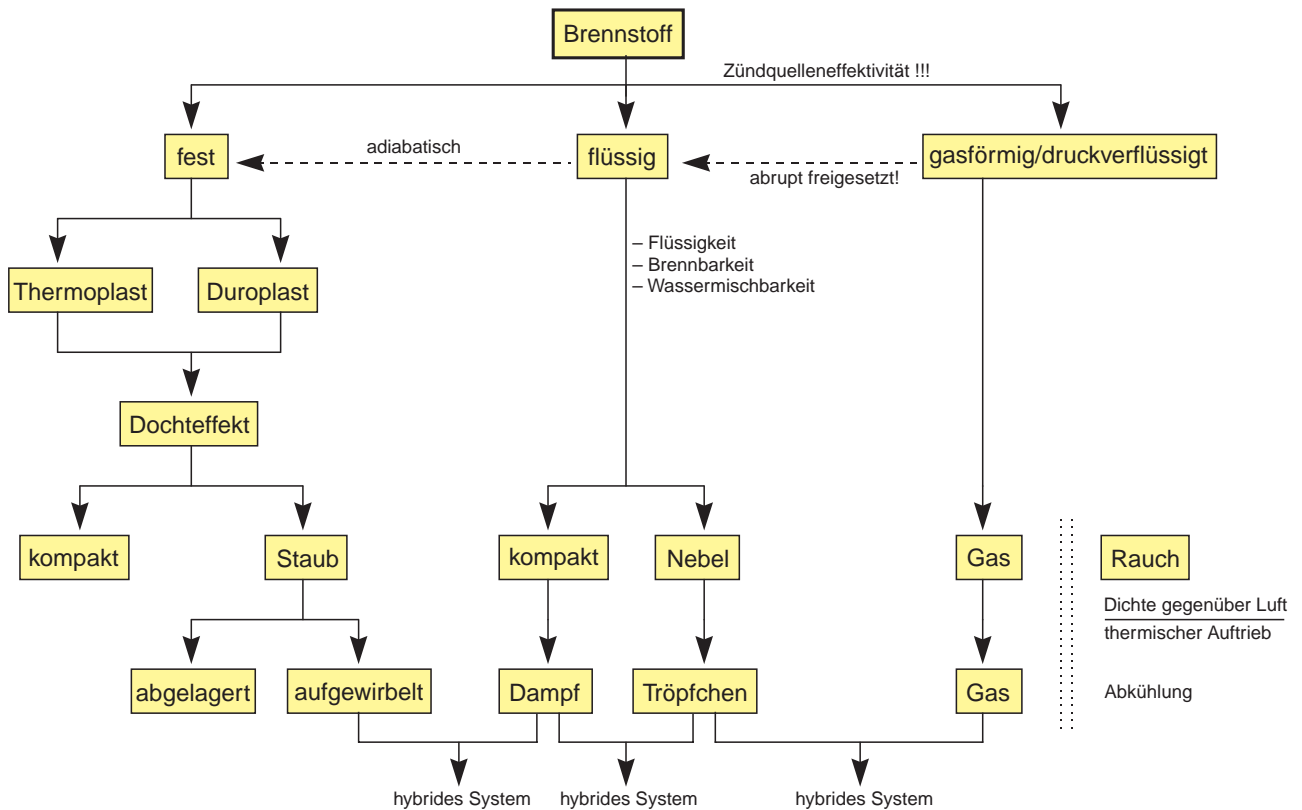


Abb. A/2-4: Erscheinungsformen der Brennstoffe und ihr Brandrisiko.

Es ist daher einleuchtend, dass ein Oxidationsprozess nicht allein auf den Sauerstoff als Reaktionspartner begrenzt werden darf, wenngleich feststeht, dass in der überwiegenden Zahl der hier zu besprechenden Schadenfeuer die Luft, zuweilen auch nur der Sauerstoff, als Oxidationsmittel anzusehen ist.

Brennstoffe

Bei den hier im Zusammenhang mit dem vorbeugenden baulichen Brandschutz zu betrachtenden Brennstoffen handelt es sich zunächst einmal im Wesentlichen um organische Feststoffe, die als Baustoffe im Gebäude Verwendung finden (massiv oder auch feiner strukturiert aus Holz oder Kunststoffen). Brennbare Flüssigkeiten, deren Dämpfe oder Gase werden als Brennstoffe bzw. im betrieblichen Bereich auch als Reaktionsmedien gelagert und umgesetzt. Es sollten daher auch in dem vorliegenden, thematisch begrenzten Themenkreis möglichst alle als Brennstoff im Sinne des Emmons-Tetraeders auftretenden Substanzgruppen bezüglich des Risikos ihrer Brennbarkeit wenigstens kurz beschrieben werden.

Feste Brennstoffe

Hierbei kann es sich um kompakte, groß dimensionierte Teile oder Konstruktionsanteile, um faserig praktisch eindimensional, um flächig zweidimensional aufgebaute Werkstoffe handeln, die strukturiert als textile Gewebe oder auch unstrukturiert planen- bzw. folienförmig in, an oder auf der Bausubstanz Verwendung finden bzw. frei von der Bausubstanz als Innenausstattung eingesetzt werden. Zum

Schluss sollte der feinste Verteilungsgrad fester Brennstoffe, der Staub, erwähnt werden:

„Fein zerteilter Feststoff beliebiger Form, Struktur und Dichte unterhalb einer Korngröße von $500 \mu\text{m}$ “, welcher sowohl abgelagert als auch aufgewirbelt ein besonderes Brennstoffrisiko darstellt [6].

Die festen Brennstoffe sind zumeist in der Lage, in 2 unterschiedlichen Reaktionsformen exotherm zu oxidieren:

- in Form einer Festkörperreaktion zu schwelen bzw. zu glimmen,
- in Form einer Gasphasenreaktion unter Flammenbildung „offen“ zu brennen.

In vielen Fällen einer Feststoffverbrennung liegen beide genannten Prozesstypen nebeneinander vor, doch können diese auch isoliert voneinander ablaufen (z. B. Holzstaub- oder Metallpulverbrand im ersten Falle und Abbrand thermoplastischen Kunststoffs im zweiten).

Neben den rein morphologischen Aspekten des Verteilungsgrades, der das Verbrennungsverhalten der Feststoffe erheblich beeinflusst, ist außerdem noch entscheidend, ob es sich bei dem betrachteten Material um einen duroplastischen oder einen thermoplastischen Werkstoff handelt, wobei ein besonderes Risiko in der Mischung beider Materialgruppen liegt. Bei der thermischen Belastung eines Gemisches aus Duro- und Thermoplasten kommt es zu dem gefürchteten Docht- oder Gerüsteffekt, wobei das thermisch resistente duroplastische Material die aus den Thermoplasten gebildete Flüssigkeit stützt bzw. aufsaugt, die Oberfläche der Schmelze vergrößert und so einen

fackelartigen Abbrand des Gesamtsystems ermöglicht (z. B. Heim- oder Bekleidungstextilien aus Kunstfasern mit Baumwollbeimischungen). In der Abb. A/2-4 sind die verschiedenen Erscheinungsformen der festen Brennstoffe, geordnet nach ihrem Brandrisiko, schematisch zusammengestellt.

Normen zur anwendungsunabhängigen Bestimmung von brandschutztechnischen Kennwerten für feste brennbare Materialien existieren praktisch nicht, sind auch vom Prinzip her nicht notwendig. Es sind jedoch anwendungsorientierte Bestimmungsmethoden genormt (z. B. als Baustoffe in der DIN 4102), welche über Brennbarkeit und Abbrandgeschwindigkeiten eine Risikoabschätzung der Verwendung unterschiedlicher, hier insbesondere textiler, Werkstoffe Auskunft geben.

Für brennbare Stäube existieren eine Vielzahl von Untersuchungsverfahren, die Auskunft über die Zündfähigkeit sowohl der abgelagerten als auch der aufgewirbelten Mikropartikel geben. Dieses resultiert aus dem erkannt hohen betrieblichen Gefahrenpotenzial dieser Stoffgruppe.

Flüssige Brennstoffe

Als flüssige Brennstoffe kommen hier zunächst Heiz- und Kraftstoffe, aber aus dem betrieblichen Umgang auch brennbare Lösemittel, in Betracht. Das Brandrisiko bei Lagerung und Umgang resultiert zunächst entscheidend aus der Verdunstungsgeschwindigkeit und der Lage ihres Siedepunktes oder -bereichs. Außerdem kann das Entflammungsverhalten durch die Art der angebotenen Zündungsenergie (offene Flammen oder heiße Oberflächen als Zündquellen) erheblich beeinflusst werden.

Wie auch bei den festen Brennstoffen spielt der Verteilungsgrad (kohärentes Flüssigkeitsreservoir im Gebinde oder als massive Lache gegenüber dem fein versprühten Nebel) und die Betriebstemperatur der brennbaren Flüssigkeit eine erhebliche Rolle für die Beurteilung des Zündungsrisikos. Nebel lassen sich durch offene Flammen selbst bei sehr tiefen Temperaturen noch zünden, während an heißen Oberflächen dieses Risiko deutlich geringer gegenüber dem groben Tropfen oder der ab rinnenden brennbaren Flüssigkeit wird.

Brandschutztechnische Kennwerte der flüssigen Brennstoffe sind z. B.:

- Flammpunkt, Brennpunkt, Zündpunkt, unterer und oberer Explosionspunkt jeweils als Temperaturangabe (physikalisch korreliert mit der Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks der brennbaren Flüssigkeit),
- untere (UEG) und obere Explosionsgrenze (OEG) als der jeweiligen Belastungstemperatur zugehörige Dampfkonzentration über der Flüssigkeitsoberfläche.

Für die Risikoszenarien der brennbaren Flüssigkeiten konnte relativ einfach ein Konsens hergestellt werden, da hier keine Diskussionen über Verteilungsgrad und Verwendungsart erforderlich waren. Einzig dem unterschiedlichen Verhalten von kohärenter Flüssigkeit (z. B. Tropfzündpunkt) und versprühtem Nebel ist hier Aufmerksamkeit zu widmen.

Gas- oder dampfförmige Brennstoffe

Diese Brennstoffklasse tritt zusammen mit dem Oxidationsmittel Luft in homogener Phase, der Gasphase, auf. Die einzige Anomalie kann in der Schichtung im freien Luftraum liegen (Stratifizierung), da die meisten brennbaren Gase (Ausnahme: Wasserstoff und Methan) und alle Dämpfe üblicherweise verwandter brennbarer Flüssigkeiten schwerer als Luft sind und ohne Turbulenzen, Ventilationen bzw. Wärmekonvektion sich im betrachteten Raumabschnitt von unten nach oben schichtenförmig lagern.

Als sicherheitstechnische Kennwerte für Gase und Dämpfe stehen zur Beurteilung des Zündungsverhaltens die obere und untere Explosionsgrenze und der Gaszündpunkt zur Verfügung.

Die Folgereaktion nach der Zündung

Nach dieser intensiven Behandlung der Zündungssituation und ihrer Effektivität im Sinne des Emmons-Tetraeders muss darüber nachgedacht werden, mit welchen Folgen bei einer derartigen Zündung zu rechnen ist. Wie schon vorhergehend angedeutet, kann es zu 2 verschiedenen Reaktionstypen kommen, je nach der Art und dem Verteilungsgrad des vorliegenden Brennstoffs und seiner – zum Teil daraus resultierenden – Durchmischung oder Durchmischungsmöglichkeit mit dem Oxidationsmittel, welches in den meisten Fällen die Luft bzw. ihr Sauerstoffanteil ist. Befindet sich das System aus Brennstoff und Oxidationsmittel (Luft) bereits vorgemischt im zündfähigen Bereich innerhalb der jeweiligen Zündgrenzen des Systems (zwischen UEG und OEG bezogen auf die Brennstoffkonzentration des zu betrachtenden Raumabschnitts), so kommt es nach dem Einwirken der effektiven Zündquelle zu dem spontanen, überaus raschen, aber einmaligen Reaktionsablauf, welcher in die Gruppe der Explosionen einzuordnen ist.

Wird jedoch erst durch die Einwirkung der Zündenergie ein zündfähiges Gemisch gebildet, oder ist – wie bei der Flamme des Bunsenbrenners – die Ausströmgeschwindigkeit des Brenngas-Luft-Gemisches größer als die Rückzündungsgeschwindigkeit und kleiner als die Ablösungsgeschwindigkeit der Flamme, so entsteht ein Kreisprozess aus Zündung und Rückzündung, wobei der Energieüberschuss der Primärzündung in die Aufarbeitung weiteren Brennstoffs einfließt und so die Intensität des primären Verbrennungsprozesses zunächst langsam und dann immer schneller in Form einer Exponentialfunktion wächst, bis sie mit der Endübertemperatur ihr Gleichgewicht mit dem offenen System der Umgebung erreicht hat. Abzuleiten ist dieses typische Verhalten von Verbrennungsprozessen durch ein kombiniertes System radikalischer Reaktionen im prinzipiellen Oxidationsprozess von Kohlenwasserstoffen:



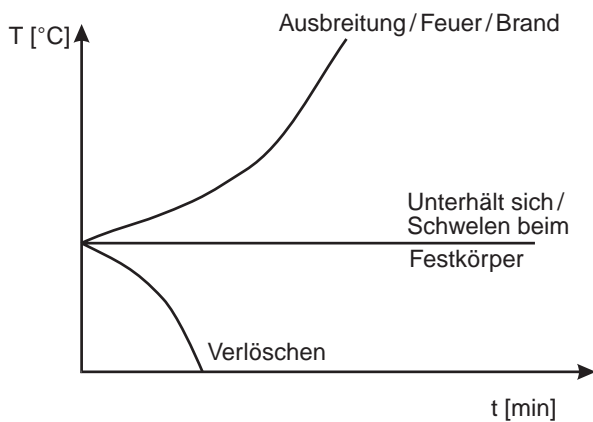


Abb. A/2-5: Schematische Darstellung der Wirkung von Zündung und Rückzündung [7].

Es ist ersichtlich, dass zum einen innerhalb der Reaktionsfolgen das als Motor des Verbrennungsprozesses zu betrachtende H^\bullet -Radikal neu gebildet wird (unechter Katalysator-Effekt), zum anderen in den ersten beiden Reaktionsschritten aus jeweils einem eingesetzten Radikal 2 neue entstehen (Radikalproliferation). Hierdurch wird eine exponentielle Beschleunigung der Reaktionsgeschwindigkeit erreicht, die sich für den Fortgang des Oxidationsprozesses positiv (bei Energieüberschuss), aber auch negativ bei überdurchschnittlichen Energieverlusten auswirken kann, wobei es im letztgenannten Fall zu einem raschen Erlöschen des Verbrennungsprozesses kommt (Abb. A/2-5).

Im Folgenden sollen die über ihre Wirkung unterscheidbaren beiden Phänomengruppen der selbstständig ablaufenden exothermen Reaktionen, die Explosionen und die Brände, in ihren verschiedenen Erscheinungsformen kurz dargestellt werden.

Die Explosionen

Bei den Explosionen handelt es sich um sehr rasch ablaufende Reaktionen, die sich zumeist nur durch einen mehr oder weniger lokal begrenzten „kalten“ Schaden an Raumabschlüssen, Sachen oder auch Personen durch Druckeinwirkung zu erkennen geben, wobei es durch Verdämmung des primären Bereichs der Druckentwicklung zum Fortschleudern von Bruchstücken mit erheblicher Splitterwirkung kommen kann. Charakteristisch für explosionsartig ablaufende exotherme Reaktionen im Gebäude sind herausgesprengte Fenster, zum Teil mit den Rahmen und Maueranschlüssen, nach außen herausgedrücktes Gefach, bei Leichtbauweisen die völlige Zerstörung der Konstruktion (Abb. A/2-6).

Die Explosion ist zunächst ein einmalig ablaufendes Ereignis, das jedoch durchaus in der Lage ist, ähnliche Folgereaktionen auszulösen (z. B. durch weitere Aufwirbelung zündfähigen Staubes). Man unterscheidet insbesondere aus praktischen Gründen nach dem Ursprung und den räumlichen Gegebenheiten des Ereignisses:

- die Sprengexplosion im eng begrenzten, verdämmenden Raum,
- die Raumexplosion im abgeschlossenen Raum (Rohrstrecke, Reaktor oder auch innerhalb eines Wohnbereichs),
- die atmosphärische Explosion in räumlich unbegrenzter Umgebung mit ungehinderter Ausbreitung.



Abb. A/2-6: Zerstörungsbild nach einer Explosion.

Das Ereignis selbst kann nach Strehlow/Baker wie folgt beschrieben werden [8]:

„Im Allgemeinen spricht man davon, dass eine Explosion in der Atmosphäre stattgefunden hat, wenn so viel Energie in einer ausreichend kleinen Zeit in einem ausreichend kleinen Volumen freigesetzt wurde, dass eine Druckwelle mit endlicher Amplitude entsteht, die sich von der Quelle weg ausbreitet. Diese Energie kann ursprünglich in dem System in verschiedener Form gespeichert sein, z. B. als nukleare, chemische, elektrische oder Druckenergie. Die Freisetzung wird solange nicht als explosiv bezeichnet, solange sie nicht schnell und konzentriert genug erfolgt, so dass eine Druckwelle entsteht, die man hören kann.“

Weitere Definitionen finden sich in DIN 14011-1 „Begriffe aus dem Feuerwehrwesen; Physikalische und chemische Vorgänge“:

„Explosion:

Explosion ist die exotherme Reaktion in explosionsfähigen Gemischen bzw. in explosionsfähiger Atmosphäre, solange die Reaktion nicht zur Detonation führt.

(Anmerkung: Explosionen mit geringer Druckwirkung werden zuweilen auch Verpuffungen genannt.)

Detonation:

Detonation ist eine durch eine Stoßwelle ausgelöste Flammenreaktion, die sich mit Geschwindigkeiten bis zu einigen km/s fortpflanzt.

(Anmerkung: Bei Detonationen können die in Flammenfortpflanzungsrichtung mit Überschallgeschwindigkeit strömenden Gase große Zerstörungen verursachen.)“

Außerdem wird in DIN 50060 „Prüfung des Brandverhaltens von Werkstoffen und Erzeugnissen – Begriffe –“ wie folgt definiert:

„Explosion: Plötzliche Zerfalls- oder Oxidationsreaktion, die eine Temperatur- oder Druckerhöhung oder beides gleichzeitig bewirkt.

Deflagration: Mit Unterschallgeschwindigkeit sich ausbreitende Explosion.

Detonation: Durch eine Stoßwelle mit Überschallgeschwindigkeit sich ausbreitende Zerfalls- oder Oxidationsreaktion.“

Nimmt man nun die Definitionskette der DIN 14011 wieder auf, so müssen noch die folgenden Begriffe ergänzend definiert werden:

„Explosionsfähiges Gemisch:

Explosionsfähiges Gemisch (Oberbegriff) ist ein Gemisch von Gasen und Dämpfen untereinander oder mit Nebeln oder Stäuben, in dem sich nach ihrer Entzündung eine Flamme selbstständig fortpflanzt, ohne dass eine weitere Energiezufuhr oder Luftzufuhr erforderlich ist.



Abb. A/2-7: Schadensbild nach einer Blasenresonanzexplosion (Siedeverzug).

Explosionsfähige Atmosphäre:

Explosionsfähige Atmosphäre ist ein explosionsfähiges Gemisch von Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben mit Luft einschließlich üblicher Beimengungen unter atmosphärischen Bedingungen.

(Anmerkung: Eine Beimengung kann z. B. Feuchtigkeit sein.)

Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre:

Es werden mehr als 10 l explosionsfähige Atmosphäre in Form eines zusammenhängenden Volumens unabhängig von der Gesamtraumgröße als gefährlich angesehen.“

Doch auch kleinere Mengen können bereits gefährlich sein, wenn sich Menschen in unmittelbarer Nähe befinden. Außerdem können auch deutlich kleinere, gezündete Raumpartien als primäre Zündquelle wirken und z. B. eine Zündkette auslösen.

Bei den meisten zündfähigen Stäuben reicht eine ca. 1 mm starke Staubschicht auf dem Boden aus, um nach dem Aufwirbeln den normal hohen Raum mit explosionsfähiger Staub/Luft-Atmosphäre zu erfüllen.

Fasst man nun diese Informationen aus Normendefinitionen zusammen, so ergibt sich bezüglich der Ereignisgruppe „Explosionen“ das folgende Bild:

Eine Explosion ist eine plötzliche Zerfalls- oder Oxidationsreaktion, verbunden mit Temperatur- und/oder Druckerhöhung, welche bei Unterschallausbreitung als Deflagration, bei Überschallausbreitung als Detonation bezeichnet wird. Deflagrationen (Explosionen) mit geringer Druckwirkung und Ausbreitungsgeschwindigkeit werden auch als Verpuffungen bezeichnet.

Die chemische Explosion als Gruppenbegriff umfasst Zerfalls- oder Oxidationsreaktionen vorgemischter Brennstoff-/Oxidationsmittel-Systeme, in denen sich nach der Zündung die Flamme (Reaktionszone) selbstständig ausbreitet, ohne dass eine weitere Energie- oder Materialzufuhr erforderlich ist.

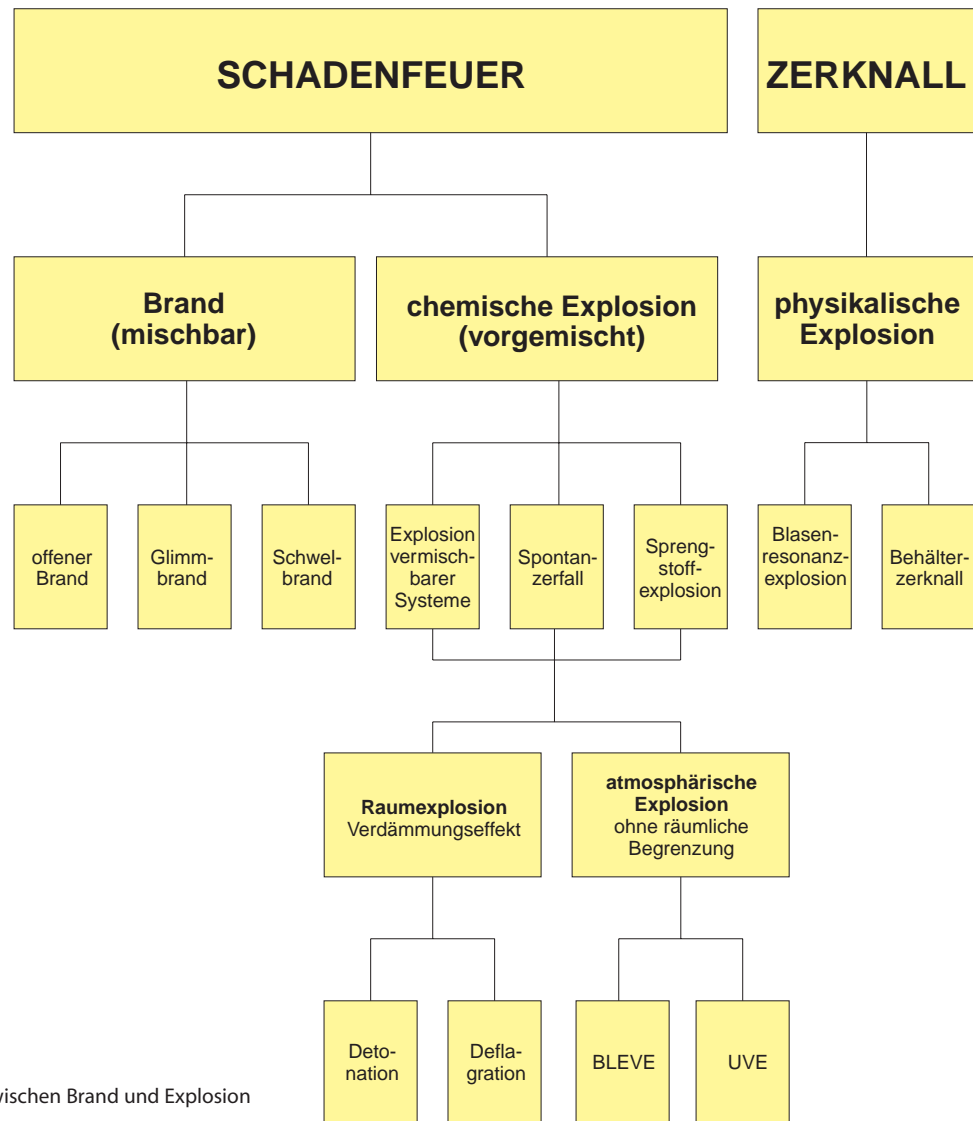


Abb. A/2-8: Differenzierung zwischen Brand und Explosion (modifiziert nach Krönke [28]).

Hiervon im Prinzip zu unterscheiden sind die physikalischen Explosionen, die vom gesamten Erscheinungsbild sehr summarisch unter dem Begriff des Behälterzerknalls zusammengefasst werden können und zumeist ihre Druckwirkung aus der Änderung des Aggregatzustandes eines Mediums beziehen, wie es z. B. vom trivialen Beispiel des Siedeverzugs aus der Laboratoriumspraxis bekannt sein dürfte.

Dass eine derartige schlagartige Dampffreisetzung erhebliches an Arbeit bzw. Zerstörungskraft freisetzen kann, ist in Abb. A/2-7 dargestellt, wo ein aus einem Autoxidationsvorgang resultierender Siedeverzug in ca. 7 t zwischengelagertem Destillationsprodukt zum Abdrängen eines mit 20 t gefüllten Brauchwassertanks aus seinem Bocklager führte.

In der schematischen Zusammenfassung der Abb. A/2-8 sind die differenzierbaren Phänomene chemischer und physikalischer Explosionen zusammengestellt, wobei auch die im folgenden Abschnitt zunächst prinzipiell zu behandelnde Phänomengruppe der Brände eingeordnet wurde.

Die Brände

Die Brände (Feuer) in ihren unterschiedlichen Ausprägungen können als die langsamen leiblichen Geschwister der schnellen Phänomengruppe der Explosionen angesehen werden. Wie die Explosionen (mit Ausnahme der Reaktionen resultierend aus einem Spontanzerfall) erfordern sie zur Einleitung der Reaktionsketten die durch das Zündungstetraeder nach Emmons bildhaft sehr einprägsam beschriebene räumliche und zeitliche Koinzidenz von Brennstoff, Oxidationsmittel und Zündquelle. Im Gegensatz zu den chemischen Explosionen ist hier jedoch die Vormischung von Brennstoff und Oxidationsmittel (üblicherweise der Raumluft) innerhalb der Zündgrenzen nicht notwendig, es muss nur eine Mischbarkeit durch die Primäreinwirkung der Zündquelle oder sekundär durch die Primärzündung gegeben sein.

Wesentlich für die differenzierende Beurteilung der unterschiedlichen Phänomene des Feuers in seiner „langsamen Form“, dem Brand, ist, dass er sich in 2 Materiephasen manifestieren kann, die durchaus isoliert auftreten können:

- dem Festkörperbrand (Glutbrand), wobei der Brennstoff als Festphase, das Oxidationsmittel (Luft) als gasförmige Komponente vorliegt,
- dem Gasphasenbrand (Flammenbrand), bei welchem sowohl der thermisch aufbereitete oder als solcher schon vorliegende Brennstoff als auch das Oxidationsmittel Luft sich als homogene Phase im Gasraum leicht beweglich vermischen und miteinander reagieren können.

Der erhebliche Unterschied in der Reaktionsgeschwindigkeit zwischen beiden Oxidationstypen lässt sich etwas trivial, jedoch einprägsam am Beispiel des Bratwurstgrillens demonstrieren:

Wird als Bratenenergie nur Wärmekonvektion bzw. Strahlung der glimmenden Holzkohle angeboten, so kann das Zubereitungsgeschehen harmonisch und kontrolliert ablaufen. Wird jedoch durch ausspritzendes Fett der Glut- in einen Flammenbrand überführt, so ist Eile geboten, um das Röstgut vor dem nun sehr rasch voranschreitenden Verbrennungsprozess zu retten.

Prinzipiell gilt diese Unterscheidung zwischen Ein- und Mehrphasigkeit auch für die Brennstoff-Oxidationsmittel-Gemische bei Explosionen, doch ist in diesem Falle wegen der erheblich erhöhten Reaktionsgeschwindigkeit und phänomenologischer Unterschiede (Druckaufbau) makroskopisch für die hier vorliegenden Betrachtungen dieser Unterschied unbeachtlich (Abb. A/2-9).

Nach diesem Exkurs in die Theorie bzw. deskriptive Phänomenologie von Explosionen und Brand (gesamt Brennen/Feuer) muss nun zurückgegangen werden auf die hier wesentliche Ausgangsfrage:

Was ist ein Brand?

Es handelt sich um einen Verbrennungsprozess, also eine chemische Veränderung bzw. eine Reaktion zwischen Brennstoff und Oxidationsmittel (Oxidationsprozess), die unter Wärmebildung (exotherm) und freiwillig (selbstständig) abläuft, wobei eine Lichtemission (Flamme oder Glut) sichtbar wird. Die Begriffe „brennen“ und „Feuer“ beschreiben verbal die Gruppe derartiger Vorgänge. Diese Reaktionen können einen beabsichtigten Nutzen oder einen Schaden hervorrufen, wobei der „Nutzen“ eines beabsichtigten Inbrandsetzens eines gut versicherten Objektes durch den Versicherungsnehmer hier nicht zur Diskussion steht. Auf die Janusköpfigkeit der Verwendung oder besser der Wirkung des Prometheusgeschenkes „Feuer“ wurde einleitend bereits ausführlich hingewiesen, sodass die Bifunktionalität als Nutzfeuer – Schadenfeuer hier nicht mehr überrascht. Wie lassen sich nun diese beiden Begriffe in ihrer juristischen Auswirkung ausreichend genau differenzieren?

Das Feuer (Verbrennung) als exothermer Oxidationsprozess, der unter Leuchterscheinung abläuft, muss sich, um als Schadenfeuer und damit als Brand aufzutreten, unkontrolliert und selbstständig ausbreiten und – eventuell durch das unbeabsichtigte Verlassen seiner Ausgangsstätte (des bestimmungsmäßigen Herdes) – einen Schaden anrichten, der nun entweder versicherungsrechtlich oder strafrechtlich zu würdigen ist. In der Abb. A/2-10 wird die vorhergehend ausgeführte Definitionsfolge noch einmal schematisch dargestellt.

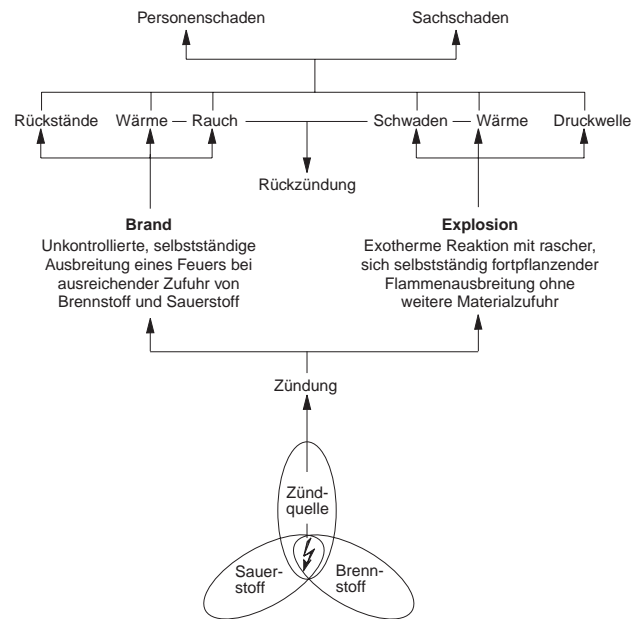


Abb. A/2-9: Unterschiedliche Auswirkungen bei Brand und Explosion.

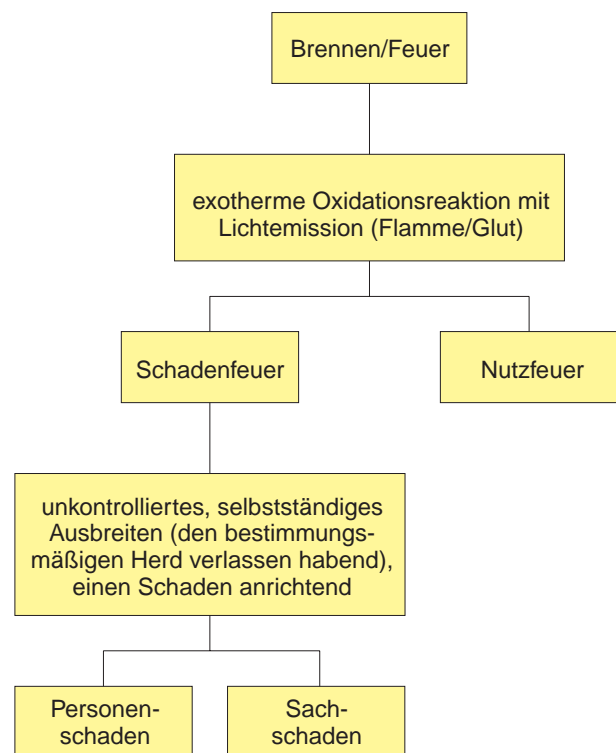


Abb. A/2-10: Definition Schadenfeuer und Nutzfeuer.

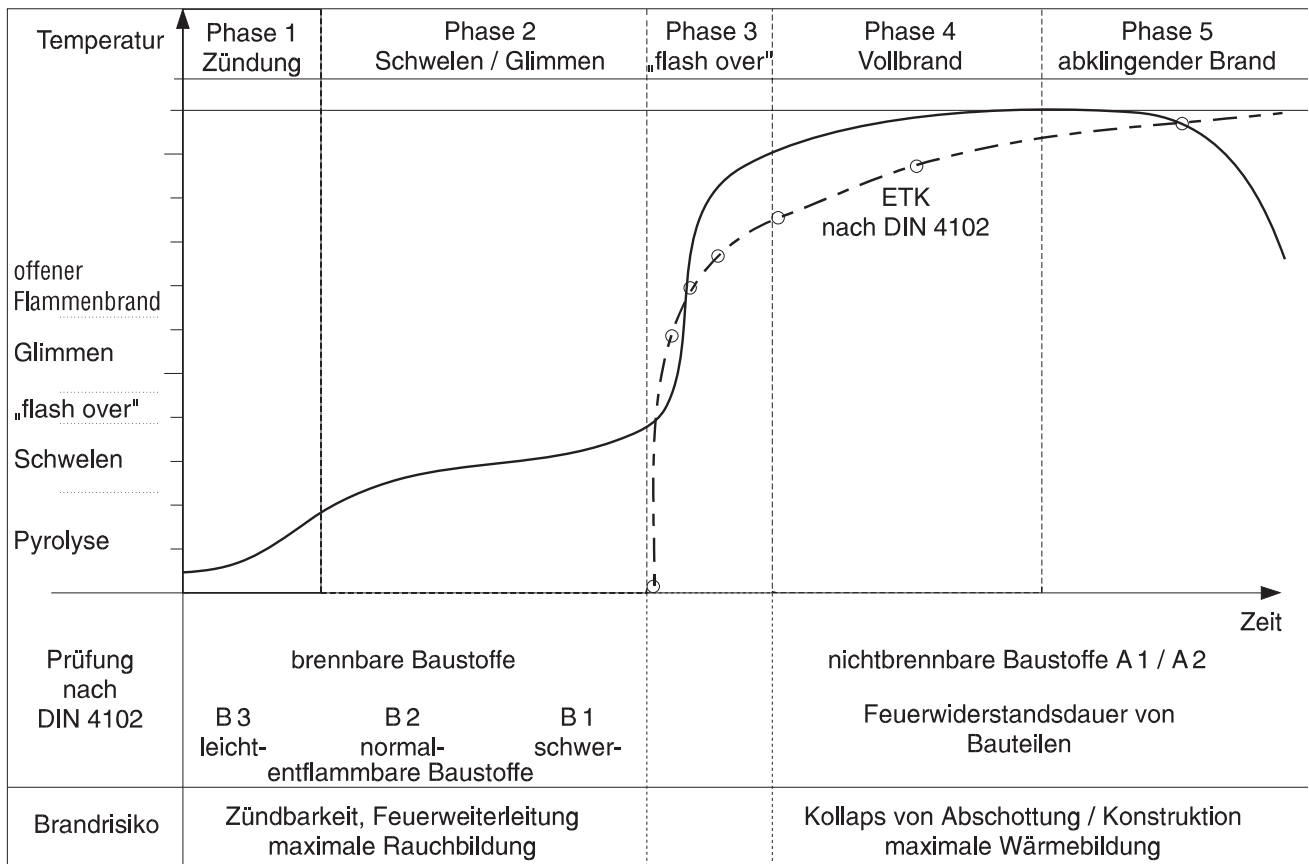


Abb. A/2-11: Schematischer Gesamtverlauf eines Feststoff-Feuers.

Wie schon einleitend dargelegt wurde, können die Feststoffbrände sowohl als Festkörper- als auch als Gasphasen-oxidationsreaktion ablaufen. In vielen Fällen des Feststoffbrandes treten beide Reaktionstypen gemeinsam auf. Die Flüssigkeits- und auch Gas- oder Dampffeuer laufen natürlich prinzipiell nur in der Gasphase ab.

Versucht man nun den Gesamtverlauf eines Feststoff-Feuers schematisch gegliedert zu betrachten, so ergibt sich die in Abb. A/2-11 dargestellte Unterteilung in folgende differenzierbare Phasen:

- Phase 1: Zündung (bei Erfüllung der Bedingungen des Emmons-Tetraeders),
- Phase 2: Schwelen/Glimmen (praktisch reine Festkörper-Oxidationsreaktion, ventilationsgesteuert),
- Phase 3: Feuerüberschlag (flash over mit dem Übergang der Oxidationsreaktion von der Feststoff- in die Gasphase und erheblicher Geschwindigkeitssteigerung des Abbrandes),
- Phase 4: Vollbrand,
- Phase 5: Abklingender Brand.

Die Abb. A/2-11 demonstriert diesen prinzipiellen Ablauf schematisiert, wobei die Zeitachse variabel gedacht sein muss und auch nicht alle Phasen in der hier genannten Reihenfolge bei jedem Feststoff-Feuer auftreten müssen. Der jeweilige Einzelfall richtet sich nach z. B. Art und Verteilungsgrad des jeweiligen festen Brennstoffs, Geometrie und Ventilation des Brandraums, Intensität der Primärzündung etc.

In der Abb. A/2-12 werden die Temperatur-Zeit-Abläufe der verschiedenen Brennstoffe fest, flüssig und gasförmig in ihren typischen Abbrandformen schematisch gegenübergestellt, wobei hier nur die prinzipiellen Unterschiede herausgearbeitet werden sollten und Mischformen unberücksichtigt bleiben mussten. Ganz links im Diagramm sind die verschiedenen Formen der Explosionen als Kurzzeitreaktionen eingezeichnet. Verlauf A soll den Verlauf von Flüssigkeitsfeuern symbolisieren, die ohne Schwel- oder Glimmphase gleich nach dem effektiven Zünden in den flash-over-Verlauf eintreten. Als Ausnahme wäre hier der Ablauf eines Leichtmetallfeuers zu nennen, da zum einen der Brennstoff „Leichtmetall“ in Form von Aluminiumlegierungen bei ca. 700 °C schmilzt (Flüssigkeit), zum anderen die Oxidation dieser Stoffgruppe nur in der Festphase in Form eines sehr heißen Glutbrandes abläuft.

Im Verlauf B ist der Normalabbrand von kompakten Feststoffen nachgezeichnet mit deutlicher Ausprägung der vorhergehend beschriebenen Phasen Schwelen/Glimmen, flash-over und Vollbrand, wobei alle diese Phasen unterschiedlich rasch durchlaufen werden können. Verlauf C soll den reinen Schwel-/Glimmbrand modellmäßig darstellen, bei welchem die Endüber Temperatur gegenüber den anderen Feuerarten relativ geringer ausfällt, hier jedoch die Feuerfolgeerscheinung Rauch als erhebliches Risiko im Vordergrund steht.

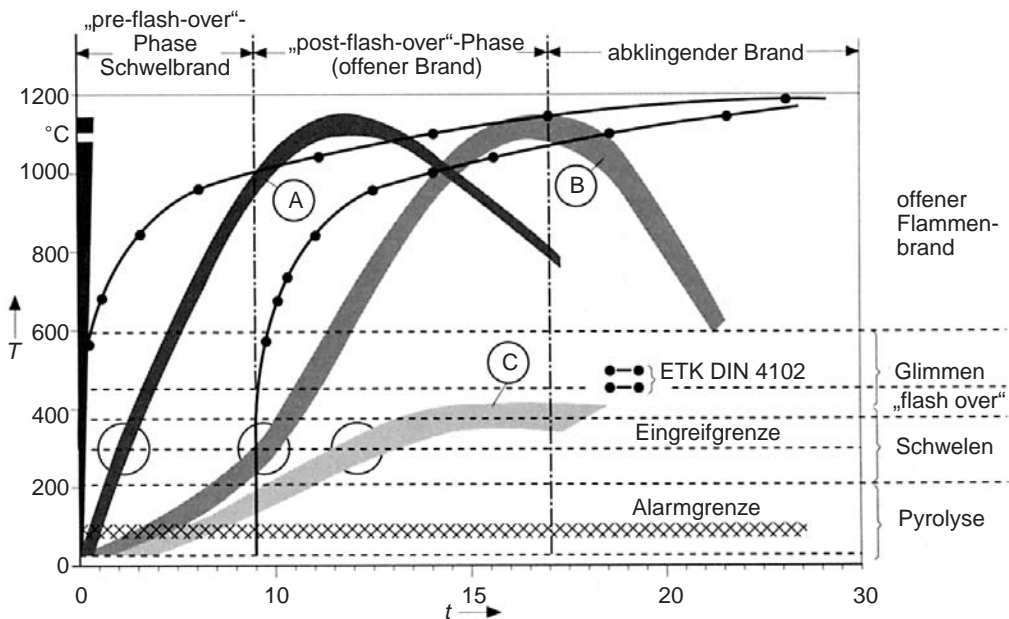


Abb. A/2-12: Temperatur-Zeitverläufe verschiedener Reaktionen (gasförmig – flüssig – fest).

Die beiden Strichpunkt-Kurven geben schon an dieser Stelle einen Hinweis auf die normenmäßige Feuerbelastung von Bauteilen zur Bestimmung ihrer Feuerwiderstandsdauer, und zwar nach DIN 4102-2 als Einheitstemperaturzeitkurve (ETK), durch welche in der schematischen Darstellung des Feststoff-Feuers eine Simulation von der Phase 3 (flash over) und Phase 4 (Vollbrandsituation) in der Temperaturbelastung des Versuchsofens vorgenommen wird.

2.2 Gefahren durch Brände bzw. Explosionen

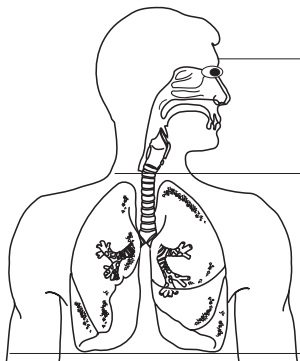
Die Risiken eines Schadens durch die beiden Erscheinungsformen unkontrollierter, selbstständig ablaufender exothermer Oxidationen, nämlich die Explosionen und die Brände, beziehen sich zum einen auf die Sachwerte (Gebäude und deren dinglicher Inhalt), zum anderen auf die dortselbst oder in der Nähe sich aufhaltenden Personen. In beiden Fällen resultiert das Gefährdungsrisiko aus dem spezifischen Erscheinungsbild des jeweilig ablaufenden Reaktionstyps. Das Hauptrisiko der Gruppe der Explosionen ist – außer bei Verpuffungen mit extrem niedrigen Ausbreitungsgeschwindigkeiten – in der Wirkung des emittierten Drucks, möglicherweise auch bei verdämmten Explosionen in der Splitterwirkung, zu sehen, wodurch Bausubstanz, Inventar und betroffene Personen mehr oder weniger intensiv geschädigt werden können. Das Hauptrisiko des Brandes in seinen verschiedenen Erscheinungsformen ist hingegen:

- der direkte oder indirekte thermische Schaden durch die relativ lang anhaltende Hitzeeinwirkung (thermischer Primärschaden),
- der indirekte Schaden durch die Brandfolgeerscheinung Rauch, welcher bezüglich der beim Ereignis anwesenden Personen zu Orientierungsverlust und Intoxikationen, im Sachschadensbereich zu teerigen Belägen durch Kondensatdepots, lang anhaftende Geruchsbelästigungen, insbesondere jedoch zu Korrosionserscheinungen an Bausubstanz und Inventar führt (thermischer Sekundärschaden).

Über die Wirkung von Explosionen auf Menschen und Sachwerte braucht hier nicht weiter diskutiert zu werden, da die Auswirkungen der hierbei auftretenden Druckstöße, einschließlich der Splitterwirkung verdämmender Partien, einfach vorstellbar sind. Erstaunlich ist jedoch, dass am menschlichen, im Übrigen auch beim tierischen Organismus erst bei extrem hohen, kurzfristig auftretenden Druckdifferenzbelastungen (praktisch nur im Detonationsbereich) Körperschäden direkt durch den Druckstoß auftreten. Hierbei ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass sich durch Standunsicherheit oder durch den Druck hervorgerufenen Wegschleudern eines Körpers ernste bis tödliche Verletzungen aus der nachfolgenden Aufprallsituation bzw. durch Splitterwirkung erhebliche Verletzungsrisiken ergeben. Auch beinhaltet diese Feststellung nicht den Ausschluss von Folgeverletzungen durch das gesamte oder einen Teil des Gebäudes, welches seine Standsicherheit aufgrund des Explosionsdruckes verloren hat.



Abb. A/2-13: Explosionsauswirkungen auf den menschlichen Körper. Beim Rühren einer Zündverzögerungsmasse für Feuerwerkskörper ist die Masse explodiert und der Rührlöffel ist unter hohem Druck an den Kopf des Opfers geschleudert worden.



Auge	NH ₃	<u>Reizstoffe</u>
Larynx	HCl	
Trachae	R-CO-Br (-Cl)	
Bronchien	F ₂ ; Cl ₂ ; Br ₂	<u>Oberflächengifte bzw. permeable Toxine (Atemgifte)</u>
Bronchiolen	SO ₂ ; SO ₃	
Alveolen	NO; NO ₂	
Kapillaren	CO; COCl ₂ ; HCN Mono- / Oligomere	

Abb. A/2-14: Gasförmige oder auch verdampfbare toxische Bestandteile der Schwel- und Brandgase mit ihren Hauptabgriffzonen im Atmungsstrakt (modifiziert für die Brandgase nach Forth/Henschler/Rummel, 1977)[9].

Im Prinzip gilt für die persönliche Beurteilung der Explosionswirkung die gleiche triviale Maxime wie für die Blitzeinwirkung auf die eigene Person:

Wer den Donner (Knall) noch hört, hat zunächst das Schlimmste überstanden.

Aus der gerichtschemischen Erfahrung lässt sich summarisch zu diesem Problemkreis Folgendes zusammenfassen:

- Explosionen mit hoher Ausbreitungsgeschwindigkeit (Druckdifferenz) gefährden im primären Angriff mechanisch die Bausubstanz, zum Teil auch das Inventar stark, die im Einwirkungsbereich betroffenen Personen jedoch nur gering, wenn Folgeeinwirkungen ausgeschlossen werden können,
- Explosionen mit niedriger Ausbreitungsgeschwindigkeit gefährden Bausubstanz und Inventar, aber auch die betroffenen Personen umso stärker, je geringer die Ausbreitungsgeschwindigkeit der mit der Druckwelle einhergehenden Hitzewelle ist, da bei niedrigen Geschwindigkeiten aufgrund der verbesserten Wärmeübergangsbedingungen (u. a. die Durchbrechung des Leyden-Frost'schen-Phänomens) das Risiko des Folgebrandes an Bausubstanz, insbesondere jedoch am Inventar, und die Dauer der Hitzeeinwirkung mit nachfolgender Zündung auf Heim- bzw. Bekleidungstextilien, aber auch die thermische Überbeanspruchung der unbedeckten Haut des oder der Opfer sich erheblich erhöht (Abb. A/2-13).

Im Gegensatz zur Gruppe der Explosionen sind die unterschiedlichen Arten der Brände gekennzeichnet durch die erheblich verlängerte Einwirkzeit des unkontrolliert ablaufenden, hier im Wesentlichen Hitze und Rauch produzierenden Ereignisses. Dementsprechend ergeben sich für den Sachwert, aber auch für die betroffenen Personen Vor- und Nachteile bezüglich der Einwirkungs- und damit Schädigungsintensität. Von Vorteil gegenüber dem abrupt einsetzenden Schaden einer Explosion ist, dass sich die Brandeinwirkung in den meisten Fällen relativ langsam entwickelt und so Möglichkeiten der Eigenrettung bzw. Hilfeleistung von außen bestehen. Auch können Schutzmaßnahmen vor-geplant und organisiert werden (Vorbeugender Brandschutz). Von Nachteil ist die relativ lange andauernde Einwirkzeit von Bränden auf Sachwerte und Personen, da – abgesehen von der notwendigen Dauer des thermischen Angriffs bis zur intensiven Schädigung – das Ausmaß der

Schädigungen mit der Einwirkzeit zunimmt. Das gilt sowohl für Sachwerte, die durch Kondensatablagerungen korrodieren, als auch für Personen, bei denen die Inhalationstoxizität lebensbedrohender Rauchgaskomponenten mit der Zeit größer wird.

Insgesamt lassen sich die psychophysischen Risikokomplexe, die im Brandfalle zum Personenschaden führen können, folgendermaßen differenzieren:

- Sauerstoffmangel durch den Verbrauch des O₂ der Raumluft infolge der Verbrennungsprozesse, aber auch durch Verdrängen der Luft durch den Rauch,
- Entstehen, Eindringen und Einatmen giftiger Pyrolysebestandteile; hier insbesondere der rasch und akut wirkenden Gase Kohlenmonoxid (CO) und Blausäure (HCN),
- thermische Wirkung der Verbrennungswärme durch Strahlung oder Leitung auf den menschlichen Organismus,
- psychophysische Stresswirkung auf den bedrohten Organismus.

Im Einzelnen kann zu den vorhergehend genannten Punkten Folgendes erläuternd ausgeführt werden:

Sauerstoffmangel (< 15 Vol.-% O₂), erhöhte Kohlendioxidkonzentration (> 2 Vol.-% CO₂) in der Atemluft, Hustenanfälle durch Reizgase (Abb. A/2-14), erhöhte Raumlufttemperaturen und Stress steigern bewusst, zumeist jedoch reflektorisch, das Atem-Zeit-Volumen und die Atemfrequenz. Hierdurch werden die im Luftvolumen des Brandraumes auftretenden Toxine deutlich rascher über die Atmung aufgenommen, zuweilen wird im Sinne von Synergismen ihre Wirkung gesteigert.

Wie durch eine Vielzahl von Versuchen bewiesen werden konnte, wirken im Brandrauch im Wesentlichen die beiden Gase Kohlenmonoxid und Blausäure in hohem Maße akut toxisch. Alle stickstoffhaltigen organischen Materialien bilden bei der oxidativen thermischen Zersetzung erhebliche Mengen an Blausäure.

Es sollte jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass neben CO und HCN andere toxische Rauchgaskomponenten, abhängig vom Brennstoff, der Pyrolysetemperatur, dem Sauerstoffangebot etc., auftreten, deren Toxizität bislang aber nur zum Teil untersucht wurde. Untersuchungen zu den synergistischen Wirkungen von Brandrauchtoxinen wurden bis heute nicht durchgeführt.

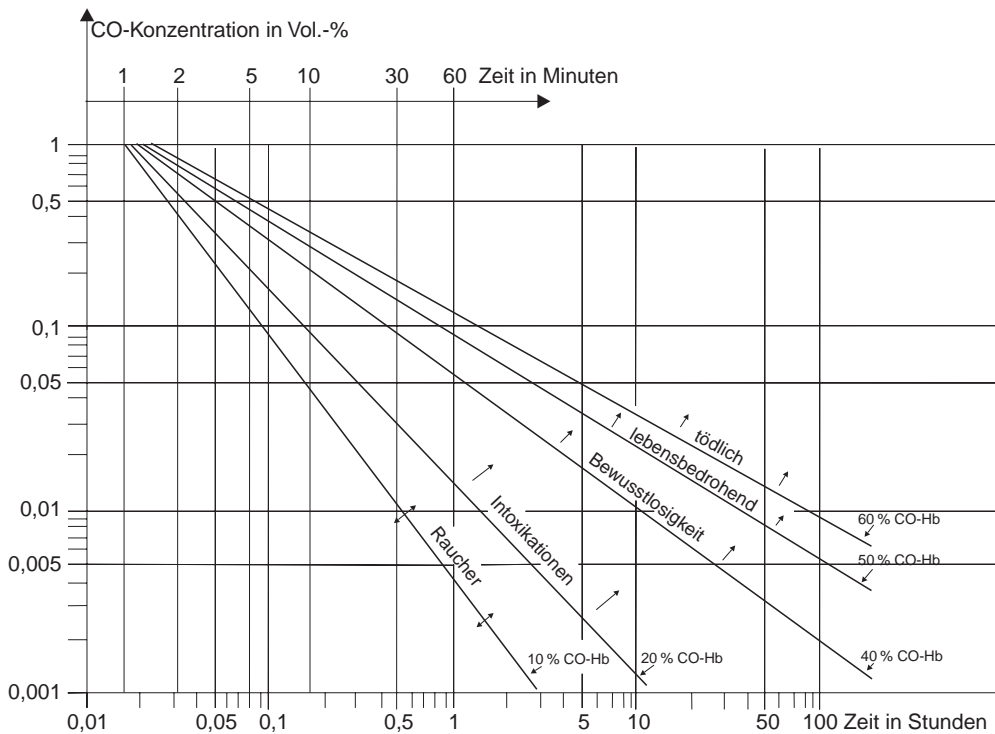


Abb. A/2-15: Nomografische Darstellung der erzielten Blut-Kohlenmonoxid-Hämoglobin-Konzentration als Funktion der Raumluftkonzentration und der Inhalationszeit mit den verschiedenen Risikobereichen für den Warmblüterorganismus (Auswertung von Tierversuchen mit Kraftfahrzeug-Auspuffgasen).

Will man die Wirkung des inhalierten Kohlenmonoxids auf den Menschen beschreiben, so ist zunächst festzustellen, dass es sich hierbei um ein kumulierendes Atemtoxin handelt, welches die Austauschpositionen des Hämoglobins besetzt und blockiert, da die Bindungsintensität etwa 200-fach stärker ist als bei Sauerstoff. Dadurch wird naturgemäß die Sauerstoffzufuhr in den Körper mehr oder weniger stark behindert. Toxische Anfangswirkungen sind ab etwa 20 % belegten Hämoglobins (Hb) zu erwarten. Ab etwa 40 % CO-Hb, bezogen auf Gesamt-Hb, ist mit Bewusstlosigkeit und völliger Handlungsunfähigkeit zu rechnen. Im Konzentrationsbereich zwischen 50 und ca. 70 % CO-Hb tritt der Tod erfahrungsgemäß bei alleiniger CO-Vergiftung ein.

Die genannten Konzentrationsbereiche an CO-Hämoglobin werden naturgemäß in Abhängigkeit von der CO-Konzentration in der Raum- und damit der Atemluft unterschiedlich schnell erreicht. In der Abb. A/2-15 ist dieses Intoxikationsrisiko nomografisch nach der Auswertung von Tierversuchen zusammengestellt. Es zeigt sich, dass bei ca. 0,5 Vol.-% CO in der Atemluft etwa 5 Minuten, bei 1 Vol.-% CO jedoch nur etwa 1 Minute bis zum Erreichen einer tödlichen Blutkonzentration vergehen.

Ähnlich wirksam ist auch die Blausäure (HCN), die sowohl durch Einatmen gasförmig, als auch oral in Form von wässrigen Lösungen der freien Säure oder ihrer Salze aufgenommen werden kann. Als letale Grenzkonzentration werden (wie auch wiederum Tierversuche bzw. Analysen von Vergifteten zeigen) etwa 1 bis 1,50 mg/kg Körpergewicht angesehen. Bei Inhalationen von HCN sollen 180 bis 270 ppm in der Atemluft rasch, ein Gehalt von 90 ppm bei län-

gerem Einwirken tödlich sein. In der Abb. A/2-16 sind die Blausäurekonzentrationen und CO-Hb Konzentrationen von sieben Opfern eines Gaststättenbrandes mit starker Verrauchung dargestellt. Aus diesen Daten ist auch zu entnehmen, dass nur in seltenen Fällen die beiden genannten, rasch wirksamen Toxine CO und HCN jeweils alleine den Intoxikationstod eines Brandopfers bewirken. Zum einen entstehen sie in unterschiedlichen Konzentrationskombinationen materialabhängig nebeneinander, zum anderen

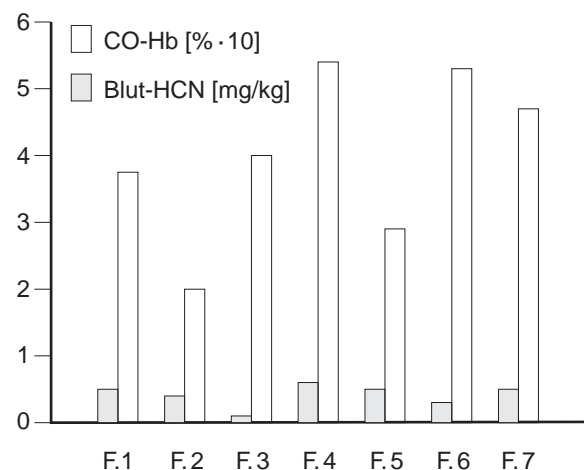


Abb. A/2-16: Blausäure- und Kohlenmonoxid-Hämoglobin-Konzentrationen (Blut-HCN und CO-Hb) bei sieben Opfern eines Brandes mit starker Verrauchung des Brandortes.

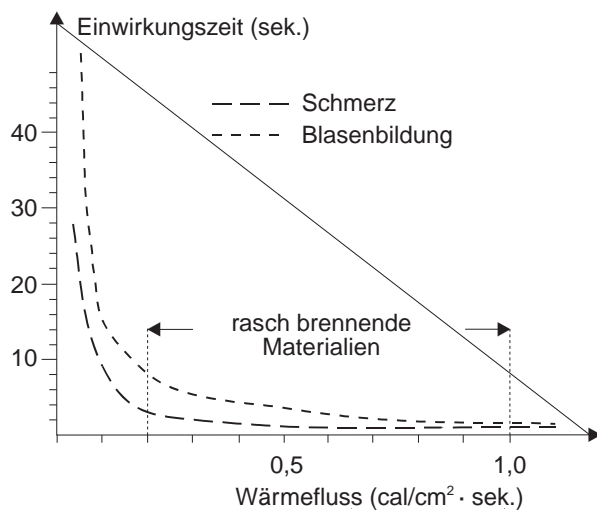


Abb. A/2-17: Wirkung der von der Haut absorbierten Strahlungsleistung in Abhängigkeit von der Einwirkdauer [10].

ist auch das Zusammenwirken mit anderen Toxinen oder anderen Belastungsparametern im Sinne einer Wirkungsaddition bzw. auch einer möglichen Wirkungspotenzierung (Synergismus) nicht außer Acht zu lassen.

Zuletzt soll noch kurz auf die Wärmebelastbarkeit des menschlichen Organismus eingegangen werden. Zu unterscheiden ist hierbei:

- die direkte Wärmebelastung der menschlichen Körperoberfläche durch die Wärmestrahlung eines Flammenbrandes und der Wärmeübergang von auf der Körperoberfläche abbrennenden textilen Materials

von der

- indirekten Wärmebelastung durch Aufenthalt im durch den Brand aufgeheizten Raum.

Direkte thermische Belastung

Wie experimentelle Untersuchungen ergeben haben, treten beim Menschen erste Schmerzen auf, sobald eine Hauttemperatur von ca. 44 °C überschritten wird. Ein Wärmestrom von 1,7 W/cm², welcher ungefähr der Leistungsabgabe einer Taschenlampenbatterie, gleichmäßig verteilt auf 1 cm² Oberfläche, entspricht, führt bereits nach 2 Sekunden zur Rötung der Haut, nach 5 bis 6 Sekunden kommt es zur Blasenbildung. Nach Stamm [10] besteht der in der Abb. A/2-17 dargestellte Zusammenhang zwischen dem von der Haut absorbierten Wärmefluss und der Zeit bis zum Überschreiten der Toleranzgrenze.

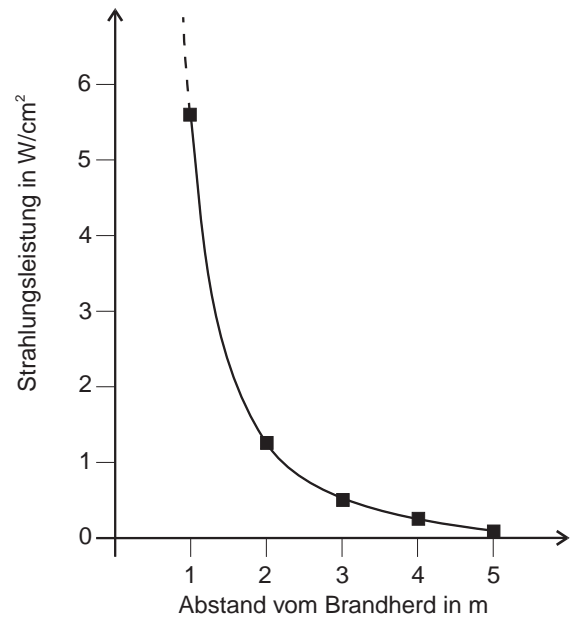


Abb. A/2-18: Strahlungsleistung von Flammen eines Kraftfahrzeuginnenraumes in Abhängigkeit vom Abstand.

Eigene Messungen der Strahlungsleistung an brennenden Kraftfahrzeuginnenräumen haben ergeben, dass sie in unmittelbarer Nähe der Flammensäule bis zu 15 W/cm² erreichen kann, mit wachsendem Abstand jedoch rasch zurückgeht.

Die erreichten Werte an den verschiedenen Messpunkten gehen aus Abb. A/2-18 hervor.

Indirekte thermische Belastung

Durch die Konvektion der beim Brand gebildeten heißen Gase und Dämpfe kann es in umschlossenen Räumen zu Überhitzungseffekten der sich darin aufhaltenden Personen kommen (Hyperthermie). Aufgrund der Überhitzung sinkt die Toleranz gegenüber dem Atmungsgift Kohlenmonoxid bei gleichzeitig verringerter Sauerstoffkonzentration in der Atemluft. Wegen der relativ niedrigen Koagulationstemperatur des Blutes (ca. 60 bis 70 °C) werden Raumtemperaturen in diesem Bereich nur kurzfristig ertragen. Raumtemperaturen von 100 °C und darüber führen innerhalb von Minuten zum Tode. Diese Werte gelten nur dann, wenn der Temperaturregulationmechanismus des menschlichen Körpers nicht mehr funktioniert, was insbesondere bei hoher Luftfeuchtigkeit der Fall ist.

3 Brandschutztechnische Einrichtungen

Gebäudebrände verursachen alljährlich erhebliche Sach- und Personenschäden. Diese zu verhindern oder doch zumindest in ihren Auswirkungen zu verringern, ist das angestrebte Ziel des Brandschutzes.

Um eine Annäherung an den umfangreichen Gesamtkomplex „Brandschutz“ zu erleichtern, wird üblicherweise folgende Unterteilung vorgenommen:

- organisatorischer Brandschutz,
- betrieblicher Brandschutz,
- vorbeugender baulicher Brandschutz und
- abwehrender Brandschutz.

Die weiteren Ausführungen werden sich in erster Linie mit dem vorbeugenden baulichen Brandschutz beschäftigen, da dieser während der gesamten Planungs- und Bauphase berücksichtigt werden muss und wesentliche Grundlage für den abwehrenden Brandschutz darstellt.

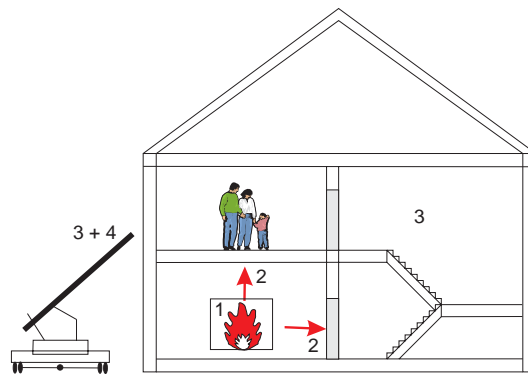
Allgemeines

Die Maßnahmen des vorbeugenden baulichen Brandschutzes verfolgen im Wesentlichen 4 Ziele:

- Verhinderung der Brandentstehung,
- Eingrenzung des Brandes auf Gebäudeabschnitte,
- Schaffung von Voraussetzungen, um wirksame Löscharbeiten durchführen zu können,
- Schaffung von Rettungsmöglichkeiten.

Da allein schon durch die Nutzung von Gebäuden grundsätzlich die Brandentstehung nicht ausgeschlossen werden kann, sind weitergehende Maßnahmen zur Eingrenzung des Schadensausmaßes bei einem Brand unerlässlich. Dazu dient die Unterteilung von Gebäuden in Abschnitte, die Feuer und Rauch für eine gewisse Zeit räumlich begrenzen können. Um eine weitere Ausbreitung eines Brandes zu verhindern, sind Löscharbeiten erforderlich, deren Durchführung mit Gefahren für die Einsatzkräfte verbunden ist, die aber durch bestimmte bauliche Voraussetzungen gemindert werden können.

Hier wird deutlich, dass der vorbeugende bauliche Brandschutz und der abwehrende Brandschutz nicht isoliert nebeneinanderstehen. Die Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes schaffen dabei die Voraussetzungen für den abwehrenden Brandschutz. Das heißt, ein Feuerwehreinsatz kann nur so erfolgreich sein, wie die vorgefundene bauliche Situation es zulässt.



- 1 Brandentstehungsprophylaxe
- 2 Brandausbreitungsprophylaxe
- 3 Rettung von Menschen und Tieren ermöglichen
- 4 Löscharbeiten ermöglichen

Abb. A/3-1: Prophylaxe durch Brandschutzmaßnahmen.

Beide Aspekte des Brandschutzes müssen gemeinsam mit den Aspekten der geplanten Nutzung als integrativer Bestandteil der Gesamtkonstruktion eines Bauwerkes in die Planung mit einfließen, wobei eine frühzeitige Zusammenarbeit aller Gewerke unabdingbar ist.

Werden die für die spätere Nutzung notwendigen Elemente wie Wände, Decken und Türen usw. gleich unter dem Aspekt des baulichen Brandschutzes konzipiert, muss Brandschutz weder teuer noch kompliziert sein. Dieser Zusammenhang ist in Abb. A/3-2 dargestellt.

Ziel aller Brandschutzmaßnahmen ist es, ein hohes Maß an Sicherheit für Personen und Sachwerte zu erreichen. Der zu schützende Personenkreis erstreckt sich auf die Bewohner und Nutzer des Gebäudes selbst, sowie im Brandfall auf die Einsatzkräfte der Feuerwehr und auf die Bewohner der Nachbargebäude. An Sachwerten gilt es ebenfalls das Gebäude selbst mit den darin enthaltenen Werten und angrenzend die Nachbargebäude zu schützen. Darüber hinaus ist die Allgemeinheit vor den Folgen insbesondere von Großbränden, wie Luftverunreinigungen durch toxische Rauchgase und Gewässerverunreinigungen durch kontaminierte Löschwässer, zu bewahren.

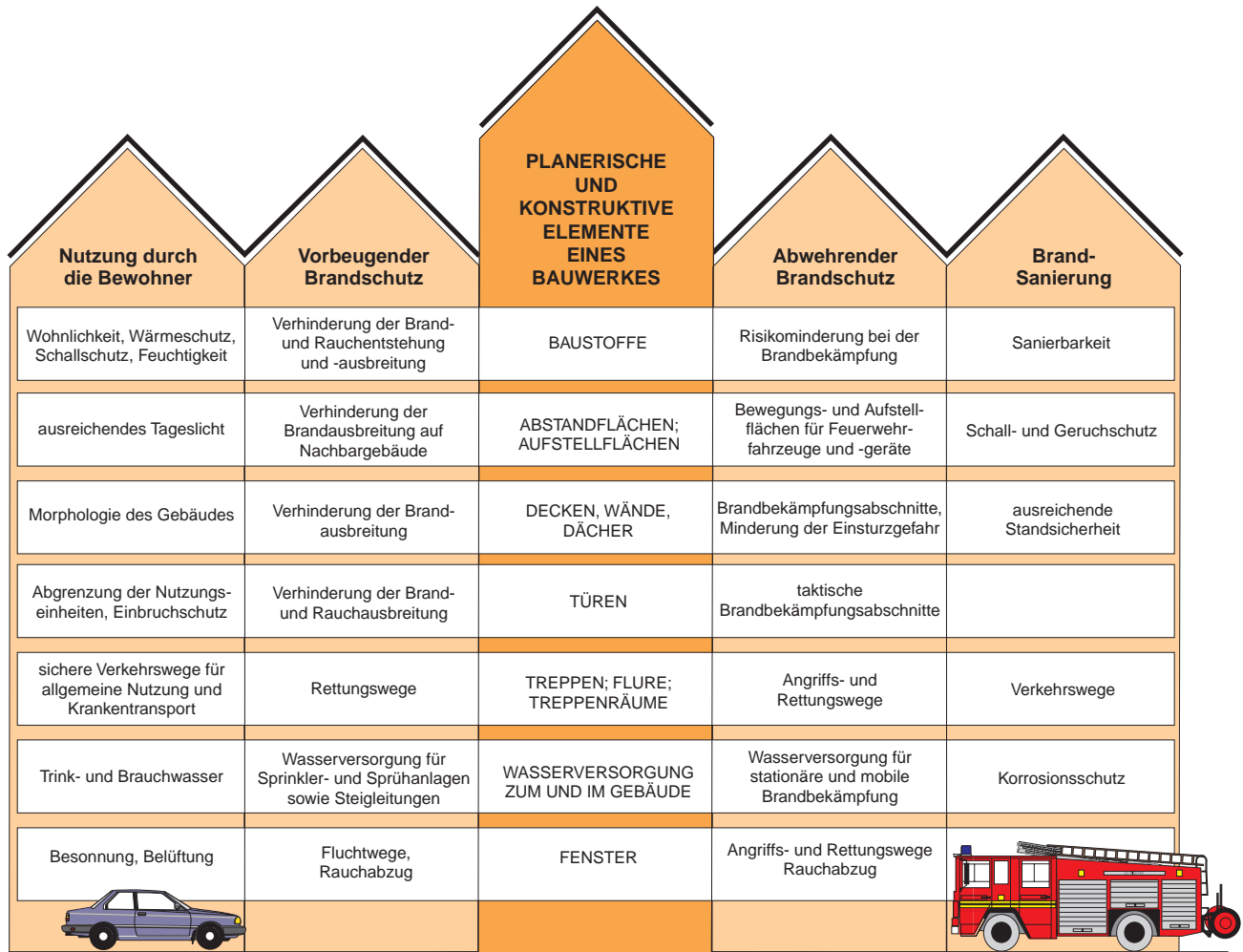


Abb. A/3-2: Zusammenhang zwischen vorbeugendem und abwehrendem Brandschutz und der Nutzung eines Gebäudes (nach H. de Vries).

Durch das im Grundgesetz verbrieftete Recht auf körperliche Unversehrtheit fällt die Erreichung dieser Ziele in die Fürsorgepflicht des Staates, der er durch entsprechende Gesetzgebung nachkommt. Die Gesetzgebungskompetenzen zwischen Bund und Ländern sind in Art. 72 des Grundgesetzes geregelt. Hier heißt es:

„(1) Im Bereich der konkurrierenden Gesetzgebung haben die Länder die Befugnis zur Gesetzgebung, solange und soweit der Bund von seiner Gesetzgebungszuständigkeit nicht durch Gesetz Gebrauch macht.

(2) Auf den Gebieten des Artikels 74 Abs. 1 Nr. 4, 7, 11, 13, 15, 19a, 20, 22, 25 und 26 hat der Bund das Gesetzgebungsrecht, wenn und soweit die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse im Bundesgebiet oder die Wahrung der Rechts- oder Wirtschaftseinheit im gesamtstaatlichen Interesse eine bundesgesetzliche Regelung erforderlich macht.“

In Bezug auf das Bauwesen ist der Bund seiner Gesetzgebungskompetenz mit Erlass des Baugesetzbuches nachgekommen. Von weiteren Gesetzgebungsmöglichkeiten für bauordnungsrechtliche Vorschriften hat der Bund keinen Gebrauch gemacht. Zur Wahrung der Rechts- oder Wirtschaftseinheit haben die Länder mit der Verabschiedung der Musterbauordnung (die erste 1960) die Grundlage für die Landesbauordnungen geschaffen. Die jetzt gültige Fort-

schreibung der Musterbauordnung (MBO) ist im November 2002 veröffentlicht worden.

Die in den Landesbauordnungen gestellten Anforderungen beziehen sich im Wesentlichen auf Risiken, die sich aus der Benutzung des Gebäudes zu Wohnzwecken oder einer damit vergleichbaren Benutzung ergeben. Das Risiko wird in den Bauordnungen differenziert nach der Gebäudegröße und damit nach der Anzahl der Nutzer. Die Musterbauordnung unterscheidet 5 Gebäudeklassen:

Gebäudeklasse 1

Freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als 2 Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² und freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude

Bei diesen Gebäuden kann das Personenschadensrisiko als gering eingestuft werden, da die Anzahl der im Brandfall betroffenen Personen gering ist. Außerdem besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Brände frühzeitig entdeckt werden. Zudem sind in der Regel die Ausmaße des Gebäudes gering, sodass Fluchtwege kurz und übersichtlich sind. Hinzu kommt, dass eine Nachbargefährdung durch die nach Bauordnung notwendigen Gebäudeabstände ausgeschlossen werden kann.