

hhpberlin
Blaue Hefte

Vorbeugender Brandschutz in Hochregallagern in besonderer Betrachtung der Sicherheit des dort tätigen Personenkreises

Jannes Meier-Spiering



Ingenieure für Brandschutz

Bachelorarbeit von Jannes Meier-Spierung

Brandschutz Hochregallager

Vorbeugender Brandschutz in Hochregallagern
in besonderer Betrachtung der Sicherheit
des dort tätigen Personenkreises

Brandschutz Hochregallager


Vorbeugender Brandschutz in Hochregallagern in besonderer Betrachtung der Sicherheit des dort tätigen Personenkreises

Datum: 04.01.2013

Typ: Abschlussarbeit zum Erwerb des Grades „Bachelor of Engineering“

Fakultät, Fach: Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Rescue Engineering

Autor: Jannes Meier-Spierung

Matrikelnummer: 

betreuender Prüfer: Prof. Dr. Bernd Kellner

zweiter Prüfer: M. Eng. Mathias Herenz

Urheberbestätigung:

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit zum Thema „Vorbeugender Brandschutz in Hochregallagern in besonderer Betrachtung der Sicherheit des dort tätigen Personenkreises“ selbstständig verfasst, Grafiken und Fotos, sofern nicht anders gekennzeichnet, selbst erstellt und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall durch Angabe der Quelle, auch der verwendeten Sekundärliteratur, als Entlehnung kenntlich gemacht. Die vorliegende Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde auch noch nicht veröffentlicht. Sie besitzt einen Sperrvermerk.

Klein Nordende, den 04.01.2013

Jannes Meier-Spierung

Dieses Schriftstück umfasst 110 Seiten und eine Anlage. Es darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung – auch auszugsweise – bedarf in jedem Einzelfall der schriftlichen Genehmigung.

WORTE VORWEG

Unterstützt durch



**Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg**
Hamburg University of Applied Sciences

Danksagung

Ich danke allen, die mich bei der Ausarbeitung dieser Bachelorarbeit mit Rat und Tat unterstützt haben. Ein besonderer und herzlicher Dank gilt den Herren Prof. Dr. Bernd Kellner seitens der HAW Hamburg und M. Eng. Mathias Herenz von hhpberlin, die mich bei der Ausarbeitung betreut und so zum Gelingen beigetragen haben. Auch der hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH sei gedankt für die Unterstützung, die Zusammenarbeit und den Zugriff auf die firmeneigene Infrastruktur.

Anmerkung

Anmerkend sei gesagt, dass für die erleichterte Lesbarkeit dieser Arbeit, entgegen der DIN 5008, die Ziffern der Quellenangaben in eckige Klammern gefasst sind (Beispiel: [19]), sie finden sich im Literaturverzeichnis wieder. Bei Angaben in schrägen Strichen handelt es sich um Abkürzungen, die unter Absatz 7 aufgeführt und erklärt sind (Beispiel: /MIndBauRL/). Fußnoten erhalten hochgestellte Ziffern, Abweichend von DIN 5008 werden sie durch ein halbes Leerzeichen abgetrennt (Beispiel: ⁷). Personenbezeichnungen im laufenden Text werden in aller Regel verallgemeinernd in männlicher Form genannt; gemeint sind jedoch grundsätzlich männliche und weibliche Form. Die DIN-Normen um DIN 1422 aus den 1980er Jahren finden nur sehr begrenzt Anwendung. Die wissenschaftliche Form wird dennoch gewahrt. Die DIN 5008 wird bis auf die benannten Abweichungen angewendet.

Sperrvermerk

Die vorliegende Arbeit beinhaltet interne vertrauliche Informationen der hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH. Die Weitergabe des Inhaltes der Arbeit im Gesamten oder in Teilen sowie das Anfertigen von Kopien oder Abschriften – auch in digitaler Form – sind grundsätzlich untersagt. Ausnahmen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH.

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS.....	VII
Abbildungen	VII
Tabellen	IX
ABKÜRZUNGEN.....	X
Liste der Formelzeichen und Symbole	X
Liste der verwendeten Abkürzungen	XIII
1 ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1 Abstract	1
1.2 Kurzzusammenfassung	1
2 EINLEITUNG, ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG	2
3 GEFAHR DURCH UND SCHUTZ VOR FEUER.....	3
3.1 Verbrennungsprozess	3
3.2 Brandgefahr	5
3.3 Brandschutz	20
3.4 Schutzziel	26
4 HOCHREGALLAGER – DEFINITIONEN UND GRUNDLAGEN DER BRANDSCHUTZ- ANFORDERUNGEN, BEISPIELE FÜR BRÄNDE, RISIKOANALYSE	28
4.1 Grundlagen.....	28
4.1.1 Allgemein	28
4.1.2 Situation in Deutschland	30
4.1.3 Österreich	32
4.1.4 Schweiz.....	33
4.2 Ausgewählte Beispiele für Brände in Hochregallagern.....	35
4.2.1 „50 Menschen wegen brennender Gummistiefel in Krankenhaus“	35

4.2.2	Feuer in Hochregallagern nach Schweißarbeiten	36
4.2.3	Brand im Hochregallager der Neusiedler AG	36
4.2.4	THW-Helfer stirbt beim Einsturz eines Hochregallagers	37
4.2.5	Brand in Hochregallager in Berlin kostet zwei Feuerwehrangehörige das Leben	37
4.3	Risikoanalyse.....	38
5	EMPFEHLUNG FÜR MASSNAHMEN UND EINRICHTUNGEN.....	45
5.1	Allgemein.....	45
5.2	Bauliche Anforderungen	46
5.2.1	Brandabschnitte und Brandwände.....	46
5.2.2	Brandbekämpfungsabschnitte und Trennwände	52
5.2.3	Rauchabschnitte und Rauchableitung	54
5.2.4	Tragende und aussteifende Bauteile	60
5.2.5	Decken	61
5.2.6	Außenwände	61
5.2.7	Dachtragwerk und Bedachung	62
5.2.8	Feuerschutzabschlüsse	63
5.3	Branddetektierung	64
5.4	Rettungskonzept.....	65
5.4.1	Horizontale Rettungswege.....	65
5.4.2	Vertikale Rettungswege	68
5.4.3	Rettungswege im Freien	70
5.4.4	Fremdrettung	70
5.4.5	Kennzeichnung der Rettungswege	71
5.4.6	Internalarmierung	71
5.5	Einrichtungen und Anlagen der Brandbekämpfung	72
5.5.1	Sprinkleranlage	72

5.5.2	Wandhydranten und Feuerlöscher.....	76
5.5.3	Wasserversorgung	78
5.5.4	Feuerwehrflächen.....	79
5.5.5	Löschwasserrückhaltung.....	80
5.6	Organisatorischer Brandschutz.....	80
6	SCHLUSSBETRACHTUNG.....	82
	LITERATURVERZEICHNIS	83

Anlage 1 CD-ROM mit digitaler Version dieser Ausarbeitung

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildungen

Abb. 1:	Zündtetraeder frei nach Emmonns ¹ [4] (rechts) und Feuertreieck (links) [5]	3
Abb. 2:	Zündbereich von Propan mit oberer und unterer Explosionsgrenze nach [8]	5
Abb. 3:	Anzahl der Toten mit der Todesursache „Exposition gegenüber Feuer, Flammen und Rauch“ (Gesamtdeutschland) nach destatis [12]	7
Abb. 4:	CO-Gehalt im Brandraum und CO-Summenkurve in Abhängigkeit der Branddauer nach O.R.B.I.T.-Studie [18]	9
Abb. 5:	CO-Gehalt im Vergleich: O.R.B.I.T.-Studie [18] (ausgelesene Werte in neuer Darstellung, links) und FED-Methode nach vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden (rechts) laut /IMK/-Arbeitskreis [15]	11
Abb. 6:	Todesursache nach „The Real Fire Library“ [20]	12
Abb. 7:	Rauchfreisetzung (ca.) in Abhängigkeit je 10 kg des brennenden Materials in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ nach Rasbash [21]	13
Abb. 8:	Einheitstemperaturkurve oder auch Einheitstemperaturzeitkurvenach /DIN 4102-1/ [28]	15
Abb. 9:	Idealisiertes Temperatur-Zeit-Diagramm eines natürlichen Brandverlaufs in Anlehnung an Karlsson und Quintiere [29]	16
Abb. 10:	schematisches Wärmefreisetzungs-Zeit-Diagramm in Anlehnung an Karlsson und Quintiere [29] sowie nach „National Fire Safety Concept No.7“ [30]	17
Abb. 11:	Sachschadensumme in Mio. Euro (grau) und die Anzahl der Todesopfer (rot) Aufgeteilt nach Gebäudenutzung nach Kordina [31]	18
Abb. 12:	Durchschnittliche Sachschadensumme im Vergleich zur Anzahl der Schadenfälle (links, bis 1990 in 5-Jahres-Schritten, ab 1991 Jährlich) und Gesamtschadenaufwand (rechts, Intervall wie zuvor) der Feuerversicherungen für die Industrie aus den Jahrbüchern des /GDV/ [33], [34], [35], [36]	19

Abb. 13:	Schäden durch Feuer, aufgeteilt nach Versicherung (*: Schätzwerte für die Feuerversicherungen), Jahrbücher /GDV/ [33], [34], [35], [36], [38]	20
Abb. 14:	Organisation des Brandschutzes in Deutschland	21
Abb. 15:	Beispielhafte Benennung einer feuerhemmenden Tür nach /DIN 4102-5/ mit zusätzlicher Rauchschutzfunktion nach /DIN 18095-1/	23
Abb. 16:	Beispielhafte Benennung einer feuerhemmenden, selbstschließenden Tür mit Rauchdichtigkeit nach /DIN EN 13501-2/	24
Abb. 17:	Benennung von Steher (Pfosten) und Riegel und der lichten Regalfachgröße	29
Abb. 18:	Übliche max. Arbeitshöhen für vollautomatische Systeme, Man-Up-Systeme mit oberer Führungsschiene, Man-Up-Systeme ohne obere Führungsschiene und Man-Down-Systeme (v.l.n.r.)	30
Abb. 19:	Risikomatrix in Anlehnung an [81]	39
Abb. 20:	Schematische Darstellung der zu erwartenden Kosten	41
Abb. 21:	Brandausbreitung im Regallager in alle Richtungen	43
Abb. 22:	Brandwände im Bereich des Daches mit beidseits auskragendem Streifen (links) oder über Dach geführter Brandwand (rechts)	49
Abb. 23:	Abschlüsse von Öffnungen in Brandwänden, links: mit Schleuse, rechts herkömmlich [88]	50
Abb. 24:	Schematische Darstellung der Rauchableitung über natürliche Rauchabzüge	55
Abb. 25:	Rauchschürze A zur Rauchabschnittstrennung und Rauchschürze B mit tolerierter Unterströmung der Rauchgase	58
Abb. 26:	Mögliche Bodenkennzeichnung für die Öffnungsbereiche von Feuerschutzabschlüssen [88]	64
Abb. 27:	Mögliche Rettungsweglängen für A: Technikräume und Bereiche mit nur einer Fluchtrichtung, B: Räume und Bereiche mit zwei Fluchtrichtungen	67
Abb. 28:	Türen öffnen in Fluchtrichtung, sofern sie nicht in zwei Richtungen zur Flucht genutzt werden [88]	68

Abb. 29:	Außenliegender Treppenraum mit Wänden der Bauart Brandwand und feuerhemmenden Türen, die rauchdicht und selbstschließend sind [88]	69
Abb. 30:	Sprinklerkopf mit Abschirmhaube aus Aluminiumblech.....	73
Abb. 31:	Idealisiertes Wärmefreisetzungs-Zeit-Diagramm bei wirksamer Sprinkleranlage in Anlehnung an [19], [29], [30]	74

Tabellen

Tabelle 1:	Zündquellenarten und Beispiele nach /DIN EN 1127-1/ [8]	4
Tabelle 2:	Feuerwiderstandsfähigkeit mit unterschiedlichen Bezeichnungen am Beispiel tragender und raumabschließender Wände, sowie der zugehörigen Feuerwiderstandsdauer in Minuten [2], [3], [42], [43].	22
Tabelle 3:	Baustoffklassen nach /DIN 4101-1/ und /DIN EN 13501-1/ [28],[46]	25

ABKÜRZUNGEN

Liste der Formelzeichen und Symbole

Zeichen/Symbol	Bezeichnung	Erklärung	/SI/-Einheit
α	Wärmeausdehnungs- koeffizient	Veränderung der Abmes- sungen in Abhängigkeit der Temperatur des Stoffes oder Bauteils	$1 \cdot K^{-1}$
Δ	Delta	Wert einer Differenz zwi- schen zwei absoluten Wer- ten (nur in Verbindung mit Formelzeichen)	-
$^{\circ}$	Winkel	Formelzeichen für Winkel, 1° sind $1 / 360$ eines Vollkreises	-
$^{\circ}C$	Grad Celsius	Temperatur	$T^{\circ}C =$ $T + 237,15 K$
μm	Mikrometer	Abstand, Entfernung	$1 \mu m = 1 \cdot 10^{-6} m$
% COHb	Kohlenstoffmonoxid im Blut	Gibt das Verhältnis der Erythrozyten an, in denen Kohlenstoffmonoxidmoleküle an das Hämoglobin gebun- den sind, im Verhältnis zur Gesamtmenge der Erythro- zyten.	-
%	Prozent	Verhältniszahl zur Basis 100	$100 \% = 1$
bar	Druck	Einheit für Überdruck	$1 bar = 1 \cdot 10^{-5}$ $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
C	Konzentration	Formelzeichen für Konzent- ration	-
DM	Deutsche Mark	Währung, Geldeinheit, 1 DM entspricht ca. 0,51129 Euro.	-
Gew.-%	Gewichts-Prozent	Verhältniszahl zur Basis 100 einer Masse	$100 \% = 1$
GHz	Gigahertz	Frequenz in 1 000 000 pro Sekunde	$1 \cdot 10^9 \cdot s^{-1}$

Zeichen/Symbol	Bezeichnung	Erklärung	/SI/-Einheit
h	Stunde	Dauer, eine Stunde entspricht 60 Minuten	$1 \text{ h} = 3\,600 \cdot \text{s}$
Hz	Hertz	Frequenz in 1 pro Sekunde	$1 \cdot \text{s}^{-1}$
J	Joule	Einheit der Größen Energie, Arbeit und Wärmemenge	$1 \text{ J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
K	Kelvin	thermodynamische Temperatur, /SI/-Basiseinheit	K
kg	Kilogramm	Masse, /SI/-Basiseinheit	kg
kHz	Kilohertz	Frequenz in 1 000 pro Sekunde	$1\,000 \cdot \text{s}^{-1}$
kW	Kilowatt	Leistung, hier Wärmeleistung	$1 \text{ kW} = 1\,000 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
l	Liter	Volumengröße Liter	$1 \text{ l} = 0,001 \text{ m}^3$
m	Meter	Strecke, Abstand oder Entfernung, /SI/-Basiseinheit	m
M	Masse	Formelzeichen Masse	kg
m ²	Quadratmeter	Fläche oder Flächeninhalt	$1 \text{ m}^2 = 1 \text{ m} \cdot \text{m}$
m ³	Kubikmeter	Volumen oder Rauminhalt	$1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$
min	Minute	Dauer, eine Minute entspricht 60 Sekunden	$1 \text{ min} = 60 \cdot \text{s}$
Mio.	Millionen	Menge	$1 \text{ Mio.} = 1\,000\,000$
mm	Millimeter	Strecke, Abstand oder Entfernung	$1 \text{ m} = 1 / 100 \cdot \text{m}$
Mrd.	Milliarden	Menge	$1 \text{ Mrd.} = 1\,000\,000\,000$
N m	Newtonmeter	Vektorielle Einheit der Größe Energie	$1 \text{ N m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

Zeichen/Symbol	Bezeichnung	Erklärung	/SI/-Einheit
RMV_A	Atemminutenvolumen	Auch Atemzeitvolumen oder respiratory minute volume. Gibt die Menge der eingeatmeten Luft bei der Arbeit pro Minute in Litern an.	$1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} = 0,001 \text{ m}^3 \cdot 60 \text{ s}^{-1}$
RMV_R	Atemminutenvolumen	Wie RMV_A , jedoch für den Zustand der Ruhe	$1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} = 0,001 \text{ m}^3 \cdot 60 \text{ s}^{-1}$
s	Sekunde	Dauer, /SI/-Basiseinheit	s
T	Temperatur	Formelzeichen für Temperatur	K
t	Dauer, Zeit	Formelzeichen für Dauer oder Zeit	s
t	Tonne	Masseneinheit, entspricht 1 000 kg	$1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg}$
V	Volumen	Formelzeichen für Volumen	m^3
v	Geschwindigkeit	Formelzeichen der Geschwindigkeit	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Vol.-%	Volumen-Prozent	Verhältniszahl zur Basis 100 eines Volumens	$100 \% = 1$
Vol.-‰	Volumen-Promille	Verhältniszahl zur Basis 1 000 eines Volumens	$1\,000 \text{ ‰} = 1$
$v_{\text{vert.}}$	Geschwindigkeit	Vertikale Geschwindigkeit, Geschwindigkeit entlang der Hochachse	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Liste der verwendeten Abkürzungen

Kurzform	Art	Titel	Stand
/1681-00.d/	Sicherheitsblatt des schweizer Sicherheitsinstituts	Brandschutz in Hochregallagern	2001
/AGBF/	Arbeitskreis	Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland	-
/ARGEBAU/	Arbeitskreis	Ständige Konferenz der Bau-minister und -senatoren der Länder	-
/BGR 133/	Richtlinie des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.	Ausrüstung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern	Oktober 2004
/BGR 216/	Richtlinie des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.	Optische Sicherheitsleitsysteme (einschließlich Sicherheitsbeleuchtung)	Juli 2001
/DIN 14094/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Feuerwehrwesen – Notleiteranlagen	Mai 2007
/DIN 14675/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Brandmeldeanlagen – Aufbau und Betrieb	April 2012
/DIN 18234-1/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer – Brandbeanspruchung von unten – Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; geschlossene Dachflächen	September 2009
/DIN 18234-3/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer – Brandbeanspruchung von unten – Teil 3: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Durchdringungen, Anschlüsse und Abschlüsse von Dachfläche	September 2003

Kurzform	Art	Titel	Stand
/DIN 18234-4/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer – Brandbeanspruchung von unten – Teil 4: Verzeichnis von Durchdringungen, Anschlüssen und Abschlüssen von Dachflächen, welche die Anforderungen nach /DIN 18234-3/ erfüllen	September 2003
/DIN 31000/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse	Mai 2011
/DIN 4066/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Hinweisschilder für die Feuerwehr	Juli 1997
/DIN 4102-1/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	Mai 1998
/DIN 4102-2/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	Juli 1997
/DIN 4102-5/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 5: Feuerschutzabschlüsse, Abschlüsse in Fahrschachtwänden und gegen Feuer widerstandsfähige Verglasungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	September 1977
/DIN 4102-7/	Normblatt des Deutschen Institut für Normung	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 7: Bedachungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	Juli 1997

Kurzform	Art	Titel	Stand
/DIN 4844-1/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Teil 1: Erkennungsweiten und farb- und photometrische Anforderungen	Juni 2012
/DIN EN 10025-2: 2005-04/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle	April 2005
/DIN EN 1127-1/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik	Oktober 2011
/DIN EN 12845/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Automatische Sprinkleranlagen – Planung, Installation und Instandhaltung	Juli 2007
/DIN EN 60849/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Elektroakustische Notfallwarnsysteme (IEC 60849:1998); Deutsche Fassung EN 60849:1998	Mai 1995
/DIN EN 54/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Brandmeldeanlagen (Mehrere Teile)	unterschiedlich
/DIN VDE 0833-1/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung und des Verbands der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.	Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall – Teil 1: Allgemeine Festlegungen	September 2009
/DIN VDE 0833-2/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung und des Verbands der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.	Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall – Teil 2: Festlegungen für Brandmeldeanlagen	Juni 2009

Kurzform	Art	Titel	Stand
/DIN VDE 0833-2/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung und des Verbands der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.	Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall – Teil 2: Festlegungen für Brandmeldeanlagen	Juni 2009
/DIN 14096/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Brandschutzordnung – Teile 1 bis 3	Januar 2000
/DIN 14461-1/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Feuerlöscher-Schlauchanschlüsseinrichtungen – Teil 1: Wandhydrant mit formstabilem Schlauch	Juli 2003
/DIN 14811/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Feuerlöschschläuche – Druckschläuche und Einbände für Pumpen und Feuerwehrfahrzeuge	März 2012
/DIN 18095-1/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Türen; Rauchschutztüren; Begriffe und Anforderungen	November 1988
/DIN 18230-1/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer	September 2010
/DIN 18232-2/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Rauch- und Wärmefreihaltung – Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderungen und Einbau	November 2011
/DIN 18232-5/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Rauch- und Wärmefreihaltung – Teil 5: Maschinelle Rauchabzugsanlagen (MRA); Anforderungen, Bemessung	November 2012
/DIN 4102-3/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 3: Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	September 1977

Kurzform	Art	Titel	Stand
/DIN 4102-5/	Normblatt des Deutschen Instituts für Normung	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 5: Feuerschutzabschlüsse, Abschlüsse in Fahrschachtwänden und gegen Feuer widerstandsfähige Verglasungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	September 1977
/DIN EN 13501-1/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten	Januar 2010
/DIN EN 13501-2/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen	Februar 2010
/DIN EN 15182-2/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Strahlrohre für die Brandbekämpfung – Teil 2: Hohlstrahlrohre PN 16; Deutsche Fassung EN 15182-2:2007+A1:2009	April 2010
/DIN EN 1991-1-2/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009	Dezember 2010
/DIN EN 671-2/	Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung	Ortsfeste Löschanlagen – Wandhydranten – Teil 2: Wandhydranten mit Flachschlauch; Deutsche Fassung EN 671-2:2012	Juli 2012

Kurzform	Art	Titel	Stand
/DVGW-Arbeitsblatt 405/	Technische Regel	Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches	Februar 2005
/FEM 9.831/	Norm der Europäischen Vereinigung der Förder- und Lagertechnik	Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte, Toleranzen, Verformungen und Freimaße im Hochregallager	Februar 1995
/FEM 9.832/	Norm der Europäischen Vereinigung der Förder- und Lagertechnik	Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte, Toleranzen, Verformungen und Freimaße im automatischen Kleinteilelager (keine Silobauweise)	August 2001
/FVLR/	Eingetragener Verein	Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V.	-
/GDV/	Eingetragener Verein	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.	-
/IMK/	Arbeitskreis	Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder	-
/LöRüRL/	Richtlinie der Bauministerkonferenz	Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteinrichtungen beim Lagern wassergefährdender Stoffe.	August 1992
/MBO/	Muster-Richtlinie der Bauministerkonferenz	Musterbauordnung	November 2008
/MIndBauRL/	Muster-Richtlinie der Fachkommission Bauaufsicht, der /ARGEBAU/	Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau	März 2000
/OIB-RL 2.1/	Richtlinie des Österreichischen Instituts für Bautechnik	Brandschutz bei Betriebsbauten	April 2007

Kurzform	Art	Titel	Stand
/OIB-RL 2/	Richtlinie des Österreichischen Instituts für Bau-technik	Brandschutz	April 2007
/RL Feuerwehrflächen/	Richtlinie der Bauministerkonferenz	Richtlinie über Flächen für die Feuerwehr	Februar 2007
/TRVB N 142/	Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz des Österreichischen Feuerwehrverbandes	Brandschutz in Lagern	März 2001
/TRVB 125 S/	Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz des Österreichischen Feuerwehrverbandes	Rauch- und Wärmeabzugsanlagen	Mai 2010
/TRVB F 124/	Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz des Österreichischen Feuerwehrverbandes	Erste und Erweiterte Löschhilfe	unbekannt
/TRVB F 137/	Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz des Österreichischen Feuerwehrverbandes	Löschwasserbedarf	2005
/VDI 3564:2011-01/	Empfehlung des Vereins Deutscher Ingenieure	Empfehlungen für Brandschutz in Hochregalanlagen	Januar 2011
/VdS 2234/	Merkblatt der VdS Schadenverhütung GmbH	Brand- und Komplex-trennwände - Merkblatt für die Anordnung und Ausführung	Januar 2008
/VdS 2815/	Merkblatt der VdS Schadenverhütung GmbH	Zusammenwirken von Wasserlöschanlagen und Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA)	März 2001
/VdS CEA 4001/	Richtlinie der VdS Schadenverhütung GmbH und der European insurance and reinsurance federation (CEA)	VdS CEA-Richtlinien für Sprinkleranlagen - Planung und Einbau	November 2010

Kurzform	Art	Titel	Stand
/VKF Brandabschnittsgrößen/	Brandschutzrichtlinie der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen	Bewertung Brandabschnittsgrößen	Dezember 2007
/VKF Brandschutznorm/	Brandschutznorm der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen	Brandschutznorm	März 2003
/VKF Sprinkleranlagen/	Brandschutzrichtlinie der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen	Sprinkleranlagen	März 2003
/VKF RWA/	Brandschutzrichtlinie der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen	Rauch- und Wärmeabzugsanlagen	April 2003

1 ZUSAMMENFASSUNG

1.1 Abstract

The aim of this bachelor thesis is to define fire-safety standards which grant safe handling for high bay warehouses, which permanently need the presence of employees for operation. This dissertation is to provide a safety objective fire-safety-concept which takes into consideration the special dangers of high bay warehouses and to make possible an appropriate level of protection. It outlines the dangers of fires, their effect on human organism and the risk of hazardous industrial fires. To deal with the particular situation of high bay warehouses, German law concerning fire-safety and fire-safety-concepts known from architecture and building industry is explained and compared with those of German speaking neighbour-countries Austria and Switzerland.

1.2 Kurzzusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, Brandschutzstandards zu definieren, die einen sicheren Betrieb von Hochregallagern, die die ständige Anwesenheit von Personal erfordern, gewähren. Die Arbeit soll es ermöglichen, ein schutzzielorientiertes Brandschutzkonzept zu erstellen, das die besonderen Gefahren in solchen Hochregallagern berücksichtigt und ein angemessenes Schutzniveau ermöglicht. Hierfür werden die Grundlagen der Verbrennung, die Gefahren durch Feuer und Rauch, ihre Einflüsse auf den Menschen und das Risiko verheerender Industriebrände herausgestellt. Zudem werden die in Deutschland gültige Rechtsauffassung in Form von Verordnungen sowie die im Bauwesen bekannten brandschutztechnischen Maßnahmen erläutert und mit den Regeln der deutschsprachigen Nachbarländer Österreich und Schweiz verglichen, um auf die besondere Situation in diesen Hochregallagern eingehen zu können.

2 EINLEITUNG, ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG

Hochregallager weisen derzeit eine Sonderstellung unter den Industriebauten auf. Bisher gibt es in Deutschland kein Bundesland, das einen rechtlichen Rahmen für jene Hochregallager vorgibt, in denen während des regulären Betriebs Menschen tätig sind. Auch bei den Richtlinien der in Deutschland tätigen Arbeitskreise sieht dies nicht anders aus.

Die Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure /VDI 3564:2011-01/ „Empfehlungen für Brandschutz in Hochregallagern“ befasst sich zwar mit der Thematik Hochregallager, es heißt jedoch ausdrücklich: *„Eine Hochregalanlage im Sinne dieser Richtlinie besteht aus folgenden, baulich voneinander abgetrennten Bereichen: Hochregallagerbereich in dem der Normalbetrieb keine Anwesenheit von Personen erfordert (...)“* [1] und schließt damit den oben genannten speziellen Betrachtungsfall aus. Eine Bewertung der Hochregallagersysteme nach Muster-Industriebaurichtlinie /MIndBauRL/ ist jedoch auch nicht möglich, da sich die typischen Hochregallagersysteme schon bei oberflächlicher Betrachtung von herkömmlichen Industriebauten stark unterscheiden und der Geltungsbereich der Musterrichtlinie bei Lagguthöhen von 9,0 m endet [2]. Der § 14 der Musterbauordnung /MBO/ muss jedoch in jedem Fall Berücksichtigung finden. Dieser besagt: *„Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind“* [3]. Zurzeit sind für Hochregallagersysteme, in denen sich im Normalbetrieb Personen aufhalten, brandschutztechnische Maßnahmen in jedem Einzelfall objekt- und risikobezogen festzulegen und im Brandschutzkonzept zu beschreiben.

Inhalt der Bachelorarbeit ist die Betrachtung und Bewertung der vorhandenen Vorschriften und Empfehlungen in den deutschsprachigen europäischen Nachbarländern, bzw. der Empfehlungen einzelner Landesfeuerwehrverbände zum Umgang mit derartigen Gebäuden. Sie soll eine Gegenüberstellung der möglichen Maßnahmen enthalten, die erforderlich sind, die Schutzziele des § 14 der Musterbauordnung /MBO/ „Brandschutz“ zu erfüllen. Dabei sollen auch unterschiedliche Konstruktionsarten und die Verwendung verschiedener Baustoffe untersucht und Brandversuche, sofern Informationen vorhanden, ausgewertet werden. Das Ergebnis der Bachelorarbeit stellt eine Grundlage dar, auf der entsprechende Bauprojekte bewertet werden und Fachplanungen des vorbeugenden Brandschutzes erfolgen können. Dabei sind vollumfänglich Vorgaben zu baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen enthalten.

Belange des Versicherungsschutzes sind nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung und individuell zu bewerten.

3 GEFahr DURCH UND SCHUTZ VOR FEUER

3.1 Verbrennungsprozess

Feuer ist eine selbstständig ablaufende chemische Reaktion zwischen einem brennbaren Stoff und einem oxidierenden Mittel. Sie ist eine exotherme Reaktion, gibt also permanent Energie an ihre Umwelt ab. Zum Zustandekommen des Verbrennungsprozesses sind vier Voraussetzungen nötig, die sich nach Professor Howard Emmons als Zündtetraeder darstellen lassen¹ [4]. Es ist erforderlich, dass Brennstoff (engl.: fuel) und Oxidationsmittel (engl.: oxidizer) so vermischt, oder so vermischbar sind, dass ein Mengenverhältnis innerhalb des Zündbereichs entsteht. Zur Zündung ist dann lediglich eine Zündquelle (engl.: ignitor) erforderlich, die die erforderliche Startenergie initial in das System einbringt und somit die reagierenden Stoffe auf die erforderliche Reaktionstemperatur bringt. Zum Fortbestehen des Verbrennungsprozesses sind lediglich die drei Größen, die die Basis des Tetraeders darstellen, nötig (Feuerdreieck). Durch Entzug einer dieser „drei Säulen der Verbrennung“, also von Sauerstoff, Brennstoff oder der Temperatur, kann der Verbrennungsprozess gestoppt werden. Man spricht von Ersticken, Aushungern oder Abkühlen.

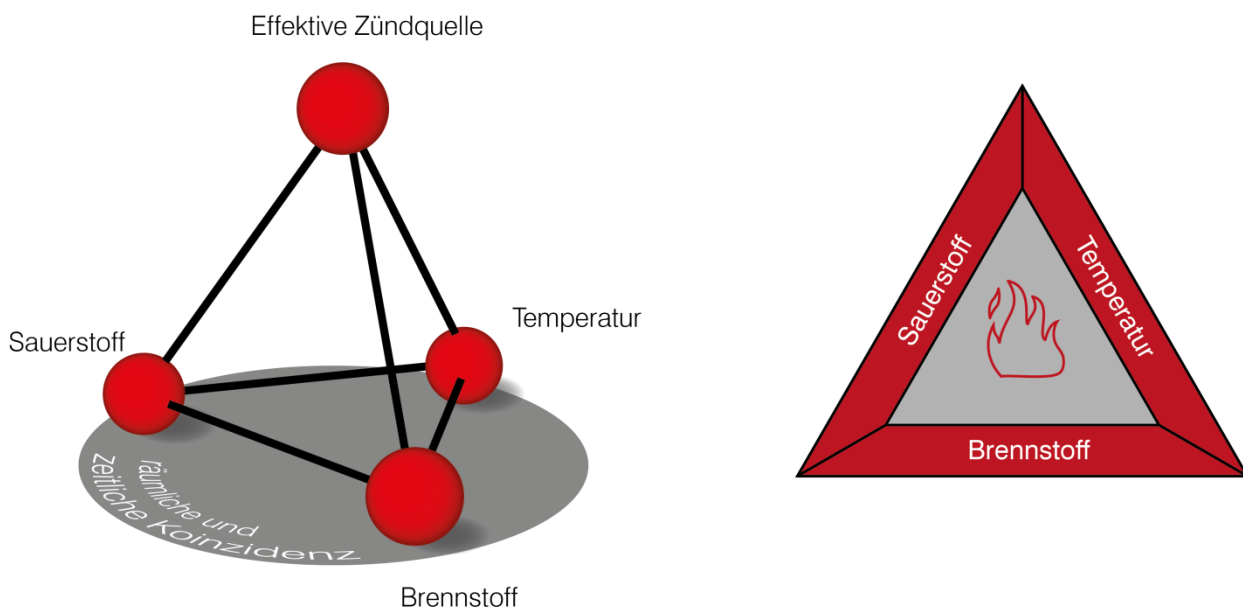


Abb. 1: Zündtetraeder frei nach Emmonns¹ [4] (rechts) und Feuerdreieck (links) [5]

¹ Die Herkunft des im deutschsprachigen Raum üblicherweise als „Emmons-Tetraeder“ bezeichneten Zündtetraeders konnte im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht zweifelsfrei belegt werden. Es liegt jedoch die Vermutung nahe, dass die Herkunft auf den US-amerik. Professor und Feuerwissenschaftler Howard Wilson Emmons, (* 1912; † 1998), der sich intensiv mit der Thematik der Brandentstehung befasst hat, zurückzuführen ist. [6]

Die für jede chemische Reaktion erforderliche Startenergie wird im Falle der Verbrennung als Zündquelle bezeichnet. Auf unterschiedlichsten Wegen führt diese zur Entzündung des brennbaren Stoffgemisches. Die /DIN EN 1127-1/ legt 13 unterschiedliche Zündquellenarten fest, die den zündfähigen Gemischen die für die Verbrennung erforderliche Startenergie bereitstellen. In folgender Tabelle eine Übersicht der 13 bekannten Zündquellenarten und Beispiele dieser:

Tabelle 1: Zündquellenarten und Beispiele nach /DIN EN 1127-1/ [8]

Nr.	Art der Zündquelle	Beispiel
1.	Heiße Oberflächen	Entzündung von Kraftstoff an heißem Katalysator.
2.	Flammen und heiße Gase	Entflammung von Bitumen-Dachbahnen durch Gasbrenner.
3.	Mechanisch erzeugte Funken	Entzünden eines brennbaren Dämmstoffs durch Gebrauch eines Trennschleifers.
4.	Elektrische Anlagen	Kurzschluss in einem Transformator.
5.	Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz	Entflammung infolge von Bauteilerwärmung durch Induktionsströme in der Nähe von elektrischen Anlagen mit großer Stromstärke.
6.	Statische Elektrizität	Funkenschlag durch Abrollen von Kunststoffbahnen
7.	Blitzschlag	Starke Erwärmung und Entzündung von Bauteilen im Bereich des Blitzschlages und des Ableitweges.
8.	Elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von 9 kHz bis 300 GHz	Entzündung brennbarer Stoffe im Bereich von Funksendern.
9.	Elektromagnetische Strahlung 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)	Entflammung von Holz durch Bündelung von Licht an einer Glaskugel.
10.	Ionisierende Strahlen	Ionisierende Strahlung einer Röntgenanlage entzündet abgelegtes Papier.
11.	Ultraschall	Absorption von Ultraschallwellen führt in einer brennbaren Flüssigkeit zunächst zur Erwärmung, dann zur Entzündung.
12.	Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase	Erhitzung und Entflammung eines zu schnell schließenden Ventils einer Druckgasanlage.
13.	Chemische Reaktionen	Leinöl getränkter Baumwollappen entzündet sich im Abfalleimer.

Ein zündfähiges Gemisch liegt dann vor, wenn ein Gas mit einem Oxidationsmittel ein reaktionsfähiges Gemisch bildet. Als Oxidationsmittel genügt in den meisten Fällen der Luftsauerstoff, der mit rund 21 Vol.-% [7] in der Atemluft vorhanden ist. Ab einer Luft-Sauerstoffkonzentration von weniger als 15 Vol.-% sind die meisten Brennstoff-Luft-Gemische nicht mehr zündfähig [9]. Bei festen und flüssi-

gen Brennstoffen muss zunächst eine Vergasung stattfinden, damit sich ein brennbares Gemisch einstellt. Bei Feststoffen spricht man hierbei von der sogenannten Pyrolyse, einem Vorgang, bei dem aufgrund von thermischer Einwirkung chemische Verbindungen aufgebrochen werden und gasförmige Stoffe entstehen. Nicht jedes beliebige Brennstoff-Luft-Gemisch ist brennbar. Nur Mischungsverhältnisse innerhalb des Zündbereiches (oder der Explosionsgrenzen) können exotherm reagieren. Dies sei am Beispiel von Propan (Summenformel: C_3H_8) veranschaulicht, das mit fünf Sauerstoffmolekülen (Summenformel: O_2) unter Abgabe von Wärme im Idealfall zu Kohlenstoffdioxid ($3 \cdot CO_2$) und Wassermolekülen ($4 \cdot H_2O$) reagiert. [8],[9]

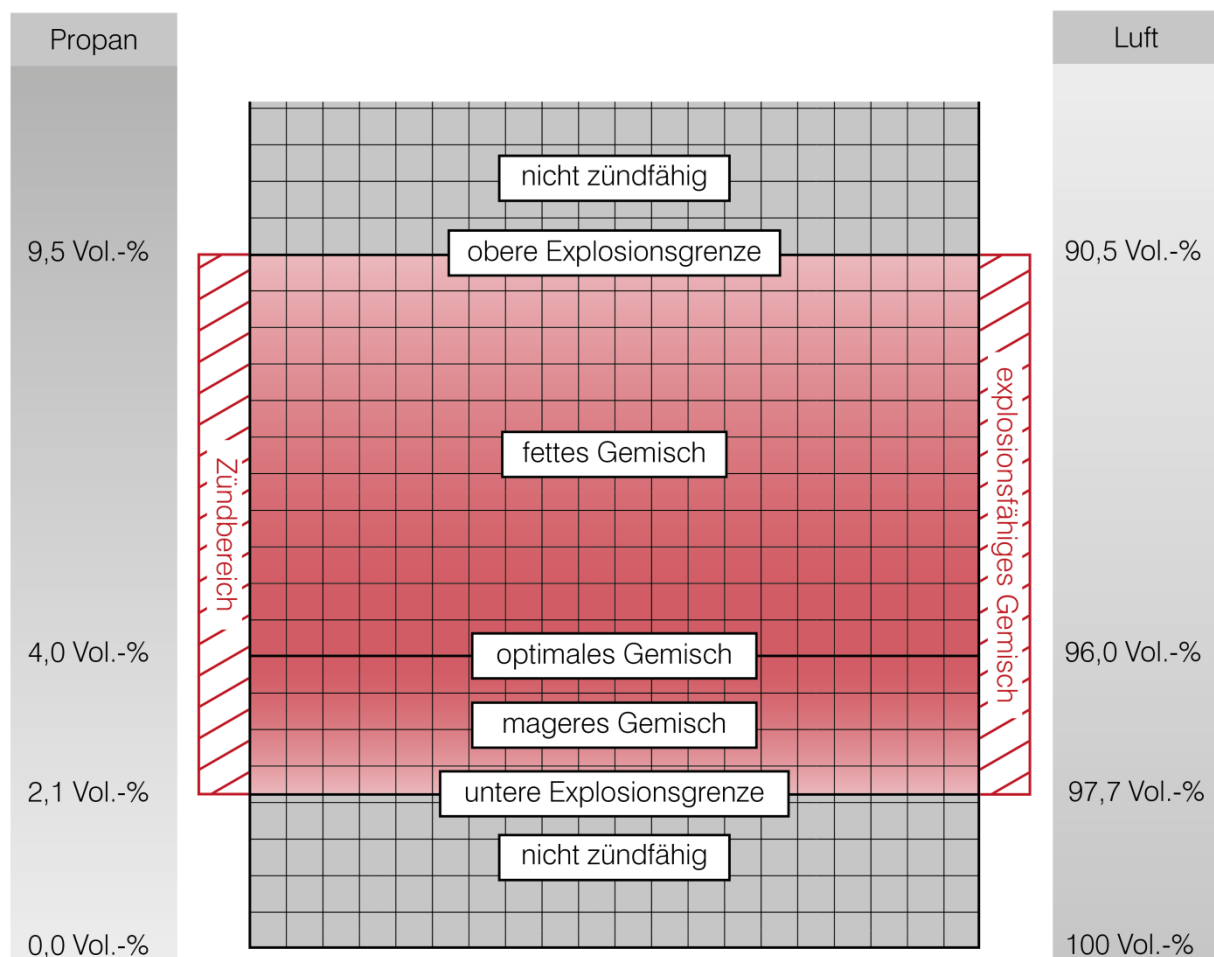


Abb. 2: Zündbereich von Propan mit oberer und unterer Explosionsgrenze nach [8]

3.2 Brandgefahr

In einem Grundsatzurteil des Oberverwaltungsgerichts Münster heißt es:

„Es entspricht der Lebenserfahrung, dass mit der Entstehung eines Brandes praktisch jederzeit gerechnet werden muss. Der Umstand, dass in vielen Gebäuden jahrzehntelang kein Brand ausbricht, beweist nicht, dass keine Gefahr besteht, sondern stellt für die Betroffenen einen Glücksfall dar, mit dessen Ende jederzeit gerechnet werden muss!“. [10]

So heißt es auch im Urteil des Verwaltungsgerichts Braunschweig aus dem Jahre 2000:

„...denn es liegt in der Natur eines Schadenfeuers, dass es regelmäßig die Gefahr birgt, sich auszuweiten und dadurch zu einer unkontrollierten Gefahr für die Allgemeinheit zu werden“. [11]

Die Auswirkungen von Feuer sind mannigfaltig, in der Regel gehen mit der Entflammung eines Stoffes, ob fest, flüssig oder gasförmig, Erscheinungen wie Reaktionswärme, Rauchproduktion, Lichterscheinungen und die Bildung von Brandrückständen einher. Sie haben unterschiedlichsten Einfluss auf die in Ihrer Umgebung befindlichen Objekte. Es entstehen beim Abbrand in der Regel toxische Rauchgase, die oftmals korrosiv wirken und somit nicht nur eine Gefahr für Gesundheit und Leben darstellen, sondern auch die Bausubstanz dauerhaft schädigen. Mit dem entstehenden Rauch kommt es zudem zu einer Sichtbehinderung, die die Flucht der anwesenden Personen behindern kann.

Tote pro Jahr

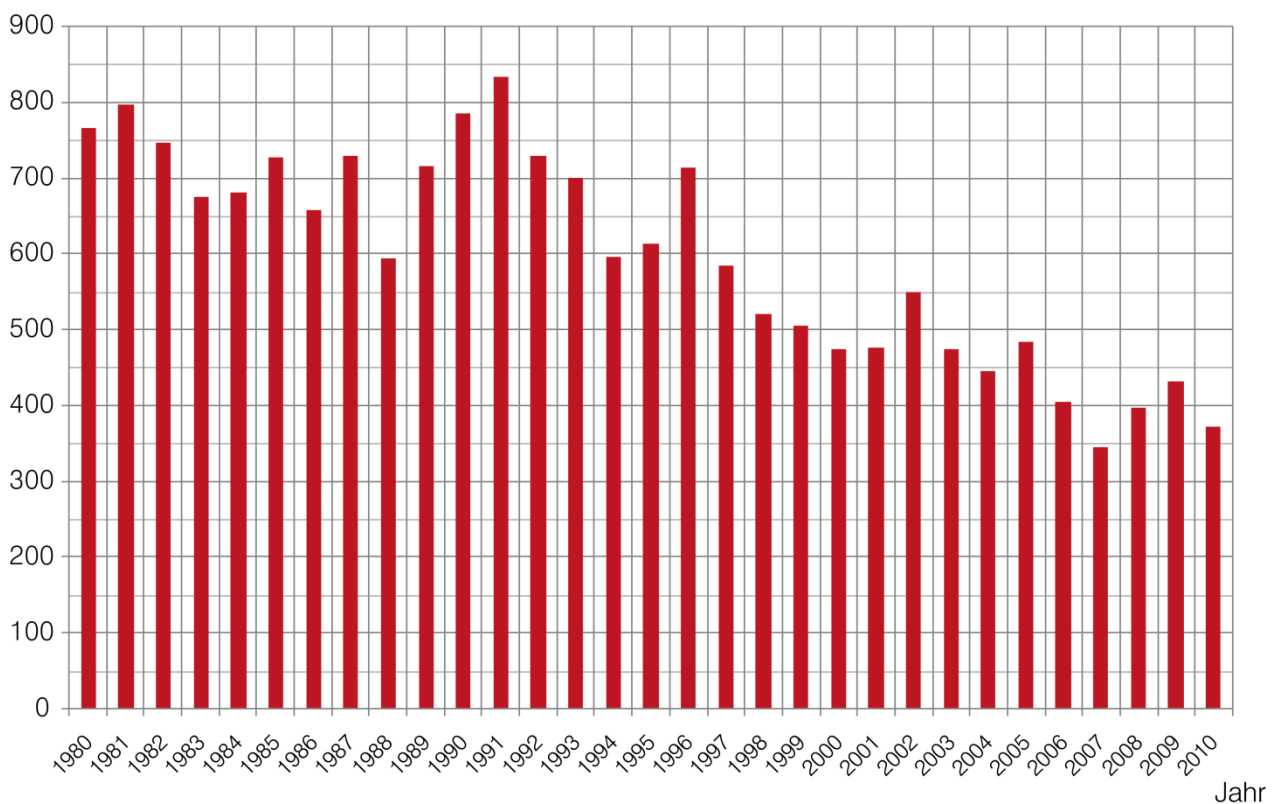


Abb. 3: Anzahl der Toten mit der Todesursache „Exposition gegenüber Feuer, Flammen und Rauch“ (Gesamtdeutschland) nach destatis [12]

Als Hauptursache für diese Verletzungen mit Todesfolge gilt der toxische Brandrauch. Brandrauch ist Im Jahr 2010 gab es in Deutschland laut Statistischem Bundesamt 373 Todesfälle in Folge von Exposition gegenüber Feuer, Flammen und Rauch, was den zweitniedrigsten Stand seit Beginn der Erfassung im Jahr 1980 darstellt (2007: 346 Tote) [12]. Insgesamt lässt sich eine abnehmende Tendenz beobachten. Höhere bauliche Brandschutzanforderungen, der vorschriftsmäßige, flächendeckende Einsatz von Rauchwarnmeldern in Wohnungen in den meisten deutschen Bundesländern und nicht zuletzt der gestiegene Realeinsatzwert der Feuerwehren durch immer neuere Technologien sind hierfür als wesentliche Gründe anzusehen.

ein Aerosol aus unterschiedlichen Gasen, sowie verschiedenen flüssigen und festen Schwebeteilchen. Die genaue Zusammensetzung dieses Aerosols hängt von unterschiedlichsten Parametern ab. Hauptsächlich sind dies die Art des verbrannten Materials, die Verbrennungstemperatur und die Sauerstoffversorgung.

Häufige giftige Bestandteile des Brandrauchs sind:

- Kohlenstoffdioxid (CO_2),
- Kohlenstoffmonoxid (CO),
- Salzsäure (HCl),
- Blausäure (HCN),
- Schwefeldioxid (SO_2),
- Phosgen (CCl_2O),
- unterschiedliche Aromate und
- dioxinhaltiger Ruß.

Rauch- oder Brandgase verdrängen die Atemluft und wirken auf unterschiedlichste Weise auf den menschlichen Organismus ein. Die Handlungsunfähigkeit der flüchtenden Personen wird unmittelbar durch die erstickende oder narkotisierende Wirkung der Brandgase herbeigeführt. Kohlenstoffdioxid wirkt sowohl als Stickgas durch die Verdrängung von Sauerstoff, als auch als Atemgift, in Folge seiner Wirkung auf das menschliche Atemzentrum. Phosgen und Salzsäure verätzen die Atemwege schwerwiegend. Kohlenstoffmonoxid bindet sich aufgrund der gegenüber Sauerstoff um Faktor 300 vergrößerten Bindungsaffinität an das Hämoglobin der roten Blutkörperchen und verhindert so den Sauerstofftransport des Blutes. Dabei genügen schon 0,07 Vol.-% CO in der Atemluft für einen Abfall der Blut-Sauerstoffsättigung um 50 %. Auch die Toxizität der Blausäure ist in der großen Bindungsaffinität begründet. Die Summe der Einflüsse aller oben genannten Bestandteile des Brandrauchs bewirkt eine Unterversorgung des menschlichen Organismus, insbesondere des Gehirns, mit Sauerstoff. Man spricht von einer Hypoxie. Neben den Personen, die sich bei Brandausbruch in Gebäude befinden, besteht auch für die Einsatzkräfte der Feuerwehr, die – berufsbedingt oder freiwillig – wiederkehrend gegenüber Brandgasen exponiert sind, große Gefahr für Gesundheit und Leben. [13], [14], [15]

Seit Mitte der 1980er Jahre ist belegt, dass in 98 % der Todesfälle in Folge einer Rauchgasintoxikation Kohlenstoffmonoxid als ursächlich für den tödlichen Verlauf der Vergiftung anzusehen ist [14], [16]. Für die Berechnung der verbleibenden Zeit von Brandausbruch bis zum Erreichen einer gefährlichen CO -Konzentration gibt es unterschiedliche Modelle. Nach der O.R.B.I.T-Studie von 1978 wird die Erträglichkeitsgrenze nach ca. 13 Minuten, die Reanimationsgrenze nach 17 Minuten erreicht [13], [17], [18]. Sind die Zahlenwerte der O.R.B.I.T-Studie zwar inzwischen überholt (s.u.), so sind die Folgen von Brandrauch doch die gleichen: Mit Erreichen der Erträglichkeitsgrenze muss mit dem Eintreten der Bewusstlosigkeit gerechnet werden, was sowohl die Selbstrettung als auch das Bemerkbarmachen der betreffenden Person verhindert. Das Schicksal der bewusstlosen Person liegt nun in den

Händen der Feuerwehr. Entscheidend für deren Eintreffen nach Brandausbruch ist auch die Dauer bis zum Entdecken des Brandes. Nach Alarmierung der Feuerwehr kann nach frühestens fünf Minuten mit dem Eintreffen des ersten Fahrzeugs gerechnet werden. Die meisten Bundesländer legen fest, dass innerhalb von acht bis zwölf Minuten nach Entgegennehmen des Notrufs das erste Löschfahrzeug am Einsatzort eintreffen soll. Diese Zeit wird als Hilfsfrist bezeichnet. Berücksichtigt man, dass für die Dauer bis zum Entdecken des Brandes, der Alarmierung der Feuerwehr und der Zeit bis zum Auffinden der bewusstlosen Person noch weitere Minuten verstreichen, zeichnet sich eine ungünstige Prognose für die Opfer einer Rauchgasvergiftung ab.

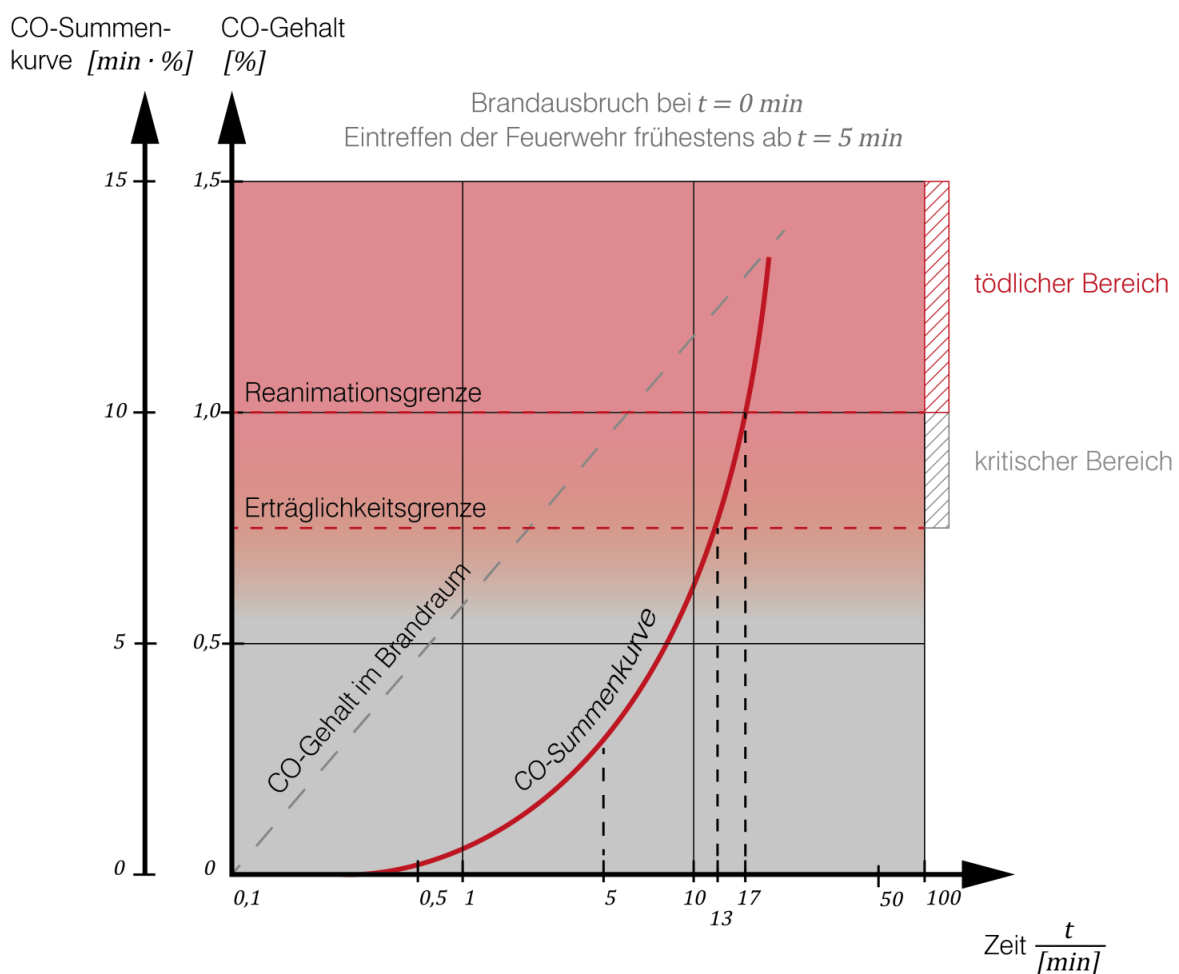


Abb. 4: CO-Gehalt im Brandraum und CO-Summenkurve in Abhängigkeit der Branddauer nach O.R.B.I.T.-Studie [18]

Die Reanimationsgrenze stellt die Dosis an Kohlenstoffmonoxid bzw. den Zeitpunkt, zu dem diese Dosis erreicht ist, dar, bei der/dem mutmaßlich eine Herz-Kreislauf-Reanimation keine Aussicht auf Erfolg mehr hat. Dabei kann die O.R.B.I.T.-Studie nicht mehr als Stand der Wissenschaft angesehen werden.

In der Rekonstruktion der durch die O.R.B.I.T.-Studie gegebenen Daten durch den Arbeitskreis V der ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder /IMK/ ergibt sich, dass die Prognose der heute gängigen FED-Methode² noch wesentlich kritischer ausfällt. Sie wird beispielsweise im vfdb-Leitfaden beschrieben und dient der ingenieurmäßigen Bemessung der toxischen Wirkung von Brandgasen für eine quantitative Sicherheitsbetrachtung [19].

Bei Zugrundelegen der Formel

$$\text{Fractional Effective Dose für Kohlenstoffmonoxid} \quad FED_{CO} = \frac{3,317 \cdot 10^{-5} \cdot RMV \cdot c_{CO}^{1,036} \cdot \Delta t}{D} \quad (1)$$

mit

Δt Dauer in Sekunden

c_{CO} Konzentration an Kohlenstoffmonoxid in der Atemluft in Vol.-%

D kritische Menge an COHb in %

RMV Atemminutenvolumen in $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$

ergeben sich folgende Daten für einen 70 kg schweren Erwachsenen:

Unter körperlicher Ruhe, zum Beispiel im Schlaf, wird der Zustand der Handlungsunfähigkeit (Erträglichkeitsgrenze $t_{E.,R.}$) nach ca. 10,5 min und die Grenze für den wahrscheinlichen Todeseintritt (Reanimationsgrenze $t_{R.,R.}$) nach 12,5 min erreicht. Die hierfür angenommenen Parameter sind D_R (kritische Menge an COHb als Anteil des gesamten Hämoglobins) 40 % und RMV_R (respiratory minute volume; Atemminutenvolumen) mit $8,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Wesentlich kürzere Zeiten ergeben sich bei angenommenen Stresssituationen, welche beispielsweise für flüchtende oder eingeschlossene Personen oder etwa arbeitende Personen (Löschversuche mit Selbsthilfegeräten, Arbeiten durch Feuerwehrleute ohne umluftunabhängigen Atemschutz) zu vermuten ist. Sei die kritische Menge COHb $D_A = 40 \%$ und das Atemminutenvolumen $RMV_A = 8,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, ergibt sich eine Dauer bis zum Eintritt der Handlungsunfähigkeit von nur $t_{A.,E.} = 3,5 \text{ min}$. Der Tod tritt in mutmaßlich ca. $t_{A.,R.} = 5 \text{ min}$ ein. In beiden Fällen wird die Volumenkonzentration von Kohlenstoffmonoxid (Vol.-%) in der Raumluft entsprechend der O.R.B.I.T.-Studie angenommen. Es ist nach dem Forschungsbericht Nr. 145 Des

² FED steht für „Fractional Effective Dose“. Dieser Wert gibt das Verhältnis aus der zum Zeitpunkt t oder im Zeitraum Δt erreichten Dosis zu jener Dosis, die die Handlungsunfähigkeit oder den Tod hervorruft. Die Dosis ist das Produkt aus Konzentration c und Expositionszeit t bzw. der Teilexpositionszeit Δt .

/IMK/-Arbeitskreises V [15] zu erwarten, dass sich diese Prognose weiter verkürzt, wenn die zeitliche Entwicklung von Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidkonzentration mit der zu erwartenden Verschlechterung der Bedingungen im Brandobjekt berücksichtigt würden. Des Weiteren sind auch die Einwirkungen der thermischen Belastung auf Brandopfer als weitere negative Einflussgröße zu nennen. Neben den direkten Folgen wie Atemprobleme, unerträgliche Schmerzen auf trockener Haut einhergehend mit starken Verbrennungen der Körperoberfläche und der Atemwege, sind auch die Folgen durch weitere Körperreaktionen (weitere Erhöhung des Atemminutenvolumens, Panikreaktion und unterbewusstes, nicht vernunftgesteuertes Fluchtverhalten) zu nennen, in deren Folge schwere Verletzungen entstehen können.

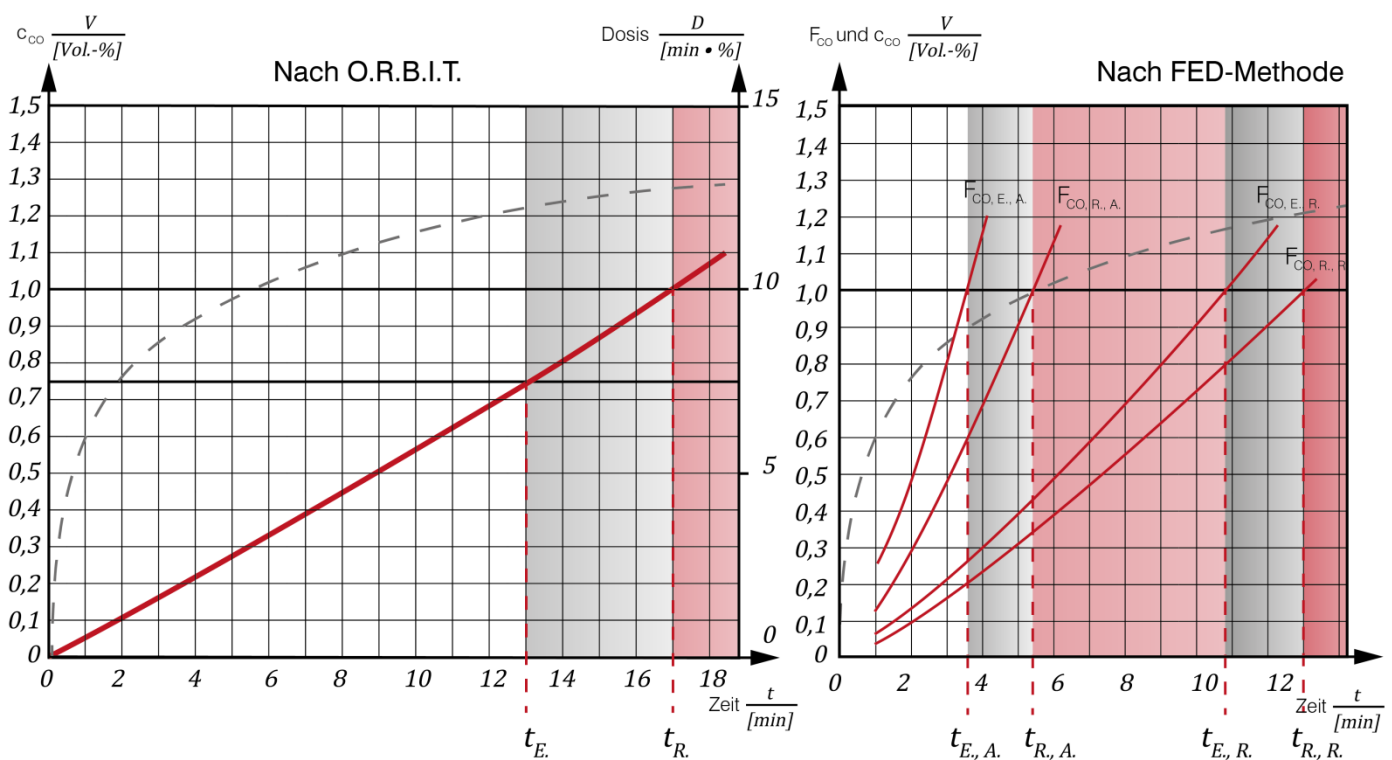


Abb. 5: CO-Gehalt im Vergleich: O.R.B.I.T.-Studie [18] (ausgelesene Werte in neuer Darstellung, links) und FED-Methode nach vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden (rechts) laut /IMK/-Arbeitskreis [15]

Die erwartete Wirkung auf die Betroffenen spiegelt sich in den statistischen Erhebungen unterschiedlicher Gremien wieder: Aus „The Real Fire Library“ [20] der Feuerwehr London geht hervor, dass 42 % der Londoner Brandopfer im Zeitraum von 1996 bis 2000 an den Folgen von eingeatmetem Brandrauch gestorben sind, für weitere 25 % (n = 117) wurde die Einwirkung von Feuer und Rauch zugleich als ursächlich für den Tod eingestuft. Lediglich 19 % der Opferzahlen sind allein auf Verbrennungen zurückzuführen. Somit ist nach dieser Studie in 67 % der Fälle Einatmen der Brandgase am Eintritt des Todes beteiligt. [20]

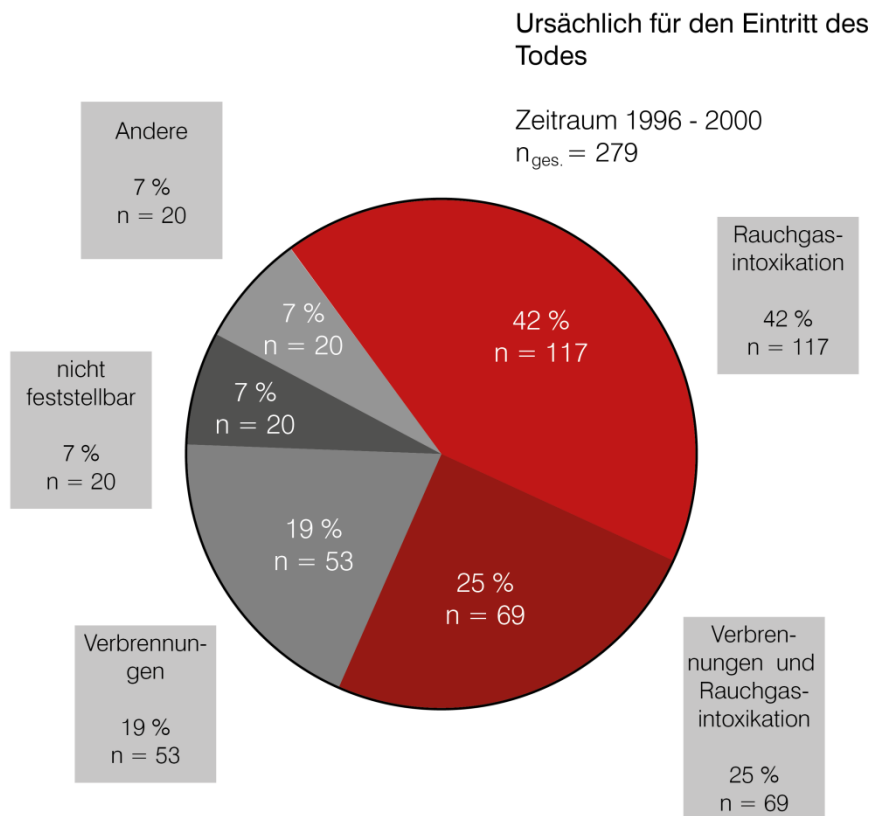


Abb. 6: Todesursache nach „The Real Fire Library“ [20]

In anderen Quellen variiert diese Zahl zwischen 70 % und 93 %. Trotz der großen Varianz wird die Rauchgasintoxikation als häufigste und damit als gefährlichste Todesursache bestätigt.

Nicht nur die Zusammensetzung, auch die Menge des gefährlichen Brandrauchs, die bei einem Feuer entsteht, hängt von dem brennenden Material ab. In einer Untersuchung der Universität Edinburgh [21] durch Prof. David J. Rasbash sind unterschiedliche Kennzahlen für verschiedene Stoffe erstellt worden. Angegeben ist die Rauchfreisetzung pro Stunde in Kubikmetern. In untenstehender Grafik werden die quantitativen Unterschiede deutlich sichtbar, verbrannt wurden jeweils 10 kg des betreffenden Materials.

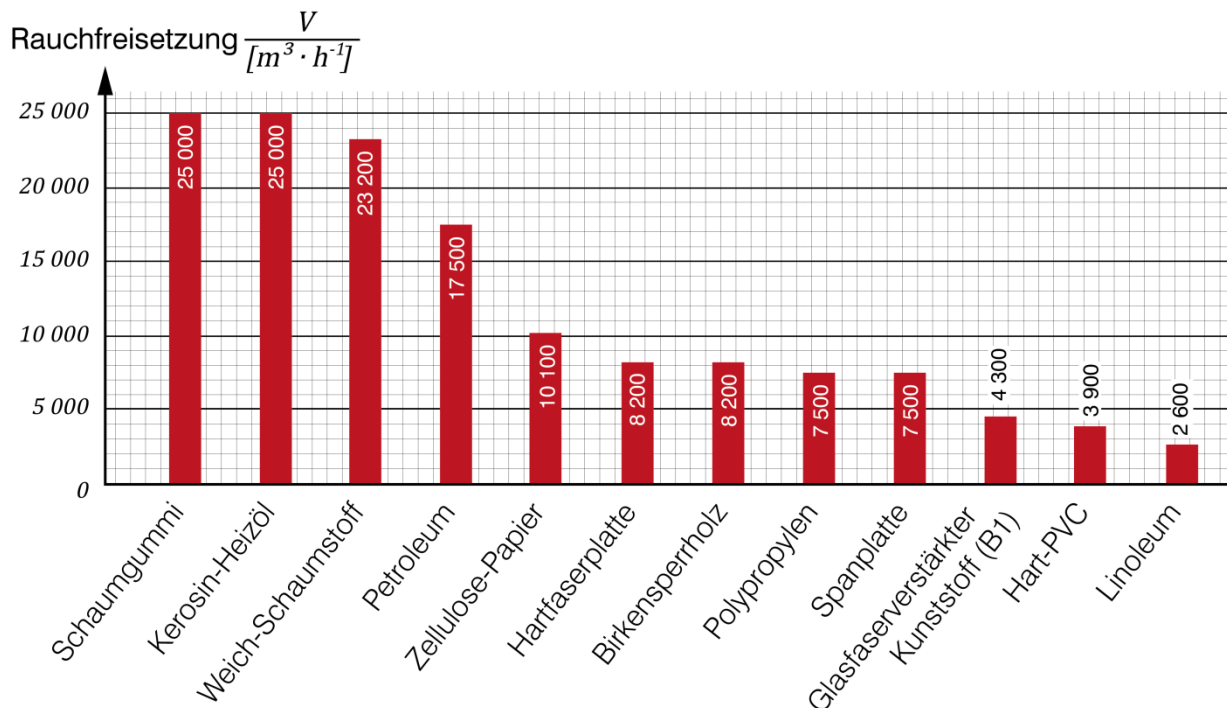


Abb. 7: Rauchfreisetzung (ca.) in Abhängigkeit je 10 kg des brennenden Materials in $m^3 \cdot h^{-1}$ nach Rasbash [21]

Eine weitere Gefahr abseits der toxischen Wirkung auf den menschlichen Organismus geht von der stark herabgesetzten Sichtweite in verqualmten Bereichen aus, die den Flüchtenden eine Orientierung und damit das Auffinden der Notausgänge erschwert. Die im Brandrauch enthaltenen Rauchpartikel setzen den Kontrast herab. Je höher die optische Dichte des Brandrauch-Luft-Gemisches und der damit einhergehend veränderte Reflexionsgrad sind, desto schwieriger wird das Sehen und Orientieren. Auch die Beleuchtungsstärke nimmt mit zunehmender Rauchdichte ab. Durch die Schwierigkeit sich im Brandrauch zu orientieren steigt die Fluchtzeit und damit die Expositionszeit gegenüber dem Rauch. Hinzu kommt, dass Möbel, Elektrogeräte und andere Habseligkeiten nach einer Kontamination mit Brandrauch oft genauso als Sondermüll zu entsorgen sind, wie Verkaufsware und gelagerte Güter. Ein Großteil des Sachschadens geht von der Beaufschlagung mit Rauchrückständen oder kontaminiertem Löschwasser einher.

Neben der direkten Gefahr für Menschen und Sachgüter besteht durch den Brandrauch auch Gefahr für die Bausubstanz und Anlagentechnik. Die bei brennenden Kunststoffen, insbesondere bei PVC, frei werdende Salzsäure dringt tief in den Beton ein, korrodiert den enthaltenen Bewehrungsstahl und sprengt infolgedessen den überdeckenden Beton ab. Wird diesem Vorgang über aufwändige Sanierungsarbeiten nicht Einhalt geboten, kann es als Langzeitfolge zum Bauteilversagen kommen. Auch bei elektrischen/elektronischen Anlagen führt der Brandrauch auf diese Weise zu schweren Schäden,

die meist den wirtschaftlichen Totalschaden der Anlage bedeuten.

Während des Brandes selbst gibt es eine sehr wesentliche Gefahr für die bauliche Integrität des Brandobjekts: Die Reaktionsenergie in Form von Wärme. Die Wärmeabgabe von Brandgut, Flammen und Rauch an die Umgebung erfolgt durch Konvektion, Wärmestrahlung oder Wärmeleitung. Die Intensität des Feuer hängt von dem brennenden Material, der Ventilation und anderen äußeren Einflüssen ab.

In der /DIN EN 1991-1-2/ (sog. Eurocode 1) wird für einige Stoffe die Netto-Verbrennungswärme aufgelistet. Für Holz liegt diese bei 17,5 MJ / kg, Papier und Pappe werden mit 20 MJ / kg angegeben. Wesentlich höhere Werte erzielen chemische Stoffe mit 30 MJ / kg für Alkohole, 40 MJ / kg für Kohlenwasserstoff-Kunststoffe und 50 MJ / kg für Paraffine. [22]

Im Falle eines Schadenfeuers können hierdurch in den betroffenen Bauteilen große mechanische Spannungen entstehen, die Tragfähigkeit wird stark reduziert. Ein 5 m langer Stahlträger (S235JR+ARB „St 37“ nach /DIN EN 10025-2:2005-04/; $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [23]) z.B. dehnt sich bei einer Erwärmung um 700 K näherungsweise 42 mm aus. Dieses kann dazu führen, dass als aussteifendes Element erforderlicher Mauerwerksverbund herausgeschoben wird und die gesamte Konstruktion ihre Tragfähigkeit verliert.

Längenänderung
(näherungsweise)

$$\Delta L \approx \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \quad (2)$$

mit

α Wärmeausdehnungskoeffizient in $1 \cdot \text{K}^{-1}$

ΔT Temperaturänderung in K

L_0 Ausgangslänge in m.

Zudem verliert Baustahl bei 500 °C ca. 50 %, bei 700 °C ca. 67 % seiner Tragfähigkeit [24], eine Temperatur, die bei einem Brand nach Einheitstemperaturkurve gemäß /DIN 4102-2/ je nach Bauteilgeometrie schon nach 8 Minuten erreicht wird [25]. Die genaue kritische Temperatur, also jene Temperatur, bei der ein Versagen des Bauteils droht, hängt von dem Ausnutzungsgrad des Bauteils im Brandfall ab. Sie lässt sich nach /DIN EN 1993-1-2:2006/ (Eurocode 3) berechnen. Bei einem Hochregallager ist in jedem Fall von auf Wirtschaftlichkeit optimierten Tragwerksstrukturen auszugehen, weshalb der Ausnutzungsgrad und damit die statischen Reserven der Bauteile für den Brandfall als sehr gering anzunehmen sind. Zweckmäßig wird bei den Feuerwehren von einer Feuerwiderstandsfähigkeit von 0 Mi-

nuten (F 0) für Regalanlagen ausgegangen. Die Erläuterung der Musterindustriebaurichtlinie /Erl MIndBauRI/ geht für ungeschützte Stahltragwerke von bis zu 15 Minuten Feuerwiderstandsfähigkeit aus [26].

Holz verhält sich unter Brandeinwirkung grundlegend anders. Die Schwächung von Holz im Brandfall hängt nicht von der absoluten Bauteiltemperatur ab, sondern von der Abbrandrate. Die Abbrandrate gibt an, wie viel Querschnittsfläche eines Holzbalkens im Verlauf der Zeit abbrennt. Sie hängt stark von den Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Ventilation sowie der verwendeten Holzsorte ab. Durch die Reduzierung der Querschnittsfläche verliert der Holzbalken an Tragfähigkeit, es kann zum Bauteilversagen kommen. [27]

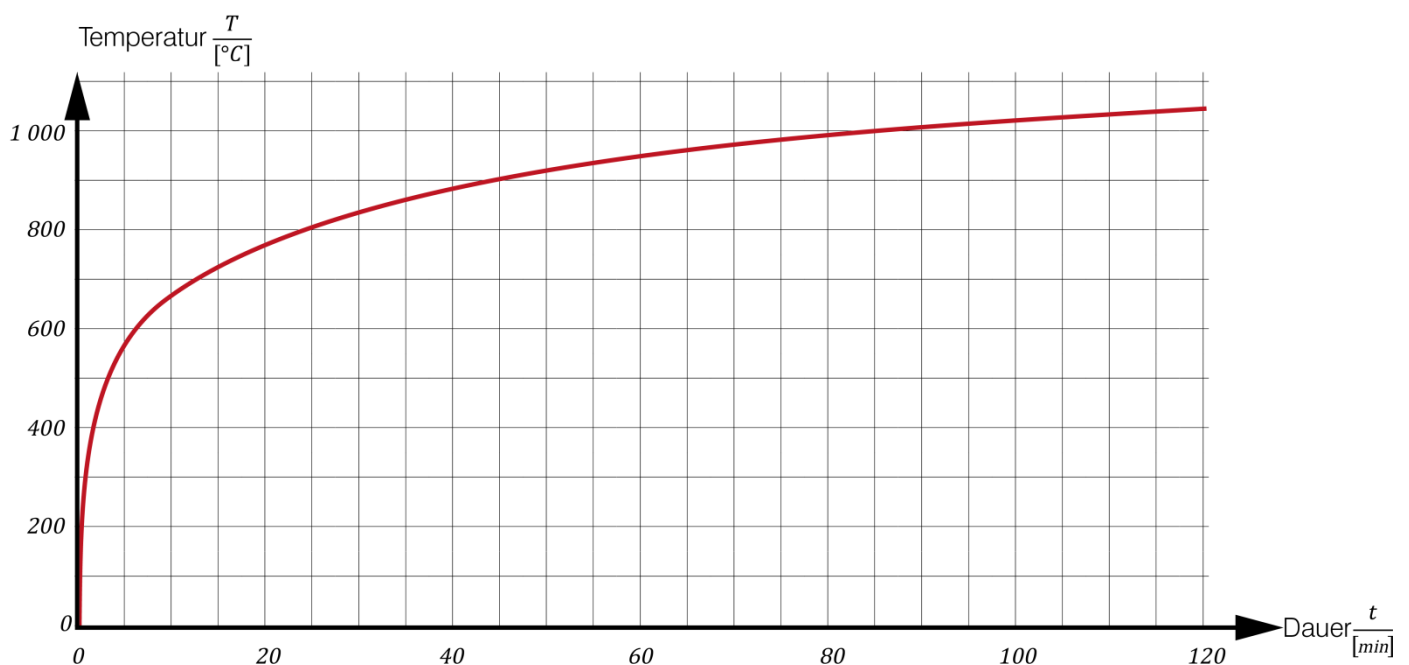


Abb. 8: Einheitstemperaturkurve oder auch Einheitstemperaturzeitkurvenach /DIN 4102-1/ [28]

Die im Brandfall auftretende Raumtemperatur ist nicht im Voraus zu ermitteln. Die o.g. Einheitstemperaturkurve hat sich als gutes Mittel zur Klassifizierung entsprechender Bauteile erwiesen. Jedoch ist der in Versuchen und bei Realbränden beobachtete Brandverlauf ein anderer. In der Regel lassen sich die drei wesentlichen Phasen „Brandentwicklung“, „Vollbrand“ und „Abklingphase“ beobachten. Die Dauer vom Brandausbruch bis zum vollständig entwickelten Brand kann unterschiedlich lang sein. Oftmals entstehen Brände als Schmelbrände unter schlecht ventilierter Atmosphäre. Wird eine bestimmte Temperatur erreicht oder das Brandobjekt durch das Feuer so verändert, dass viel Luftsauerstoff an die Glut gelangt, kommt es zur offenen Flammenbildung. Von nun an ist es dem Feuer in der Regel möglich, sich in überschaubarer Zeit zu einem Vollbrand zu entwickeln. Auf dem Weg dorthin lässt sich in

den meisten Fällen ein sog. Feuerübersprung beobachten. Der Feuerübersprung (oder die Durchzündung), auch bekannt unter dem englischen Begriff Flashover, ist ein Phänomen, bei dem der bisher auf einen Teil des Raumes begrenzte Brand sprunghaft auf alle im Raum befindlichen Brandlasten übergreift. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn das Feuer eine bestimmte Wärmefreisetzungsrate erreicht und sich die Oberflächen der brennbaren Objekte durch Strahlungshitze und die erhöhte Raumtemperatur soweit aufgewärmt haben, dass sie ausgasen und sich ein brennbares Luft-Pyrolysegas-Gemisch gebildet haben. Kommen diese Gase mit dem bereits brennenden Objekten in Kontakt, zündet der Brandraum rasch durch, der Brandraum steht vollends in Flammen.

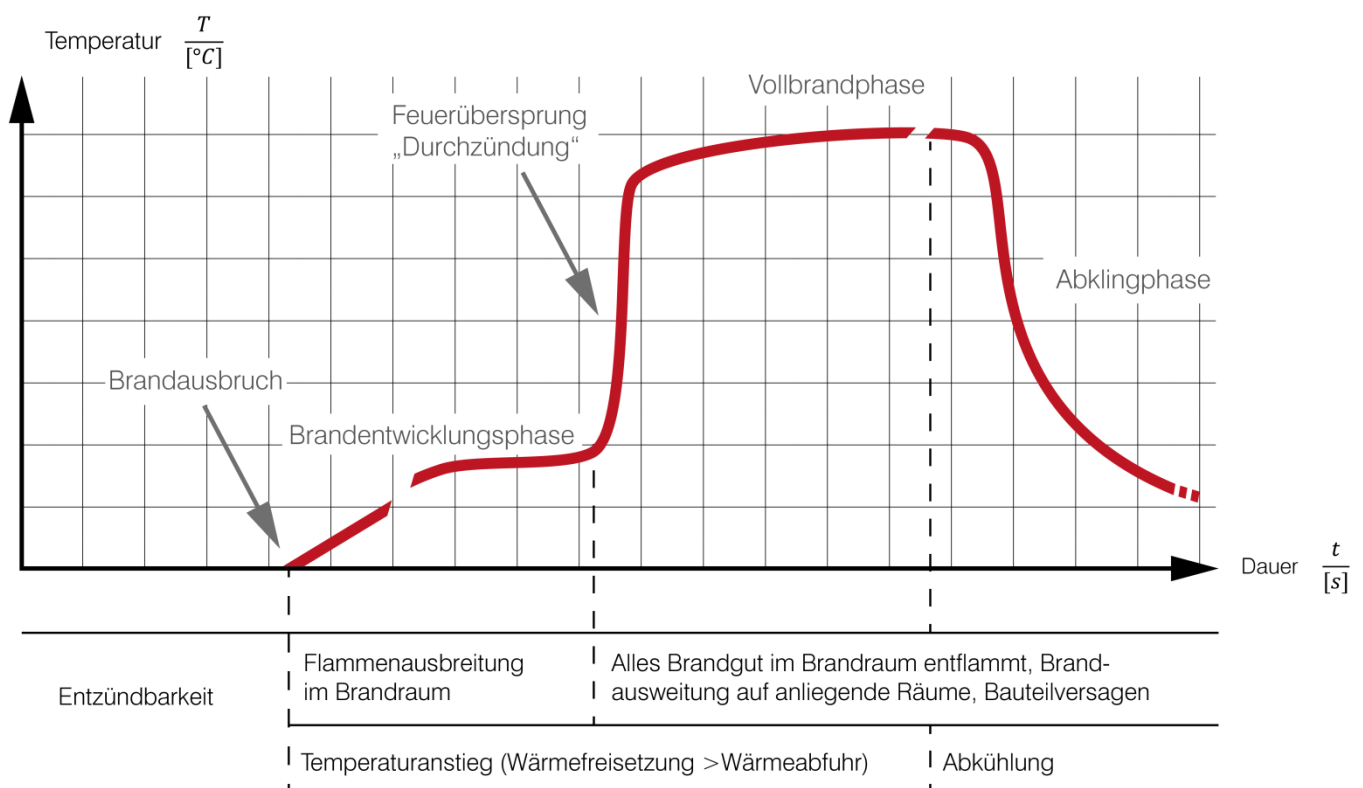


Abb. 9: Idealisiertes Temperatur-Zeit-Diagramm eines natürlichen Brandverlaufs in Anlehnung an Karlsson und Quintiere [29]

Die Vollbrandphase wird durch die größte absolute Brandraumtemperatur und Wärmefreisetzungsrate charakterisiert. Sie dauert an, bis ca. 70 Gew.-% der Brandlast verbrannt sind, sofern keine Löschnmaßnahmen ergriffen werden. Aufgrund der hohen thermischen Belastung ist ab dem Vollbrand mit einer rasanten Brandausbreitung auf das restliche Gebäude und mit Einsetzen des Bauteilversagens in Ab-

hängigkeit der Feuerwiderstandsdauer der Bauteile³ zu rechnen. Die Wärmefreisetzung hängt stark vom Grad der Ventilation eines Brandes ab. Man unterscheidet zwischen brennstoff-, bzw. brandlast- und ventilationsgesteuertem Brand. Allgemein ist zu erwarten, dass ein brennstoffgesteuerter Brand, also jener mit maximaler Ventilation, die höhere Wärmefreisetzungsrate erreicht. Der ventilationsgesteuerte Brand erreicht aufgrund des ständigen Mangels an Luftsauerstoff im Vergleich dazu geringere Temperaturen. Folgende Abbildung zeigt schematisch die zu erwartende Wärmefreisetzung im zeitlichen Verlauf eines Brandes in einem definierten Brandraum. [29]

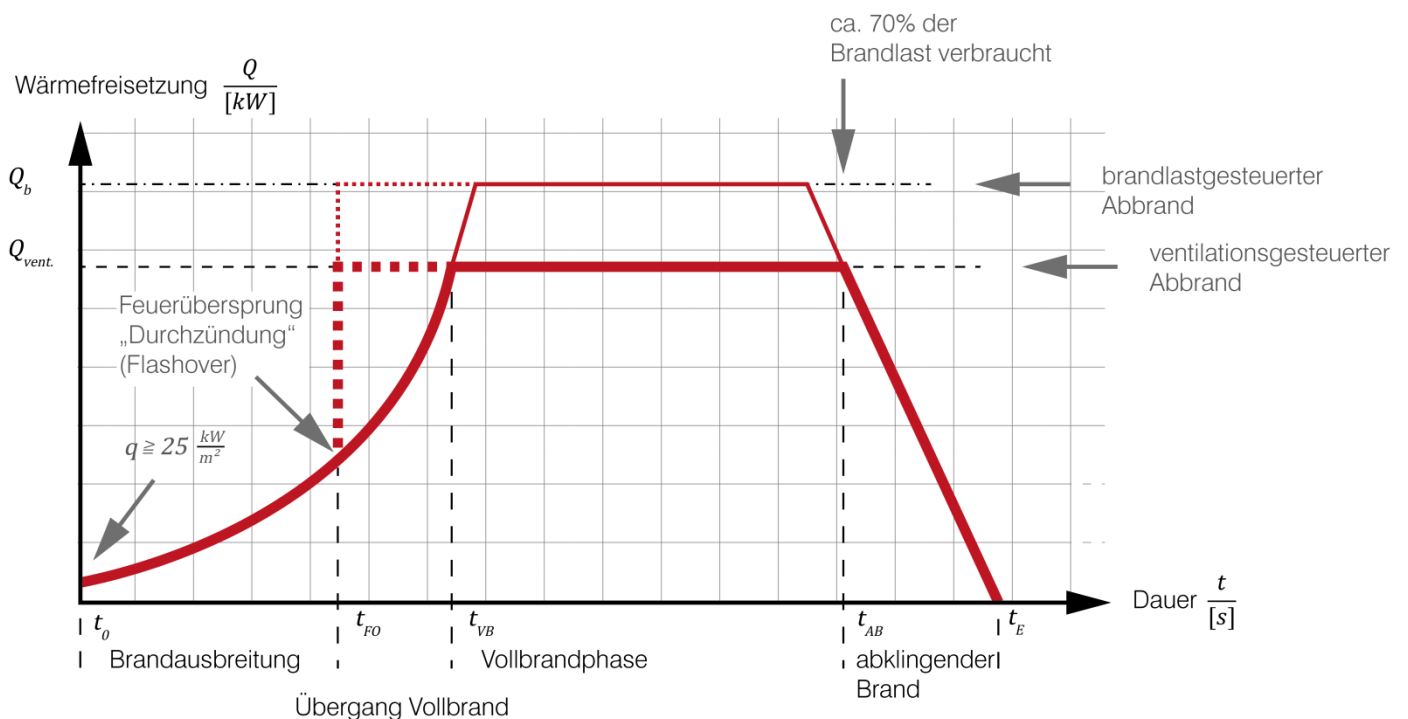


Abb. 10: schematisches Wärmefreisetzungs-Zeit-Diagramm in Anlehnung an Karlsson und Quintiere [29] sowie nach „National Fire Safety Concept No.7“ [30]

Die unten stehende Grafik nach Kordina [31] verdeutlicht die zu erwartenden Unterschiede zwischen Bränden in Gebäuden mit Wohnnutzung und industriell genutzten Gebäuden. In der Auswertung von 66 untersuchten Großbränden stellt sich heraus, dass die größte Anzahl an Opfern im Bereich der Wohngebäude zu finden ist. Bei Bauten von Industrie und Gewerbe ist im Gegensatz dazu vermehrt mit einer hohen Sachschadensumme zu rechnen.

³ Der Feuerwiderstand von Bauteilen wird unter 3.3 „Brandschutz“ behandelt.

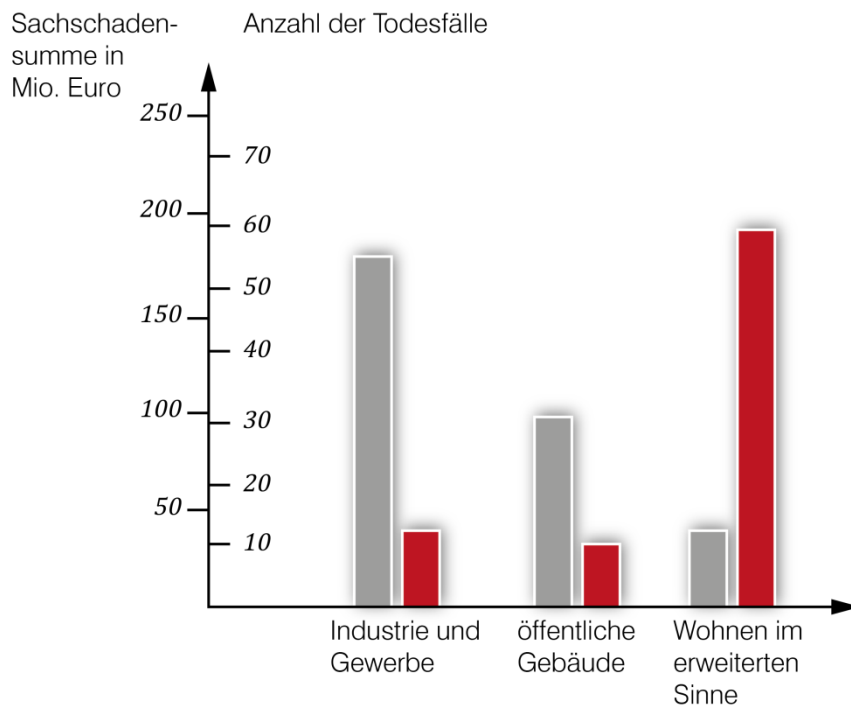


Abb. 11: Sachschadenssumme in Mio. Euro (grau) und die Anzahl der Todesopfer (rot) Aufgeteilt nach Gebäudenutzung nach Kordina [31]

Im Bereich der Industrie ist zu beobachten, dass die Zahl der Großschadensfälle durch Feuer rückläufig ist. Aus den Jahrbüchern des /GDV/ geht jedoch hervor, dass Feuer-Versicherungsfälle⁴ mit Schadenssummen ab 500 000 Euro (vor 2000 ab 1 Mio. DM) in ihrem Schadenmaß zunehmen. Brände dieser Größenordnung stellen etwa 30 % aller Industriebrände dar [32]. Im Jahr 2010 wurden in Deutschland 153 solcher Großschadensfälle reguliert. Der Durchschnitt der Schadenssummen belief sich auf 3,75 Mio. Euro, was eine Gesamtschadenssumme von ca. 570 Mio. Euro ergibt. Diese Summe unterliegt in den einzelnen Jahren einer großen Varianz. Im Jahr 1994 lag dieser Wert bei ca. 1,19 Mrd. Euro, im Jahr 2004 bei vergleichsweise geringen 540 Mio. Euro.

Der ansteigende Trend der Schadenssummen im Großschadensfall ist wohl mit den immer weiter steigenden Anlagenkosten im Bereich von Lagerung und Fertigung zu begründen. In beiden Ressorts wird seit Jahren zunehmend auf Maschinen gesetzt, die die für den Betrieb erforderliche Anzahl an Mitarbeitern reduzieren und so Kosten einsparen. Die Anschaffungskosten für die Robotertechnik sind prinzipiell als hoch anzusehen, der Schaden im Brandfall ist immens.

⁴ In Deutschland gibt es keine amtlich geführte, bundesweit einheitliche Brandschadenstatistik. Aus diesem Grund werden die statistischen Erhebungen der Feuerversicherungen herangezogen.

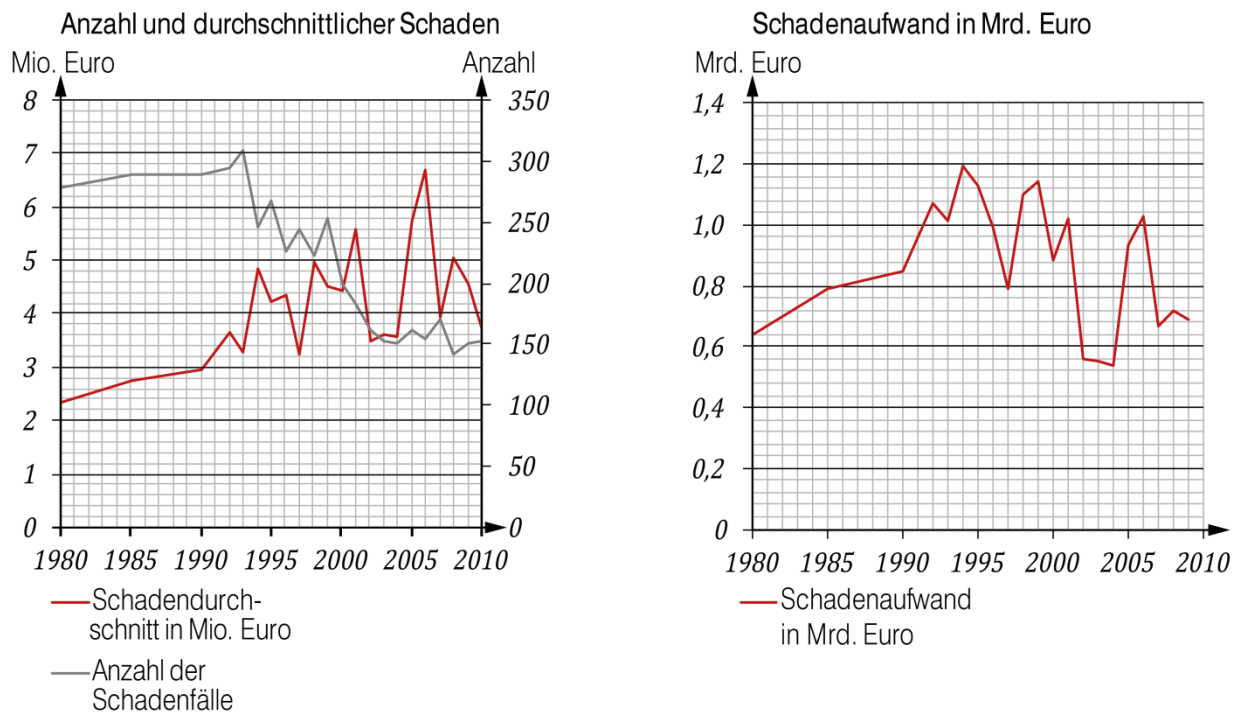


Abb. 12: Durchschnittliche Sachschadensumme im Vergleich zur Anzahl der Schadenfälle (links, bis 1990 in 5-Jahres-Schritten, ab 1991 Jährlich) und Gesamtschadenaufwand (rechts, Intervall wie zuvor) der Feuerversicherungen für die Industrie aus den Jahrbüchern des /GDV/ [33], [34], [35], [36]

Beim Vergleich der Versicherungsschäden, die durch Feuer verursacht wurden, schlägt sich dies nieder. Gemittelt über den Zeitraum 2000 bis 2010 beträgt die Summe der Schadenfälle von Industrie und Gewerbe 46,23 % der gesamten Schadenfälle aus Feuer-, Hausrat- und Wohngebäudeversicherung. Im Verhältnis zur Anzahl der Schadenfälle stellt dies einen sehr hohen Wert dar. Nicht mit abgebildet sind die Kosten, die durch Betriebsausfall entstehen. Ebenfalls zu berücksichtigen sind dazu die Verluste durch Kunden, die infolge von Lieferengpässen von einer weiteren Zusammenarbeit absehen. Diese Verkettung kann in letzter Konsequenz zur Insolvenz des Unternehmens führen. Der /FVLR/ zitiert Untersuchungen aus den USA⁵ nach denen 43 % der Firmen direkt nach einem Großbrand insolvent sind, weitere 28 % innerhalb der ersten drei Jahre nach einem großen Brandereignis [37].

⁵ Im Rahmen dieser Ausarbeitung nicht überprüft.

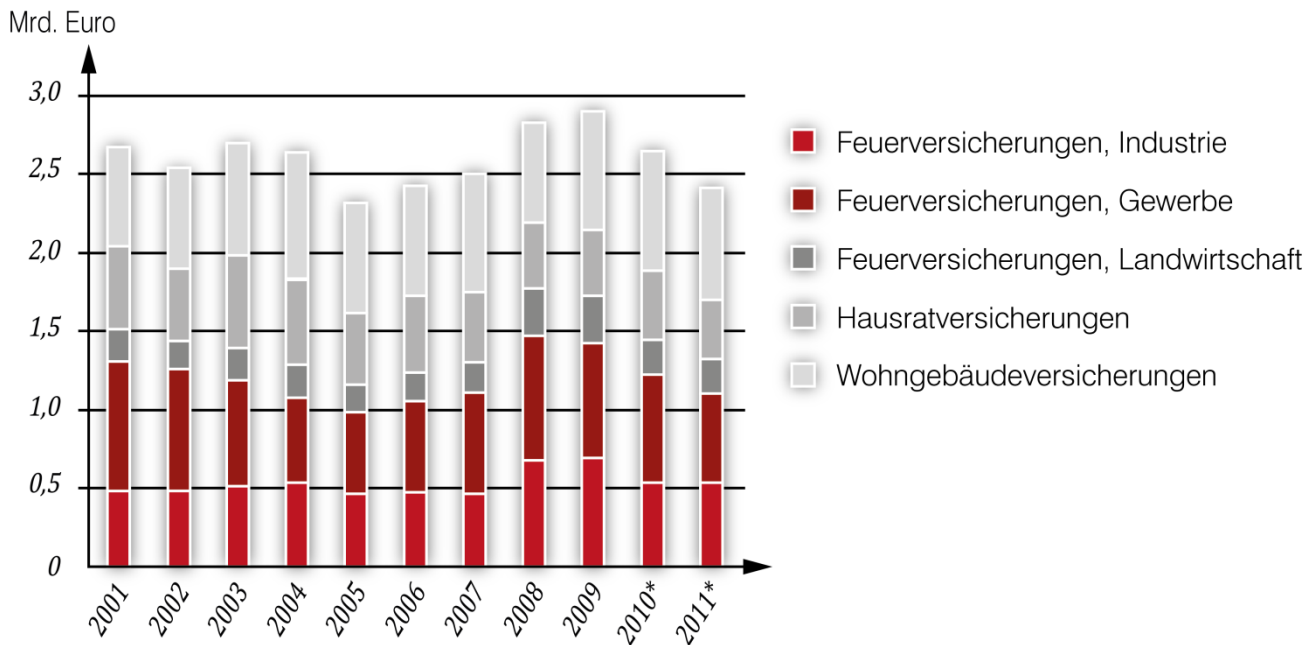


Abb. 13: Schäden durch Feuer, aufgeteilt nach Versicherung (*: Schätzwerte für die Feuerversicherungen), Jahrbücher /GDV/ [33], [34], [35], [36], [38]

3.3 Brandschutz

Seit der (vermeintlichen) Zähmung und Kultivierung des Feuers kam es immer wieder zu verheerenden Bränden. Die ersten Hinweise auf organisierte Löschmannschaften gibt es laut deutschem Feuerwehrverband aus dem Jahr 850 v.Chr. Sie hatten die Aufgabe gegnerische Brandfackeln zu löschen, die gegnerische Truppen nutzten, um Kampfgerät in Brand zu setzen. Überliefert ist beispielsweise auch, dass 24 v.Chr. der Polizeidirektor aus Rom Sklaven zu einer privaten Feuerwehrtruppe formierte und so die Gunst des Volkes gewann. Infolge des großen Brandes von Rom, der vom 19. bis 26. Juli 64 n.Chr. drei der 14 Stadtbezirke vernichtete, wurden viele Vorschriften erlassen, die eine neuerliche Brandkatastrophe verhindern sollten. Löschwasservorhaltung, Erdgeschosse und Umfassungswände aus nicht brennbaren Baustoffen gehörten genauso zu diesen Maßnahmen, wie breite Straßen und regelmäßige Häuserfronten. Im weiteren Verlauf der Geschichte entwickelten sich staatliche Bauvorschriften und Brandschutzgesetze. [39], [40]

In Deutschland formierten sich in den 1840er Jahren flächendeckend Feuerwehren, damals als „Feuerlösch- und Rettungs-Corps“ (Meißen, 1841) und Pompier-Corps (Durlach, 1846). Oftmals entstanden sie aus Sport- und Turnvereinen. Die älteste Feuerwehr ist vermutlich die freiwillige Feuerwehr Saarlouis mit dem Gründungsjahr 1811. Im Jahr 1851 entstand in Berlin die erste Berufsfeuerwehr mit militärischen Organisationsstrukturen und besonderen Rechten und „hoheitlichen“ Aufgaben. Einen weiteren Meilenstein stellte die Gründung des deutschen Feuerwehrverbandes 1853 dar. [13], [39]

In den Kriegswirren des Mitte des 20. Jahrhunderts und bedingt durch die nationalsozialistischen Gleichschaltungsgesetze geriet die Entwicklung des Feuerwehrwesens ins Stocken. Die Feuerwehrleute wurden samt Gerätschaften zu Kriegsdiensten herangezogen. Nach dem Krieg oblag die Brandbekämpfung den Siegermächten, die diese in den einzelnen Besatzungszonen unterschiedlich, in der Regel nach Vorbild des eigenen Brandschutzes organisierten. Mit Neugründung der Bundesländer in Westdeutschland wurde die Feuerwehr in des föderale System eingepasst. Jedes der zunächst elf, ab 1990 16 Bundesländer entwickelte seine eigenen Brandschutzgesetze, Rettungsdienstgesetze und Bauordnungsvorschriften. Vereinheitlichend wirken sich nur die allgemeingültigen Normen und Muster Vorschriften aus, die in aller Regel auf gewisse Weise Eingang in das Landesrecht finden. Ebenfalls als Meilenstein der Feuerwehrentwicklung kann die 1991 ins Leben gerufene europaweite Notrufnummer 112 angesehen werden, die seit 2008 flächendeckend in Europa etabliert ist. [39], [41]

Der Brandschutz teilt sich in Deutschland in unterschiedliche Bereiche auf. Man unterscheidet zwischen abwehrendem Brandschutz, den die Feuerwehren sicherstellen, und vorbeugendem Brandschutz. Letzterer kann in baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Brandschutz aufgeteilt werden.

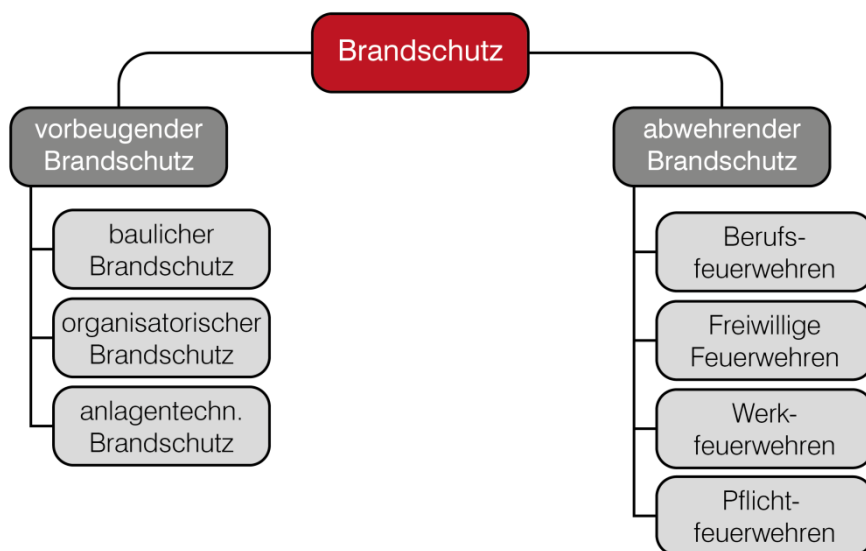


Abb. 14: Organisation des Brandschutzes in Deutschland

Der vorbeugende Brandschutz in Gebäuden wird in Deutschland durch das Bauordnungsrecht gefordert und unterliegt somit dem Landesrecht. Er schafft die Grundlagen für Schutz von Leben, Sachgütern und Umwelt und ist eine Voraussetzung für eine wirksame Brandbekämpfung. Er dient somit der öffentlichen Sicherheit.

Die Maßnahmen des baulichen Brandschutzes umfassen die Ausmaße des Gebäudes bzw. der Unter-

teilung eines Gebäudes in Brandabschnitte begrenzter Grundfläche, Anforderungen an die Bauteile hinsichtlich ihres Feuerwiderstands und der Brennbarkeit und an die Länge, Breite und Ausführung der Rettungswege. Zudem gibt es Anforderungen an Haus- und Brandschutztechnik. Alle Anforderungen richten sich nach der Nutzung des Gebäudes und der Gebäudehöhe. Auch die erforderlichen Abstände von Gebäuden sind in allen Bundesländern vorgegeben und reduzieren die Gefahr einer Brandausbreitung.

Ein wichtiger Bestandteil des baulichen Brandschutzes sind Bauteile mit Feuerwiderstandsfähigkeit (auch Feuerwiderstandsklasse). Die normativen und bauaufsichtlichen Definitionen unterscheiden sich in der Nomenklatur, sind aber sehr vergleichbar. Akzeptiert ist eine Versagenswahrscheinlichkeit von nicht mehr als 10^{-5} [4]. Folgende Tabelle zeigt die üblichen Feuerwiderstandswerte und deren Bezeichnungen.

Tabelle 2: *Feuerwiderstandsfähigkeit mit unterschiedlichen Bezeichnungen am Beispiel tragender und raumabschließender Wände, sowie der zugehörigen Feuerwiderstandsdauer in Minuten [2], [3], [42], [43].*

Bezeichnung	/DIN 4102-2/	/DIN EN 13501-2/	Anwendungsbeispiel	Dauer
feuerhemmend	F 30	REI 30	Wände von notwendigen Fluren nach /MBO/.	30 min
hochfeuerhemmend	F 60	REI 60	Tragende und aussteifende Wände von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach /MBO/.	60 min
feuerbeständig	F 90	REI 90	Trennwände zwischen Nutzungseinheiten nach /MBO/, Brandwände nach /MBO/, wenn zusätzlich eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung besteht.	90 min
hochfeuerbeständig	F 120	REI 120	Tragende und aussteifende Bauteile in Gebäuden höher 60 m nach /MHHR/.	120 min
höchstfeuerbeständig	F 180	REI 180	Komplextrennwände nach /VdS 2234/ und /VDI 3564:2011-01/ zur Trennung unterschiedlicher Gebäudekomplexe bzw. von Hochregallagern und anderer Gebäude.	180 min

Die /DIN 4102/ unterscheidet bei dieser Angabe nur zwischen unterschiedlichen Bauteilen, die mit alternativen Buchstaben an Stelle des vorwegstehenden „F“ kenntlich gemacht werden. Nach der Dauer der Feuerwiderstandsfähigkeit ist unter Umständen der Zusatz „RS“ zu finden. Hierbei handelt es sich nicht um einen Zusatz nach /DIN 4102/, sondern eine zweckmäßig angefügte Bezeichnung, um zu kennzeichnen, dass dieses Bauteil eine Rauchschutzfunktion nach /DIN 18095-1/ besitzt. Folgende Bauteilearten sind nach /DIN 4102/ bekannt [28], [42], [44]:

- W: nichttragende Außenwände
- F: allgemein für Feuerwiderstandsdauer (meist für Wände, auch für Brandschutzverglasung wenn undurchlässig für Wärmestrahlung)
- T: Feuerschutzabschlüsse, Fahrschachttüren
- L: Lüftungsleitungen
- K: Brandschutzklappen
- S: Kabelabschottungen
- I: Installationsschächte und Kanäle
- R: Rohrabschottungen
- E: elektrische Leitungen
- G: Brandschutzverglasung, durchlässig für Wärmestrahlung



Abb. 15: Beispielhafte Benennung einer feuerhemmenden Tür nach /DIN 4102-5/ mit zusätzlicher Rauchschutzfunktion nach /DIN 18095-1/

Die /DIN 13501-2/ differenziert stärker, und nennt die Funktionen, die gewährleistet werden müssen. Diese variieren stark und hängen vom Bauteil und der Aufgabe des Bauteils ab. Die Funktionen können nach /DIN EN 13501-2/ folgende sein (in Klammern die englische Bezeichnung und deren Buchstabe) [43], [45]:

Schlüsselbuchstaben (vor den Ziffern der Dauer in Minuten)

- Tragfähigkeit (Résistance: R)
- Raumabschluss (Étanchéité: E)
- Wärmedämmung (Insulation: I)

Zusatzkennbuchstaben (nach den Ziffern der Dauer in Minuten)

- Strahlung (Radiation: -W, Ursprung von „Watt“)
- Widerstand gegen mechanische Beanspruchung (Mechanical action: -M)
- selbstschließende Eigenschaft (Self-closing: -C)
- Rauchdichtheit (Smoke: -S)
- Widerstand gegen Rußbrand ('soot fire' resistance: -G, Ursprung von „grime“)
- Brandschutzfunktion (Fire protection ability: -K)

Beispielhaft sei genannt, dass eine T 30-RS-Tür (nach /DIN 4101-2/ und Rauchschutzfunktion nach /DIN 18095-1/) entsprechend der /DIN EN 13501-2/ als EI 30-C-S zu bezeichnen wäre. Eine F 90-Wand in der Bauart Brandwand wäre als REI 90-M zu bezeichnen.



Abb. 16: Beispielhafte Benennung einer feuerhemmenden, selbstschließenden Tür mit Rauchdichtheit nach /DIN EN 13501-2/

Ebenso ist es von großer Bedeutung, ob Baustoffe brennen können. Auch hierfür gibt es Kategorien, die sogenannten Baustoffklassen, geprüft nach /DIN 4101-1/ oder /DIN 13501-1/. Die /DIN EN 13501-1/ differenziert wesentlich stärker zwischen unterschiedlichen Eigenschaften und benennt zudem Begleiterscheinungen der Verbrennung, die sogenannten Parallelerscheinungen. Neben dem Beitrag zu einem Brand wird auch die Rauchfreisetzung und das Abtropfverhalten bewertet. Hierfür gibt es Zusatzkennbuchstaben und Zusatzkennziffern s1 für schwache Sichtbehinderung durch Rauchfreisetzung bis s3 für starke Sichtbehinderung durch Rauchfreisetzung sowie Zusatzkennbuch-

staben und Zusatzkennziffern d0 für kein brennendes Abtropfen/Abfallen bis d2 für brennendes Abtropfen/Abfallen länger als 10 Sekunden [46]. Weitere Zusatzbezeichnungen kennzeichnen darüber hinaus den Einsatzzweck. Die Bezeichnung C_{fl}-s1 steht zum Beispiel für einen schwerentflammbaren Bodenbelag (fl = flooring) mit geringer Rauchfreisetzung im Brandfall. Der Zusatz L steht für Rohrisolierungen.

Tabelle 3: Baustoffklassen nach /DIN 4101-1/ und /DIN EN 13501-1/ [28], [46].

Bezeichnung	/DIN 4102-1/	/DIN EN 13501-1/	Beschreibung und Beispiel
nicht brennbar	A1	A1 (keine Parallelerscheinungen)	Baustoffe, die keine brennbaren Bestandteile haben, dies sind z.B. Kies, Zement, Ton und Beton.
nicht brennbar	A2	A2 (keine Parallelerscheinungen)	Baustoffe, die nicht brennen, aber geringe Anteile brennbarer Stoffe enthalten; hierzu gehören gängige Gipskartonplatten und manche Holzfaserplatten mit mineralischen Bindemitteln.
schwer entflammbar	B1	B -s1 bis -s3d2	Baustoffe, die brennbar sind, aber nach Entfernen einer Prüf Flamme selbstständig verlöschen. Dies können manche Hölzer mit hoher Dichte oder behandelter Oberfläche sein, aber auch einige Kunststoffzeugnisse aus PVC oder PU.
		C -s1 bis -s3d2	
normal entflammbar	B2	D -s1 bis -s3d2	Baustoffe, die nach dem Entzünden selbstständig weiterbrennen können. Hierzu gehören alle gängigen Holzwerkstoffe, die nicht zur Kategorie B1 gehören und einige Kunststoffzeugnisse.
		E ohne bis -d2, (Rauchentwicklung unbestimmt)	
leicht entflammbar	B3	F (Parallelerscheinungen unbestimmt)	Baustoffe der Klasse B3 sind charakterisiert durch rasanten Abbrand. Es ist nur eine kleine Flamme zum Entzünden erforderlich. Bis auf wenige Ausnahmen darf dieser Baustoff nicht in baulichen Anlagen verwendet werden. Alle Baustoffe, die sich in keine der vorgenannten Kategorien einordnen lassen, gehören der Baustoffklasse B3 an.

3.4 Schutzziel

Das Schutzziel definiert das geforderte Ergebnis von Einrichtungen, Anlagen oder Maßnahmen, die dem Schutz dienen. Der einleitend genannte § 14 der /MBO/, oft auch als „Generalklausel des Brandschutzes“ bezeichnet, definiert das Ziel, das mit den Anforderungen des vorbeugenden Brandschutzes verfolgt wird. Generell ist zu sagen, dass die Rettung gefährdeter Personen und der Schutz von Leib und Leben höchste Priorität besitzen. Dies kann im Wesentlichen dadurch erfolgen, dass der Entstehung eines Brandes vorgebeugt wird und die Ausbreitung von Feuer und Rauch im Brandfall begrenzt wird. Zudem müssen die Rettung von Menschen und Tieren, sowie wirksame Löscharbeiten möglich sein. [3]

In einem Grundsatzpapier der /ARGEBAU/ [47] werden diese Anforderungen näher erläutert. In Bezug auf die Ausbreitung von Brandrauch wird deutlich herausgestellt, dass bauordnungsrechtlich verlangte Öffnungen zur Rauchableitung oder Rauchabzugsanlagen der Feuerwehr bei ihrer Arbeit dienen. Sie sind nicht für die Rauchableitung zur Sicherstellung der Benutzbarkeit der Rettungswege in der Phase der Personenrettung vorgesehen. Hierzu dienen der zweite Rettungsweg und die durch die Bauvorschriften gestellten Anforderungen an Baustoffe und raumabschließende Bauteile, die den Rettungsweg vor Feuer und Rauch schützen. Einschränkend sei gesagt, dass hierfür die Grundlagen der bauordnungsrechtlichen Anforderungen wie die innere Abschottung von Gebäuden, die Führung, Bemessung und bauliche Ausbildung von Rettungswegen und organisatorische/betriebliche oder anlagentechnische Maßnahmen gegeben sein müssen.

Für Sonderbauten sind in der Regel baulich sichergestellte Rettungswege zwingend erforderlich, da die Feuerwehr die Rettung einer Vielzahl von Menschen (Fremdrettung) nicht leisten kann. Die Rettungswege sind so zu planen, dass es im Regelfall für die Personenrettung nicht der Mithilfe der Feuerwehr bedarf (Selbstrettung). Entscheidend für das Gelingen der Personenrettung ist, dass frühzeitig mit der Flucht begonnen werden kann. Hierfür ist durch den Betreiber zum Beispiel über eine Alarmierungsanlage zu sorgen.

Von wirksamen Löscharbeiten kann laut /ARGEBAU/ auch dann noch gesprochen werden, wenn der Brandausbreitung beispielsweise erst an Brandwänden Einhalt geboten wird und das Gebäude oder der Brandabschnitt infolge dessen aufgegeben werden muss. Jedoch ist erforderlich, dass die Feuerwehr das Brandobjekt von öffentlichen Verkehrsflächen aus erreichen und die Rettungswege als Angriffswege nutzen kann. Hierfür ist es notwendig, dass die Standsicherheit für eine bestimmte Zeit durch Brandabschnitte oder ggf. Löschanlagen gewährleistet wird. Hervorgehoben wird, dass bauordnungsrechtlich nur ein zeitlich eingeschränkter Feuerwehreinsatz innerhalb der baulichen Anlage, der durch

die Standsicherheit im Brandfall definiert wird, gewährleistet werden kann. Rauchableitungsöffnungen, auch ohne quantifizierte Wirkung, werden stellenweise baurechtlich gefordert, da diese die Feuerwehr bei Ihrer Arbeit unterstützen. [47]

4 HOCHREGALLAGER – DEFINITIONEN UND GRUNDLAGEN DER BRANDSCHUTZANFORDERUNGEN, BEISPIELE FÜR BRÄNDE, RISIKOANALYSE

4.1 Grundlagen

4.1.1 Allgemein

Hochregallager sind in aller Regel eigenständige Gebäude, die ausschließlich der Lagerung von Gütern dienen und je nach Definition mit Regalen ab 9 m bis 12 m Höhe ausgestattet sind. Zur Zeit sind bis zu 50 m Regalhöhe in automatischen Regallagern möglich. Mit Kapazitäten von einigen tausend bis zu etwa 200 000 Paletteneinstellplätzen auf geringem Raum können Hochregallager sehr wirtschaftlich betrieben werden [48]. Sie sind darauf optimiert, dem Personal einen schnellen Zugriff auf Ware oder Güter zu geben. Hierzu sind die in Einheiten verpackten Güter in den regelmäßig angeordneten Regalfächern eingestellt. Die gängigste Größe ist die Europalette mit einer Grundfläche von 800 · 1200 mm und einer Höhe zwischen ein und zwei Metern. Je nach Auslegung des Hochregallagers können aber auch anders dimensionierte Güter gelagert werden (z.B. Langgüter, Sperrgüter, Rollenware oder Kleinteile).

Die Anfangsinvestition ist aufgrund der Gebäudegröße und der zur Bewirtschaftung erforderlichen Technik sehr groß. Hochregallager zeichnen sich durch kurze Zugriffszeiten aus und ermöglichen so eine schnelle Distribution der benötigten Ware. In Zeiten, in denen der just-in-time-Lieferung immer größere Bedeutung zugemessen wird und die Lagerhaltungszeiten aufs Nötigste verkürzt werden, spielen Hochregallager eine große Rolle. Von einfachen Hallen mit Regaleinbauten bis zu Hochregallagern in Silobauweise, bei denen die Regalierung gleichzeitig Dach und Wände stützt, gibt es diverse Mischformen. Neben der Bauart gibt es auch beim Baustoff unterschiedlichste Möglichkeiten. Am gängigsten sind Hochregallager aus Stahlblechprofilen. Seltener sind Regalierungen, deren Tragwerk massive Stahlbetonwände sind, an die stählerne Kragarme angebracht werden.

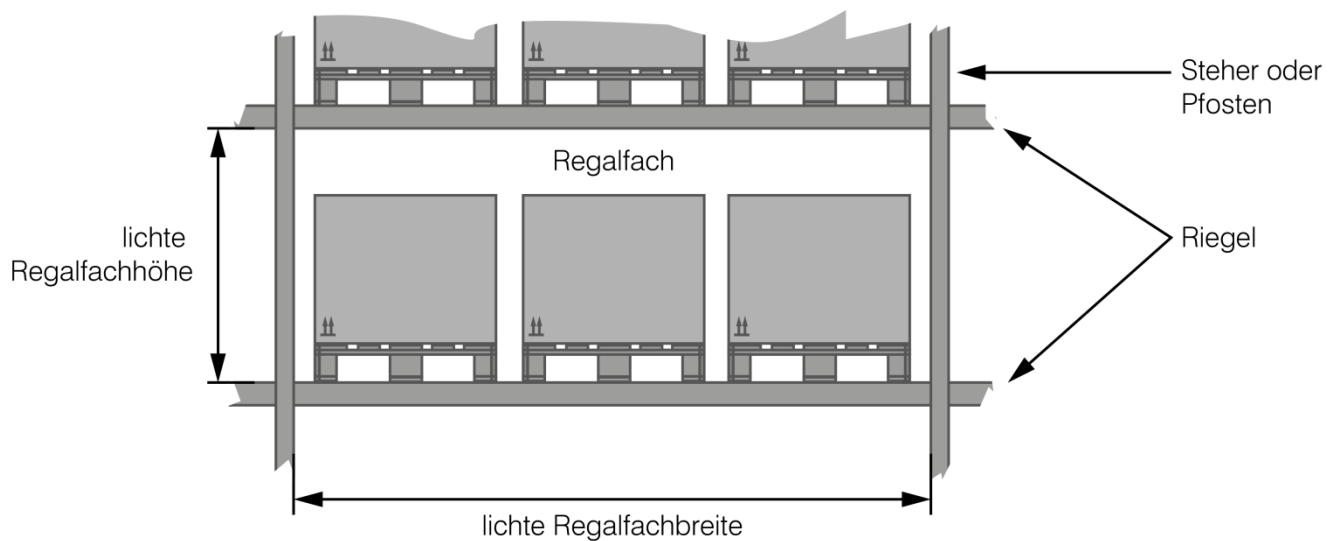


Abb. 17: Benennung von Steher (Pfosten) und Riegel und der lichten Regalfachgröße

Eine Neuerung aus letzter Zeit sind Hochregallager, die im Wesentlichen aus dem Baustoff Holz errichtet sind. Solche eignen sich besonders für die Lagerung korrosiver Stoffe wie etwa Salze, bieten sich aber auch für ökologisches Bauen oder Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen an. Der vorbeugende Brandschutz in solchen Lagern aus Holz kann andere Anforderungen mit sich bringen als dies bei Lagern in herkömmlicher Stahlbauweise der Fall ist, da hier die Regalkonstruktion selbst schon eine enorme und in jedem Fall zu berücksichtigende Brandlast darstellt.

In den Regelwerken /FEM 9.831/ und /FEM 9.832/ sowie diversen DIN-Normen werden die Anforderungs- und Berechnungsgrundlagen für Hochregallager und Regalbediengeräte beschrieben. Auch die Fertigungstoleranzen und Verformungen des Lagers bei unterschiedlichen Auslastungen spielen eine große Rolle für den störungsfreien Betrieb. Zwischen den Regalen befinden sich Gassen, in denen sich die Regalbediengeräte bewegen können. Je nach Automatisierungsgrad der Hochregallager gibt es unterschiedlichste Arten von Regalbediengeräten. Bei personenbesetzten Regalbediengeräten kann zwischen Man-Up- und Man-Down-Systemen, bei denen das Personal entweder in einem Fahrkorb mit zur Ware hochfährt oder das Gerät vom Boden aus bedient, unterschieden werden.

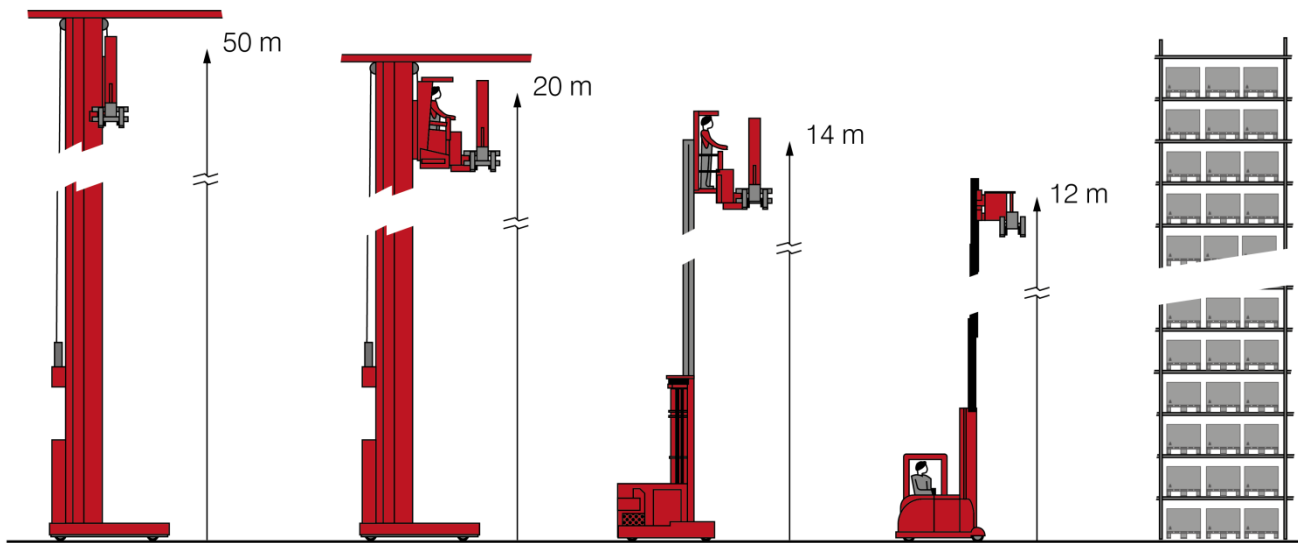


Abb. 18: Übliche max. Arbeitshöhen für vollautomatische Systeme, Man-Up-Systeme mit oberer Führungsschiene, Man-Up-Systeme ohne obere Führungsschiene und Man-Down-Systeme (v.l.n.r.)

Bei den Man-Up-Systemen kann eine größere Höhe erreicht werden, wenn oberhalb des Regalbediengeräts eine Führungsschiene für Stabilität sorgt. Technisch können sich die Regalbediengeräte auch durch ihre Hubeinrichtung (Hydraulik oder Seilzug) und ihre Stromversorgung unterscheiden (Induktionsschiene, Stromschiene, Kabelnachlauf oder Batterie). Die Fahrgeschwindigkeiten der Regalbediengeräte in der Ebene betragen bis zu 160 m / min. Entlang der Hochachse ist eine Geschwindigkeit von 60 m / min üblich. Der Einsatz von Man-Up-Regalbediengeräten endet in der Regel bei 20 m, bei größeren Höhen wird üblicherweise auf automatische Regalbediengeräte zurückgegriffen. Technisch sind jedoch auch wesentlich größere Höhen im Man-Up-System möglich. Die Wahl der Systeme erfolgt in der Regel nach wirtschaftlichen Aspekten. Hierbei können unterschiedlichste Rahmenbedingungen wie Grundstückspreis und Grundsteuerhebesatz, verfügbare Fläche, erforderliche Bereitstellungsgeschwindigkeit, Zinskosten, finanzielle Situation des Unternehmens und Anschaffungskosten in der Entscheidung maßgebend sein.

4.1.2 Situation in Deutschland

Aus Sicht des Brandschutzes stellen Hochregallager eine Besonderheit dar: Ab einer Lagerguthöhe von 7,5 m ist laut /Erl MIndBauRL/ ein Löschangriff durch die Feuerwehr nicht mehr möglich [26]. Nach /MIndBauRL/ sind deshalb ab dieser Höhe selbsttätige Löschanlagen zu installieren. Ab einer Lagerguthöhe von 9 m, der für diese Ausarbeitung gewählten Definitionshöhe für Hochregallager, kann die /MIndBauRL/ überhaupt nicht mehr angewendet werden, da die Berechnungsgrundlage nach /DIN 18230-1/ bei 9 m endet. Ab dieser Höhe wird üblicherweise ein Brandschutzkonzept unter Be-

rücksichtigung der /VDI 3564:2011-01/, die sich, wie eingangs erwähnt, nur auf automatische Lager bezieht, erstellt. Einzelne Bundesländer weichen jedoch von den vorgeschlagenen Regelungen /MIndBauRL/ ab und definieren andere Lagerguthöhen in ihren Landes-Industriebaurichtlinien oder anderen Amtsblättern. In Hamburg beispielsweise ist herausgegeben, dass „*bei Lagerhallen mit Brandabschnitten bis zu 10 000 m² Größe, die nach den Vorschriften der Industriebaurichtlinie geplant und gebaut werden, (...) Regallager mit einer Lagerguthöhe von bis zu 12 m akzeptiert werden (können), wenn eine für die Gebäude- und Lagergutsituation zugelassene Sprinkleranlage eingebaut wird*“ [49].

Zurzeit liegt ein Novellierungsvorschlag für die /MIndBauRL/ vor, die eine Lagerguthöhe von über 9 m nicht grundsätzlich ausschließt. Stattdessen werden nicht näher beschriebene Maßnahmen als erforderlich angesehen, um den Anforderungen von Hochregallagern gerecht zu werden. Auch die Inhalte dieses Vorschlags sollen bewertet werden. [50]

Wesentliche Vorgaben der /VDI 3564:2011-01/ sind die brandschutztechnische Abtrennung von Lagerbereich ohne Personal von einem Bereich mit Wareneingangs- und Kommissionierungszone, in dem die Waren in das Hochregallager eingelagert oder auf unterschiedliche Lieferungen eingeteilt und auf den Versand vorbereitet werden. Die Abtrennung muss mit Wänden der Bauart Brandwand (Feuerwiderstandsdauer F 90 und erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung⁶) erfolgen. Öffnungen in diesen Wänden sind auf die erforderliche Anzahl und Größe zu beschränken und müssen mit abschließenden Bauteilen einer Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten verschlossen werden (z.B. T 90-Türen oder K 90-Klappen). Mediendurchführungen sind entsprechend abzuschotten. Außerdem schreibt die /VDI 3564:2011-01/ die Einrichtung einer wirksamen Sprinkleranlage vor. Eine Anwendung der /VDI 3564:2011-01/ wird für die hier betrachteten Hochregallager, bei denen ständig Personen anwesend sind, wie eingangs erwähnt, ausgeschlossen.

Im Bundesland Hessen gibt es eine Empfehlung des Landesfeuerwehrverbandes zur Errichtung von Hochregallagern, die der Definition dieser Arbeit entsprechen. In dieser Empfehlung werden bauliche Anforderungen beschrieben, die unter Beachtung der /VDI 3564:2011-01/ zusätzlich nötig sind, um den besonderen Anforderungen gerecht zu werden. Diese Empfehlung findet in Hessen häufig Anwendung und wird von den Baubehörden als Grundlage zur Bewertung herangezogen.

⁶ Ein besonderer Widerstand gegen mechanische Beanspruchung ist dann gewährleistet, wenn der Raumabschluss im Sinne der /DIN 4102-2/ bei der Brandprüfung trotz dreimaliger Stoßbeanspruchung von 3 000 N m erhalten bleibt, nach /DIN EN 13501-2/ wäre dies eine REI 90-M-Wand.

Für die Bewertung von Hochregallagern müssen zudem Arbeitsstättenverordnungen und Arbeitsschutzrichtlinien der jeweiligen Länder Berücksichtigung finden. Aus Ihnen können sich unter anderem Anforderungen an die Rettungswege ergeben.

4.1.3 Österreich

Im Jahr 2007 wurde vom österreichischen Institut für Bautechnik Richtlinien herausgegeben, die ähnlich wie die Muster-Verordnungen der /ARGEBAU/ für Deutschland, einheitliche Regelungen des Bauwesens für Österreich ermöglichen sollen. Auch in Österreich ist es Angelegenheit der Bundesländer die Vorgaben der OIB-Richtlinie zu übernehmen oder anzupassen. Eine Verbindlichkeit zur Umsetzung der OIB-Richtlinien gibt es für die Bundesländer nicht. Da die meisten Landesregierungen Österreichs übereingekommen sind, Belange des Baurechts zu vereinheitlichen, sind die OIB-Richtlinien in vielen Bundesländern in das Landesrecht übernommen worden. Für den Brandschutz in Hochregallagern relevant sind die Richtlinien /OIB-RL 2/ „Brandschutz“ [51] und /OIB-RL 2.1/ „Brandschutz bei Betriebsbauten“ [52]. Zudem gibt es eine technische Richtlinie /TRVB N 142/ „Brandschutz in Lagern“ [53] des österreichischen Bundesfeuerwehrverbands. Diese befindet sich zur Zeit in Überarbeitung und Anpassung an die OIB-Richtlinien und die österreichische Version der /DIN EN 13501/. Sie ist deshalb zurückgezogen. Da zur Ausarbeitung der vorliegenden Abschlussarbeit leider kein Entwurf einer neuen Ausführung der Richtlinie vorliegt, sollen die Vorgaben der /TRVB N 142/ und der OIB-Richtlinien vergleichend bewertet werden. Weitere technische Regeln, die zur Bewertung von Hochregallagern Betrachtung finden müssen, sind die /TRVB 125 S/ „Rauch- und Wärmeabzugsanlagen“ und die /TRVB 127 S/ „Sprinkleranlagen“.

Die /OIB-RL 2/ legt ähnlich der /MBO/ grundlegende Anforderungen an bauliche Einrichtungen fest und definiert, welcher Schutz gewährleistet werden soll. Die /OIB-RL 2.1/ präzisiert die Anforderungen für Betriebsbauten und behandelt auch Lagerbereiche. Wichtige Punkte sind die Bestimmung der Fluchtweglängen, der Baustoffe und der brandschutztechnischen Ausstattung wie Sprinkleranlage oder Rauchabzug. Die Fluchtwege sind zunächst auf 40 m begrenzt, können aber unter Auflagen auf bis zu 70 m verlängert werden, wenn keine weitere Gefährdung als durch Brandeinwirkung vorliegt und keine Bedenken wegen der Einhaltung der Schutzziele bestehen. Die Anforderungen an Außenwandbekleidungen werden in Abhängigkeit der Gebäudehöhe und der Geschosshöhe gestellt. Die diese und anderen Anforderungen der /OIB-RL 2.1/ werden unter Punkt 5 dieser Ausarbeitung verglichen. Hervorzuheben ist, dass die Tabelle 3 „Lagerabschnittsflächen /OIB-RL 2.1/ bei Lagerguthöhen von 9 m und Lagerabschnittsflächen von 6 000 m² endet [52].

Auch die /TRVB N 142/ stellt Anforderungen an Lager und nennt besondere Anforderungen für Hochregallager. Hochregallager sind nach /TRVB N 142/ alle Lager über 9 m Lagerguthöhe. Die maximale Fläche von Hochregallagern wird auf 6 000m² begrenzt. Die Fluchtweglänge wird auch hier auf 40 m bis in einen gesicherten Bereich begrenzt, wobei für vertikale Fluchtabschnitte wie Leitern die doppelte Höhe als Fluchtweglänge gezählt wird, sofern keine automatische Brandmeldeanlage vorhanden ist. Als gesicherte Bereiche gelten Bereiche mit geringer Brandlast, die mit mindestens F 60-Wänden und T 30-Türen abgeschottet sind. [53]

4.1.4 Schweiz

In der Schweiz werden die Brandschutzanforderungen an Hochregallager durch die Kantonale Feuerpolizei festgelegt [54]. Zudem gibt es eine umfangreiche Richtlinie des schweizer Sicherheitsinstituts für Hochregallager. Auch die Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen gibt Brandschutzrichtlinien sowie die sogenannte /VKF Brandschutznorm/ [55] heraus. Diese Bestimmungen sind laut GVZ-Merkblatt einzuhalten. Aus dem Merkblatt der GVZ ist Folgendes zu entnehmen: Im Kanton Zürich gelten diese Bestimmungen für alle Lager mit Lagerguthöhen ab 7,5 m unabhängig davon, ob die Regalierung ganz, in Teilen oder gar nicht an der Tragfähigkeit der Gebäudekonstruktion beteiligt ist. Die Brandabschnittsbildung erfolgt in der Schweiz ebenfalls in F 90 mit erhöhter Standfestigkeit. Türen, Öffnungen für Förderanlagen und Ähnliches sind in T 30 auszuführen. Die Größe der Brandabschnitte hängt ausdrücklich von Brandschutzmaßnahmen, Brandgefahr und der Brandlast ab. [54]

Gefordert wird für alle Hochregallager eine automatische Löschanlage oder ein Schutz durch sauerstoffreduzierende Anlagen. Bei vorwiegend nicht brennbarem Lagergut und auf nicht brennbaren Ladeträgern (Paletten, Umhüllung, Behälter usw.) kann im Einvernehmen mit der Kantonalen Feuerpolizei auf die Installation einer automatischen Löschanlage verzichtet werden. Dies gilt auch für Hochregallager mit geringer Brandlast, geringer Lagerhöhe und kleinen Brandabschnittsflächen [54]. Einzelheiten zur Sprinkleranlage finden sich in der /VKF Sprinkleranlagen/.

Aus jedem Raum des Hochregallagers müssen baulich sichergestellte Rettungswege ins Freie, einen Treppenraum oder einen anderen Brandabschnitt führen. Die Fluchtweglänge darf 35 m nicht überschreiten, wenn zwei Fluchtwege zur Verfügung stehen. Sie sind so anzuordnen, dass sich zwei entgegengesetzte Fluchtrichtungen ergeben. In Räumen mit nur einem Ausgang muss innerhalb von maximal 20 m eine Tür ins Freie, einen Treppenraum oder in einen anderen Brandabschnitt erreicht werden können. Führen Rettungswege nicht direkt ins Freie oder einen Treppenraum, so ist dazwi-

schen ein Korridor⁷ einzurichten. Ausgänge sind mit sicherheitsbeleuchteten Rettungszeichen zu kennzeichnen und Türen im Verlauf von Rettungswegen müssen mindestens 90 cm breit sein. Sie müssen in Fluchtrichtung geöffnet werden können. Außerdem ist ein gesicherter Zugang für die Rettungskräfte einzurichten und die Regalgassen haben zugänglich zu sein. [54]

Hochregallager mit großer Grundfläche, geringer Personalbelegung und gesichertem Einsatzweg der Feuerwehr lassen eine geringere Anzahl an Treppenanlagen und größere Fluchtwegdistanzen zu, sofern die Kantonale Feuerpolizei zustimmt.

Es sind natürliche Rauch- und Wärmeabzugsanlagen herzustellen, die im Brandfall automatisch durch eine Brandmeldeanlage oder durch die Auslösung einer Sprinkleranlage aktiviert werden. Zudem sind sie von sicherer Stelle aus von Hand in Betrieb zu setzen. Die /VKF RWA/ fordert eine natürliche Rauch- und Wärmeabzugsanlage von mindestens 2 % der Grundfläche als Öffnungen. Anstelle von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen reichen Entrauchungsöffnungen aus, wenn deren freie geometrische Öffnungsfläche mindestens 1 % der Grundfläche des Brandabschnitts beträgt und geeignet ausgebaute Feuerwehruzugänge vorhanden sind, die den Einsatz mobiler Überdrucklüfter der Feuerwehr ermöglichen. Eine behördliche Abstimmung hierzu hat zu erfolgen. [55]

Werden gefährliche Stoffe gelagert, sind besondere Schutzmaßnahmen zu treffen. Betriebliche Brandschutzmaßnahmen und geeignete Vorkehrungen bei feuergefährlichen Arbeiten sollen das Brandentstehungsrisiko reduzieren. Besonders hervorzuheben ist, dass Ladestationen für Gabelstapler und Folieneinschweißgeräte zum Aufschrupfen von Verpackungsfolie weder im Hochregallager selbst, noch in den Kommissionierungszonen betrieben werden dürfen. Solche Geräte müssen sich in Brandabschnitten befinden, die weder Hochregallager noch Kommissionierungszone sind [54]. Dies ist vermutlich in der Konsequenz aus einem verheerenden Schadenfeuer in einem Hochregallager für Papiererzeugnisse und der häufigen Brandursache im Bereich von Akkuladestationen beschlossen worden,

s. Abschnitt 4.2 „Ausgewählte Beispiele für Brände in Hochregallagern“.

Das Blatt /1681-00.d/ des schweizer Sicherheitsinstituts stellt ähnliche Anforderungen an den vorbeugenden Brandschutz in Hochregallagern wie die /VDI 3564:2011-01/. Es umfasst alle Lager ab einer Lagergutoberkantenhöhe von 7,5 m und alle dem Lagerbetrieb zugehörigen Bereiche. Eingangs wird herausgestellt, dass für Hochregallager ohne besonderen Schutz eine erfolgreiche Brandbekämpfung

⁷ Die Anforderungen an einen Korridor entspricht in etwa den Anforderungen an einen notwendigen Flur nach /MBO/.

„verunmöglicht“ ist, und die „mobile Intervention“, gemeint also die Löscharbeiten der Feuerwehr, durch die große Höhe, die schlechte Zugänglichkeit, die Verqualmung und das Unfallrisiko stark erschwert ist. Mit entsprechend langen Einsatzdauern bis zum Löscherfolg und dem Totalverlust des Hochregallagers und gegebenenfalls angeschlossener Gebäude ist zu rechnen [58]. Das Sicherheitsblatt ermöglicht es, ein gutes Schutzniveau für viele Hochregallager zu erreichen, dennoch steht es stellenweise im Konflikt mit den Anforderungen des GVZ-Blattes der Kantonalen Feuerpolizei für Hochregallager. Laut Sicherheitsinstitut sind beispielsweise bis zu 50 m Fluchtweglänge möglich, da davon ausgegangen wird, dass sich nur wenige Personen im Hochregallager aufhalten, laut GVZ-Merkblatt nur 35 m. Aus diesem Grund kann es nicht als ausreichend zum Schutz von Hochregallagern mit ständiger Anwesenheit von Personen angesehen werden. Sehr interessant ist jedoch die Forderung nach einer oder mehreren sogenannten „Sicherheitspaletten“, begehbaren Plattformen mit Sicherheits- und Löscheinrichtungen, die geeignet sind, zwei ausgerüstete Feuerwehrleute per Regalbediengerät anzuheben und zu transportieren. Eine solche Einrichtung ermöglicht es den Einsatzkräften, sofern die Gefahrenlage es zulässt, bis an den Brandort zu gelangen, „Feuer aus“ festzustellen oder gegebenenfalls letzte Glutnester abzulöschen.

4.2 Ausgewählte Beispiele für Brände in Hochregallagern

4.2.1 „50 Menschen wegen brennender Gummistiefel in Krankenhaus“

Am Donnerstagabend des 12.01.2012 bricht im Hochregallager eines Landmaschinenhandels in Heerslingen (Landkreis Rotenburg, Niedersachsen) ein Feuer aus. Bei Eintreffen der durch die automatische Brandmeldeanlage alarmierten Feuerwehr ist der Brand bereits durch die Sprinkleranlage unter Kontrolle gebracht. 50 Mitarbeiter des Betriebes müssen mit Symptomen von Rauchgasvergiftung in die umliegenden Krankenhäuser verbracht werden. Für Feuerwehr und Rettungsdienst bedeutet dies ein Großeinsatz, im Rahmen dessen drei Notärzte, vier Schnelleinsatzgruppen und 18 Rettungs- und 17 Krankentransportwagen zum Einsatz kommen.

Wie sich herausstellt, hat eine Lagereinheit mit Gummistiefeln und Arbeitsbekleidung gebrannt. Mitarbeiter hatten versucht das Feuer mit den vorhandenen Löschgeräten unter Kontrolle zu bringen, mussten die Löschversuche jedoch in Folge der starken Rauchentwicklung abbrechen. Ein Sprecher der Polizei wird mit den Worten *„Es hat nicht furchtbar gebrannt, aber furchtbar geraucht!“* zitiert. Mindestens sieben der eingelieferten Mitarbeiter wurden stationär in die Kliniken aufgenommen. Der materielle Schaden wird in Schätzungen mit ca. 200 000 Euro beziffert.

In der Folgeweche brennt es erneut im Hochregallager des Betriebes, 16 Personen werden verletzt.

Die Polizei geht in beiden Fällen von Brandstiftung aus. (Quellen: [58], [60], [61], [61], [63], [64])

4.2.2 Feuer in Hochregallagern nach Schweißarbeiten

In Gütersloh kommt es am 26.04.2012 zu einem Brandausbruch. Mitarbeiter melden der Feuerwehr eine Rauchentwicklung in einem als Frischelager genutzten Hochregallager. Mehrere Löschzüge der Feuerwehr sowie eine Schnelleinsatzgruppe der Malteser werden alarmiert. Nach ca. 1:30 h kann „Feuer aus“ gemeldet werden. Das vermutlich durch Schweißarbeiten ausgelöste Feuer verursacht einen Schaden in Höhe von mehreren hunderttausend Euro. Vier Mitarbeiter der Firma werden mit Verdacht auf Rauchgasvergiftung in ein Krankenhaus gebracht und ambulant behandelt. (Quellen: [65], [66])

Am 02.11.2009 kommt es im Hochregallager einer Firma für Verpackungen in Waldneukirchen (Österreich) zu einem Feuer, auslösend sind auch hier Schweißarbeiten. Mit Hilfe von Feuerlöschern und der ausgelösten Sprinkleranlage können die Mitarbeiter das Feuer bis zum Eintreffen der Feuerwehr auf zwei Paletten begrenzen. Unter schwerem Atemschutz werden die Paletten abgelöscht und aus dem Hochregallager entfernt. Zum Einsatz kamen Kräfte aus drei Feuerwehren. (Quelle: [67])

4.2.3 Brand im Hochregallager der Neusiedler AG

Am 24.05.2001 kommt es zu einem großen Schadenfeuer im Hochregallager der Papierfabrik Neusiedler AG in Österreich. Das vollautomatische Hochregallager, dass erst im April 1999 eingeweiht wurde, enthält ca. 18 000 Paletten mit ca. 8 500 Tonnen fertigen Papiererzeugnissen. Bei Eintreffen der Einsatzkräfte steht das Hochregallager bereits in Vollbrand, Teile des Daches stürzen ein. Am ersten Tag kommen 210 Feuerwehrleute mit 39 Großfahrzeugen aus 20 Feuerwehren zum Einsatz, die neben dem Hydrantennetz des Werksgeländes und dem öffentlichen Hydrantennetz auch eine Wasserversorgung mit zwei B-Leitungen und zwei Pumpen aus einem 420 m entfernten Fluss aufbauen. Aufgrund der Brandintensität liegt das Hauptaugenmerk der Feuerwehr darauf, das direkt angrenzende Bürogebäude vor dem Übergreifen der Flammen zu schützen. Die Löscharbeiten ziehen sich über drei Wochen hin, insgesamt kommen ca. 1 250 Feuerwehrmänner und -frauen zum Einsatz, die in Schichten die Brandbekämpfung durchführen. Im Laufe des Einsatzes werden ca. 27 000 m³ Löschwasser verbraucht, der Schaden wird auf 36,3 Mio. Euro beziffert.

Wie sich herausstellt, verfügte das Hochregallager weder über eine automatische Brandmelde-, noch

eine Sprinkleranlage⁸. Lediglich eine manuelle Brandmeldeanlage mit Handtastern zur Auslösung war installiert. Als Brandausbruchsstelle wurde ein Folienschweißgerät identifiziert, an dessen bis zu 230 °C heißen Geräteteilen sich herabgefallene Papierstücke entzündet hatten. Anschließend wurde die brennende Verpackungseinheit vom automatischen Regalbediengerät durch das Lager transportiert. Der Brand konnte sich unentdeckt ausbreiten bis schließlich die Flammen die Dachhaut durchbrachen und Anwohner das Feuer bemerkten. Die vorhandene 45 Mann starke Werkfeuerwehr konnte zu diesem Zeitpunkt nur noch wenig gegen das Feuer ausrichten.

Besondere Schwierigkeit bestand für die Feuerwehr darin, dass die Umfassungswände aus Blech nach dem Einsturz der Halle das Brandgut bedeckten und das Löschwasser dieses so nicht durchdringen konnte. Außerdem neigte sich eine Feuermauer durch die Belastung aus Hitze und Trümmerlast um 70 cm zur Seite und drohte einzustürzen. (Quellen: [68], [69], [70], [71])

4.2.4 THW-Helfer stirbt beim Einsturz eines Hochregallagers

Am 16.01.2008 kommt es in der Nähe von Halle zu einem tragischen Unfall, bei dem ein Angestellter eines Papiergroßhandels und ein ehrenamtlicher Helfer der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk zu Tode kommen.

Gegen 14:30 Uhr begehen drei Mitarbeiter des Unternehmens und zwei Helfer des THW ein Hochregallager für Papier, nachdem das Regal am Vortag durch einen Gabelstapler beschädigt wurde. Noch während der Lageerkundung versagt die Statik des beschädigten Regals und stürzt zusammen. Insgesamt mehrere tausend Tonnen Papier der 70 m langen und 13 m hohen Anlage stürzen „domino-artig“ zu Boden. Drei Personen können zum Teil schwer verletzt gerettet werden. Für einen THW-Helfer und einen Mitarbeiter kommt jedoch jede Hilfe zu spät, erst an den Folgetagen können sie von den bis zu 200 Einsatzkräften nur noch tot geborgen werden. (Quellen: [72], [73], [74])

4.2.5 Brand in Hochregallager in Berlin kostet zwei Feuerwehrangehörige das Leben

In Berlin-Neukölln kommt es am 18.03.1991 zu einem Feuer in einer Hochregalanlage in Silo-Bauweise, in dessen Verlauf zwei Angehörige der Berliner Feuerwehr ums Leben kommen.

⁸ Eine Vielzahl von Quellen, so auch die benannten am Ende des Absatzes, besagt einhellig, dass keine automatische Sprinkleranlage vorhanden war. Eine einzelne Quelle, die Homepage eines Gutachter- und Ingenieurbüros, dessen Relation zu diesem Hochregallager nicht nachvollzogen werden konnte, besagt jedoch, dass eine vollautomatische Sprinkleranlage vorhanden war. [75]

Um 01:27 Uhr gehen die ersten Anrufe bei der Leitstelle der Berliner Feuerwehr ein. Zu diesem Zeitpunkt hat das Feuer bereits die Dachhaut des 15 m hohen und 5 000 m² großen Hochregallagers durchbrochen. In der Halle befinden sich ca. 15 000 Paletten, auf denen Kakaopulver, Videokassetten und Alkohol gelagert werden. Der Zugführer des ersteintreffenden Löschzugs erhöht das Alarmstichwort zunächst auf zweiten, kurz darauf auf dritten Alarm. Der Brand in der Halle wird von mehreren Seiten, unter anderem von Drehleitern aus bekämpft und die Wasserversorgung im Einsatzverlauf durch ein Löschboot sichergestellt. In den frühen Morgenstunden scheint das Feuer unter Kontrolle zu sein und für Nachlöschen- und Aufräumarbeiten wird die Halle betreten. Um 04:08 Uhr wird das Stichwort „Einsatzstelle unter Kontrolle“ ausgegeben. Nach Angaben der Nachrichten des SFB wird hierzu auch die automatische Sprinkleranlage abgeschaltet.

Gegen 6:25 Uhr flammt der Brand erneut stark auf. Es wird vermutet, dass sich die Polystyrol-Dämmung des Gebäudes neu entzündet hat und brennend abgetropft ist. Im Inneren der Halle eingesetzte Kräfte verlassen diese sofort. Auch von einer Verpuffung ist in den Medien die Rede. Die Umfassungswände des Hochregallagers brechen dabei nach außen weg und begraben ein Löschfahrzeug und eine Drehleiter, deren ausgefahrener Leiterpark umgestoßen wird. Die im in ca. 16 m Höhe befindlichen Korb der Drehleiter stehenden Feuerwehrleute werden herausgeschleudert und erleiden tödliche Verletzungen. Ein weiterer Feuerwehrangehöriger wird beim Einsturz der Halle schwer verletzt.

Im weiteren Verlauf des Einsatzes wird die Alarmstufe auf 10. Alarm erhöht. Es kommen insgesamt ca. 200 Feuerwehrleute und 60 Fahrzeuge zum Einsatz. Obwohl das Feuer mit einer Förderleistung von 20 000 l Wasser pro Minute bekämpft wird, kann erst nach drei Tagen erneut ein Beherrschen der Lage gemeldet werden. Die Nachlöscharbeiten ziehen sich bis zum 28.03.1991 hin. Mindestens eins der zwei angeschlossenen Gebäude der Speditionsfirma brennt ebenso nieder⁹. Das Feuer hat nach Schätzungen einen materiellen Schaden von ca. 30 Mio. DM angerichtet. (Quellen: [76], [77], [78])

4.3 Risikoanalyse

Die /DIN 31000/ enthält allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse. In ihr werden Begriffe definiert, die für die Risikoanalyse zunächst erläutert werden sollen. Bei dem Begriff „Risiko“ handelt es sich um eine Aussage über das Produkt der aus Wahrscheinlichkeit eines bestimmten technischen Vorgangs oder Zustands, die beschreibt, wie hoch die zu erwarten-

⁹ Diesbezüglich weichen die Textteile und Bilder der vorliegenden Quellen voneinander ab. Gesichert ist die Information, dass eine angeschlossene Halle abbrennt. In welchem Ausmaß das zweite angeschlossene Gebäude betroffen ist, wurde im Rahmen der Ausarbeitung nicht geklärt.

de Häufigkeit eines zu einem Schaden führenden Ereignisses ist und aus dem beim Schadeneintritt zu erwartenden Schadenmaß. Ein Schaden besteht dann, wenn ein Nachteil aufgrund der Verletzung eines Rechtsguts durch einen technischen Vorgang oder Zustand hervorgerufen wird. [79]

Das Grenzzisiko ist die Festlegung des größten noch vertretbaren Risikos. Es handelt sich dabei nicht um einen exakten Zahlenwert, sondern vielmehr um eine qualitative Festlegung, ausgehend von sicherheitstechnischen Fragestellungen. Es stellt die Grenze zwischen den Zuständen von Gefahr und Sicherheit dar. So ist Gefahr der Zustand, bei dem das Risiko oberhalb des Grenzzisikos liegt. Im Umkehrschluss ist Sicherheit damit jener Zustand, bei dem das Risiko kleiner als das Grenzzisiko ist. Als Schutz sind jene Maßnahmen definiert, die das Ausmaß des möglichen Schadens begrenzen, die Häufigkeit des Schadeneintritts reduzieren oder beides gemeinsam bewirken [79]. Für das Erkennen der Gefahr und die Beschreibung des Grenzzisikos ist es erforderlich zu wissen, was es zu schützen gilt. Hierbei kann zunächst die Schutzzieldefinition nach /MBO/ helfen, die wesentlichen zu schützenden Güter müssen jedoch genauer definiert werden.

Ein absoluter Schutz, also das Minimieren von Risiko oder Gefahr auf den Faktor 0, ist nicht möglich. Auch bei größten Anstrengungen verbleibt immer die Möglichkeit eines Schadeneintritts. Umgangssprachlich wird diese verbleibende Möglichkeit des Schadeneintritts als Restrisiko bezeichnet. Obwohl dieser Begriff nicht normativ erfasst ist, besitzt er eine feste Verankerung im Wortschatz der Bevölkerung. Der Duden beschreibt das Restrisiko als „*verbleibendes Risiko, das nicht ausgeschaltet werden kann*“ [80].

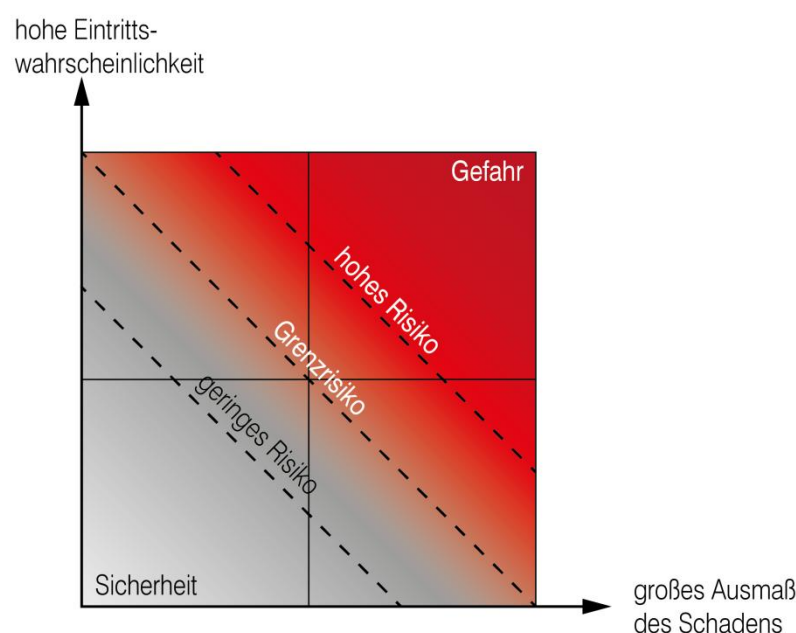


Abb. 19: Risikomatrix in Anlehnung an [81]

Als höchstes Schutzgut im vorbeugenden Brandschutz wird das Leben angesehen. Die Risikoanalyse muss dementsprechend das bestehende Risiko für Menschen in Hochregallagern aufzeigen. Wirksame Maßnahmen und Einrichtungen zum Schutz des anwesenden Personenkreises müssen in einem Brandschutzkonzept genannt und baulich umgesetzt werden. Als zweitrangiges Schutzgut sind Sachwerte anzusehen. Durch die hohe Konzentration von Gütern auf geringem Raum und damit einer möglicherweise hohen Konzentration von Sachwerten, ist auch diesem Schutzgut eine hohe Bedeutung zuzumessen. Ebenfalls spielen die Risiken für den Betriebsablauf mit in diese Kategorie von Schutzgut ein, da Betriebsunterbrechungen und Lieferschwierigkeiten, wie eingangs beschrieben, zu großen finanziellen Ausfällen für die betroffenen Betriebe führen können. Entsprechend muss diese Gefahr bewertet und auf ein verträgliches Maß minimiert werden. Für beide Schutzziele ist auch die Wirksamkeit der Maßnahmen der Feuerwehr entscheidend. Sie werden durch bauliche, organisatorische und anlagentechnische Maßnahmen flankiert und können selbst als Schutzgut angesehen werden. Ebenso ist der Schutz von Natur und Umwelt im vergangenen Jahrhundert mehr und mehr ins Bewusstsein der Menschen gerückt. Auch solche Belange müssen Berücksichtigung finden.

Von dem Schutz von Menschenleben, dem in den westlich industrialisierten Kulturen grundsätzlich eine sehr hohe Bedeutung zugemessen wird, können die Anforderungen an das erforderliche Schutzniveau aus Gesetzen, Erlassen und Verordnungen abgeleitet werden. Dies schließt auch den Schutz der Einsatzkräfte mit ein.

Anders ist dies beim Schutz von Sachwerten. Bei Schutzgütern denen ein finanzieller Wert zuzumessen ist und Maßnahmen zu dessen Schutz, die mit Kosten verbunden sind, ist abzuwägen, in wieweit der Schutz wirtschaftlich ist. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten zum Schutz nicht linear mit dem erreichten Schutzniveau ansteigen. Vielmehr ist ein exponentieller Anstieg der Kosten zu erwarten, weshalb es erforderlich ist, das geforderte Schutzniveau in Abhängigkeit zu den zu schützenden Werten zu setzen. Ein Schutzniveau oberhalb der gesetzlichen Mindestanforderungen kann wirtschaftlich sehr sinnvoll sein. Hierzu sind betriebswirtschaftliche Überlegungen erforderlich, die im Industriebau oftmals mit den Sachschadenversicherern abgesprochen werden.

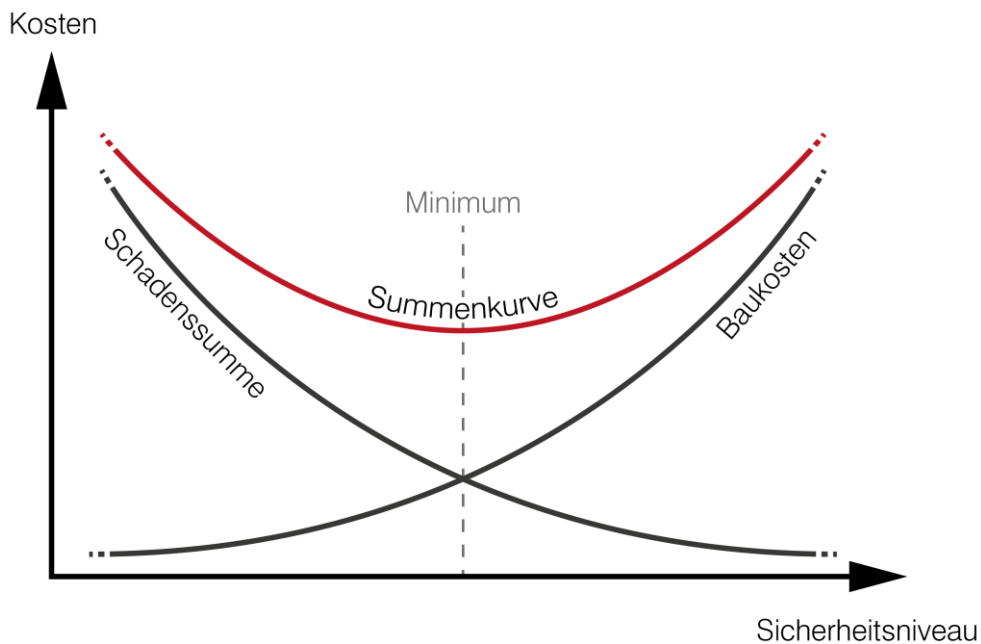


Abb. 20: Schematische Darstellung¹⁰ der zu erwartenden Kosten

Wie eingangs festgestellt, hängt die Brandintensität im Wesentlichen vom Material des Lagerguts, der Verpackung, des Ladungsträgers und von der Ventilation ab. Charakteristisch für alle Lager ist eine hohe Verdichtung der Brandlast auf geringer Fläche, sofern es sich um brennbares Lagergut handelt. Aufgrund der Höhe von Hochregallagern und der resultierenden Stapelung der Brandlast ergeben sich hieraus enorme Werte, gemessen an der Grundfläche. Die Brandbelastung entspricht der möglichen Wärmemenge, die die gelagerten brennbaren Stoffe bei vollständiger Verbrennung freisetzen können je m^2 Lagergrundfläche. Man spricht von der spezifischen Brandlast. Diese ist für Hochregallager in der Regel sehr hoch, unterliegt aber starken Schwankungen.

Diese Schwankungen der Brandlast sollen anhand zweier fiktiver Beispiele verdeutlicht werden. Legt man die Zahlen des Anhangs E der /DIN EN 1991-1-2/ zugrunde, ergibt sich für eine Palette mit 800 kg Papiererzeugnissen (ca. 20 kg Holz je 17,5 MJ / kg für den Ladungsträger und 800 kg Papier zu je 20 MJ / kg) eine Netto-Wärmefreisetzung von 16 350 MJ je Ladungseinheit. Für ein Hochregallager mit 6 000 m^2 Grundfläche und 30 000 Paletteneinstellplätzen ergibt das eine spezifische Brandlast von 81 GJ / m^2 . Reduziert man die Grundfläche des Hochregallagers um 30 % auf 4 000 m^2 , behält aber die Zahl der Paletteneinstellplätze konstant indem die Lagerguthöhe erhöht wird, ergibt sich eine spezifische Brandlast von 122 GJ / m^2 .

¹⁰ Die Abbildung Abb. 20 findet sich in ähnlicher Form in einer Vielzahl von Ausarbeitungen wieder, eine Primärquelle konnte jedoch nicht festgestellt werden. Aufgrund der häufigen Verwendung wird die Abbildung als Allgemeingut angesehen und ohne Nennung einer Quelle verwendet.

In einem zweiten Beispiel soll eine Lagerung von Kohlenwasserstoff-Kunststoffen angenommen werden. Bei einer Lagerung von 500 kg Polyethylen (40 MJ / kg) auf einem nicht brennbaren Ladungsträger ergibt sich eine Brandlast von 12 000 MJ je Ladungseinheit. In einem herkömmlichen Lager mit geringer Höhe, 40 000 Paletteneinstellplätzen und einer Grundfläche von 10 000 m² ergibt dieses eine spezifische Brandlast von 48 GJ / m². Überträgt man diese Rahmendaten auf ein Hochregallager mit lediglich 3 000 m² Grundfläche, ergibt sich eine spezifische Brandlast von 160 GJ / m². Entsprechend ist mit einer sehr großen Wärmefreisetzung im Brandfall zu rechnen.

Das Verhalten von Rauch und Feuer in großen Räumen ist nicht mit dem in kleinen Versuchsbrennkammern zu vergleichen. Echtbrandversuche in Originalgröße (engl.: full-scale tests) haben gezeigt, dass das Brandverhalten von Hochregallagern eine sehr eigene Charakteristik hat. Veröffentlichungen der Dokumentation solcher Brandversuche in Schriftform oder in Form von Videos lassen gute Rückschlüsse über Brand und Rauchverhalten in Hochregallagern zu.

Aus Sicht des Brandschutzes stellt die gestapelte Lagerung ein großes (aber notwendiges) Übel dar. Durch den thermischen Auftrieb steigen die Flammen mit dem Rauch auf und durchdringen das oberhalb liegende brennbare Lagergut durch die Lücken zwischen den Regalen und den einzelnen Paletten. Die Flammen finden so immer neue „Nahrung“ an den frei liegenden Oberflächen. Die entstehende Hitzestrahlung wird in kurzer Distanz durch das nächste brennbare Objekt, unabhängig ob über, neben oder unter dem Brandherd, absorbiert. Es kommt zur erneuten Zündung, sobald die Temperatur ausreichend angestiegen ist. Auch eine nach unten gerichtete Brandausbreitung ist aufgrund von herabfallender Glut oder brennend abtropfenden Brandguts möglich. Im unteren und seitlichen Bereich des Brandherds ermöglichen die Lücken einen ausreichenden Nachschub an Frischluft. [82], [83]

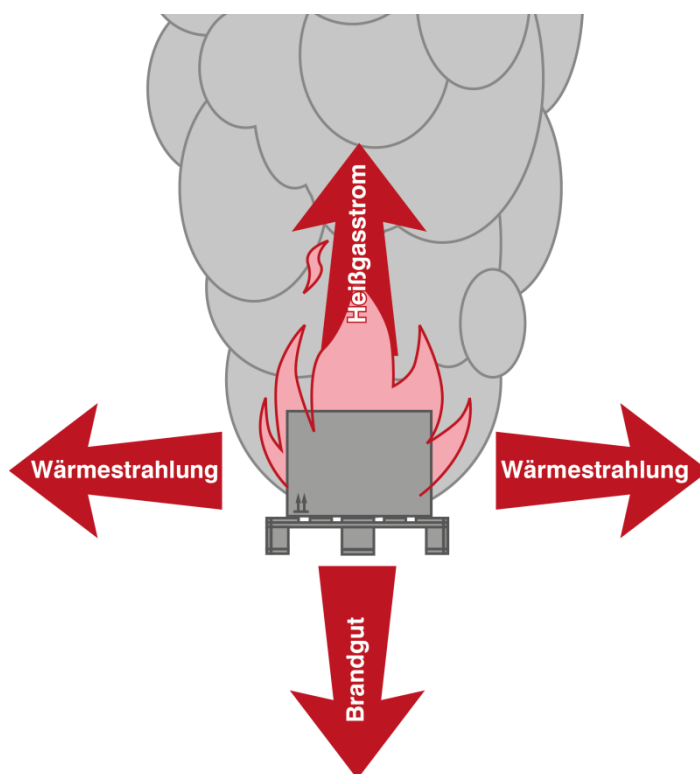


Abb. 21: Brandausbreitung im Regallager in alle Richtungen

Das Resultat ist eine rasante Brandausbreitung in jede Richtung und damit die große Gefahr eines sehr intensiven Feuers. Die Hauptausbreitungsrichtung ist aufgrund des Kamineffekts nach oben gerichtet. Der Kamineffekt beruht auf der geringen Dichte der heißen Brandgase gegenüber der umgebenden Luft. Durch den entstehenden Auftrieb bekommt der Heißgasstrom seine Richtung. Auch die Ausbreitung auf andere Gebäude und Gebäudeteile kann durch die Bauweise von Hochregallagern, nicht zu letzt durch die zu erwartende enorme Flammenhöhe [84], befördert werden. Bestehen die Regale selbst aus einem brennbaren Material, so stellen diese schon einen nicht zu vernachlässigenden Anteil der Brandlast dar, der bei der Kalkulation der Gesamtbrandlast, beispielsweise zur Bemessung einer Sprinkleranlage, mit zu berücksichtigen ist.

Das Risiko durch den entstehenden Rauch ist differenziert zu betrachten. Grundsätzlich ist zunächst davon auszugehen, dass sich das zum Betrieb des Hochregallagers erforderliche Personal im vollen Besitz seiner Sinne und kognitiven Fähigkeiten befindet und sich im Falle eines Brandes eigenständig, also ohne fremde Hilfe, in Sicherheit begeben kann, sobald die Gefahr entdeckt wurde. Demgegenüber steht die Gefahr der Behinderung durch die zu erwartende rapide Brandausbreitung, mit der in Abhängigkeit von dem Material eine starke Rauchentwicklung einhergehen wird. Eine schädliche Rauchgaskonzentration kann sich schnell einstellen.

Gängige Regalbediengeräte erreichen im Man-Up-System üblicherweise eine Lagerguthöhe von ca. 20 m. Die Dauer von dieser Arbeitshöhe, in der sich Rauchgase schnell ansammeln können, auf Boden-Niveau zu gelangen, ist entscheidend für die Gefahr, der die Mitarbeiter im Brandfall ausgesetzt sind. Bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von ca. $v_{\text{vert.}} 1 \text{ m/s}$ entlang der Hochachse dauert der Abstieg 20 s. Fällt die Steuerung eines Regalbediengerätes aus oder wird es infolge eines Feueralarms abgeschaltet, besteht die Möglichkeit, es über eine Notleiter am Mast des Gerätes zu verlassen. Die Dauer zum Erreichen des Hallenbodens ist dann entsprechend höher. Zudem besteht in Hochregallagern nicht die Möglichkeit, die flüchtenden Personen durch die Ausbildung notwendiger Flure vor den Auswirkungen von Feuer und Rauch zu schützen.

Ein weiteres Risiko besteht in der Konstruktionsweise der Regale. Aus wirtschaftlichen Gründen sind die tragenden Teile dahingehend optimiert, dass sie sich im Gebrauch sehr nah an ihrer Auslastungsgrenze befinden. Dies hat zur Folge, dass das Tragwerk nur geringe Reserven für Zusatzbeanspruchung oder Teilversagen haben. Für die meisten Regale ist zu erwarten, dass der Ausfall eines tragenden Bauteils zum Zusammensturz des gesamten Regals führt. Der im Einsatzbericht Abschnitt 4.2.4 als Domino-Effekt bezeichnete Ablauf des Zusammensturzes führt in der Regel zum Versagen aller Regale, die nicht baulich durch ausreichend stabile Wände voneinander getrennt sind. Dabei löst das herabfallende Lagergut der ersten kollabierenden Regalreihe das Überlasten der benachbarten Reihen aus, die dadurch wiederum selbst zusammenbrechen und diesen Vorgang fortsetzen. Für diese Kettenreaktion genügt eine geringe mechanische Beanspruchung wie das Anfahren mit einem Flurförderfahrzeug oder das Verlieren der Festigkeit durch Wärmebeaufschlagung. Dies ist bei der Einstufung des Risikos zu berücksichtigen.

Die Gefahren für Einsatzkräfte sind in der DFV-Fachempfehlung Nr. 3 „*Einsatzstrategien für Feuerwehren in vollautomatischen Hochregallagern*“ [85] aufgeführt. Neben den oben genannten Gefahren durch teilweisen oder vollständigen Einsturz, herabfallendes Lagergut und der möglichen rasanten Brandausbreitung, sind dies stromführende Schienen der Regalbediengeräte und die unzureichende Wurfweite der Strahlrohre in Bezug auf Lagerhöhe und Sicherheitsabstände. Aufgrund der Ähnlichkeit sind diese Risiken auch in benannten Hochregallagern zu erwarten.

5 EMPFEHLUNG FÜR MASSNAHMEN UND EINRICHTUNGEN

5.1 Allgemein

Im Folgenden werden aus den obenstehend zusammengetragenen Informationen Schlüsse gezogen, nach denen Bau und Betrieb von Hochregallagern, für deren Betrieb die Anwesenheit von Personal erforderlich ist, sicher erfolgen kann. Sie können als Empfehlung für das Erstellen von Brandschutzkonzepten für solche Hochregallager herangezogen werden. Die empfohlenen Maßnahmen und Einrichtungen werden untenstehend beschrieben. Wird im Abschnitt 5 lediglich „Hochregallager“ geschrieben, so sind jene Hochregallager gemeint, die entsprechend des Titels der Ausarbeitung die Anwesenheit von Menschen zum Betrieb regulär erfordern.

Werden an das Hochregallager Bereiche angeschlossen, die nicht dem Zweck der Lagerung und Kommissionierung dienen, so sind diese nach /MIndBauRL/ oder /MBO/ zu bewerten.

Hochregallager können jedoch sehr große Unterschiede aufweisen. Sowohl in Grundfläche und Rauminhalt als auch betreffend der spezifischen Brandlast, der Personenzahlen im Betrieb und der Art der Warenförderung ergeben sich unterschiedlichste Bedingungen. Forderte man in allen Hochregallagern die gleichen Maßnahmen und Einrichtungen, so würden sich sehr unterschiedliche Schutzniveaus ergeben, die Kosten würden entsprechend je nach Hochregallager überhöht oder sehr niedrig ausfallen. Eine Differenzierung zwischen unterschiedlichen Hochregallagern ist aus Sicht des Brandschutzes sehr sinnvoll. Jedoch bedeutet eine Differenzierung auch ein erhöhtes Maß an Planungsaufwand. Musterempfehlungen würden ihre Funktion bei zu großer Differenzierung verlieren, dieses wird in der vorliegenden Ausarbeitung berücksichtigt. Eine genaue Einzelfallbetrachtung wäre wieder erforderlich. Um der Funktion als allgemeine Empfehlung für Hochregallager nachzukommen, aber eine Differenzierung zuzulassen, erscheint es als ein geeignetes Mittel, Hochregallager in unterschiedliche Kategorien einzuteilen. Vorbild für die Kategorisierung können beispielsweise die Gebäudeklassen nach /MBO/ oder die Sicherheitskategorien der /MIndBauRL/ sein.

Für diese Ausarbeitung soll zwischen folgenden Hochregallagern unterschieden werden:

- Hochregallager, in denen ausschließlich größtenteils nicht brennbare Lagergüter auf nicht brennbaren Ladungsträgern und in schwer entflammbaren Verpackungsmaterialien gelagert werden,
- Hochregallager, deren Lagerguthöhe weniger als 12 m beträgt und in denen keine Man-Up-Systeme zum Einsatz kommen und
- alle Hochregallager, die nicht den o.g. Bedingungen unterliegen (insbesondere gehören hierzu jene mit Man-Up-Systemen).

Als Lagerguthöhe gilt immer die Oberkante des Lagerguts. Ein Lagergut soll als größtenteils nicht brennbar gelten, wenn der Anteil brennbarer Stoffe unter 3 Gew.-% liegt und wenn es in der Art und Weise in der es gepackt ist, schwer entflammbar ist. Zum Verdeutlichen sei hier ein Beispiel genannt: Die Nicht-Brennbarkeit von einem Lagergut würde beispielsweise für die Lagerung von Glasscheiben gelten, zwischen die ein (der /DIN 4102-1/ nach leicht entflammbarer) Papierbogen gelegt ist. Eine Entzündbarkeit des zwischengelegten Papierbogens kann bei derartiger Nutzung in der Regel ausgeschlossen werden. Auch beim Absturz solchen Lagerguts wird keine erhöhte Brandgefahr vom eingelegten Papier ausgehen. Anders ist dies bei brennbaren Farben, Lacken und petrochemischen Erzeugnissen in Blechbehältern. Zwar lässt sich ein geschlossener Behälter nur schwer entzünden, so geht jedoch von solchen Lagergütern eine erhöhte Brandgefahr aus, sobald einer der Behälter beschädigt ist und der enthaltene Stoff austritt.

5.2 Bauliche Anforderungen

5.2.1 Brandabschnitte und Brandwände

Brandwände dienen der Bildung von Brandabschnitten und verhindern die Ausweitung von Feuer auf andere Gebäude oder Gebäudeteile. Grundsätzlich kann zwischen Brandwänden als Gebäudeabschlusswand (äußere Brandwand) und Brandwänden zur Bildung gebäudeinterner Brandabschnitte (Gebäudetrennwand oder innere Brandwand) unterschieden werden. Brandwände haben eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten, bestehen aus nicht brennbaren Baustoffen (Baustoffklasse A nach /DIN 4102-1/) und sind zudem widerstandsfähig gegen eine dreimalige mechanische Beanspruchung einer Stoßbelastung von 3 000 N m. Nach /MIndBauRL/ sind an Stelle von inneren Brandwänden auch zwei gegenüberstehende feuerbeständige Wände aus nicht brennbaren Baustoffen zulässig, wenn diese voneinander unabhängig standsicher sind und eine Widerstandsfähigkeit gegen mechanische

Beanspruchung haben. Bauteile, die diese Wände unterstützen oder aussteifen, müssen lediglich so ausgeführt sein wie die tragenden Bauteile des Brandabschnitts. Die unterstützenden Bauteile wären für Hochregallager dann ohne Feuerwiderstand. Diese Abweichung von dem Grundsatz, dass tragende und aussteifende Bauteile die gleiche Feuerwiderstandsfähigkeit haben müssen wie die Bauteile, die sie tragen ist deshalb möglich, da die Wände gegenüberstehend ausgeführt sind. Jede Wand schützt so ihr eigenes Tragwerk gegenüber Feuer aus dem gegenüberliegenden Brandabschnitt. Mit dem Versagen jener Mauer, deren Tragwerk und Aussteifung durch Feuer beansprucht wird, ist jedoch zu rechnen. Auch auf diese Weise kann ein Brandübertrag in andere Brandabschnitte gleichwertig mit Brandwänden verhindert werden. Ob solche Wände als interne Brandwände jedoch im Bereich von Hochregallagern Gebrauch finden, ist fraglich.

Die Größe von Brandabschnitten ist zu begrenzen, um die Wirksamkeit von Löschmaßnahmen zu gewährleisten und den materiellen Verlust auf ein vertretbares Maß zu beschränken. Zur Bestimmung der Brandabschnittsgröße werden zunächst vergleichend die /MIndBauRL/ und die /VDI 3564:2011-01/ betrachtet.

Nach /MIndBauRL/, die bekanntlich die Lagerguthöhe auf 9 m begrenzt, richtet sich die Brandabschnittsgröße nach der Sicherheitskategorie K1 bis K4, die durch Sicherheitsmaßnahmen erreicht werden und durch die Feuerwiderstandsklassen der tragenden und aussteifenden Bauteile sowie durch die Anzahl der im Industriebau enthaltenen Vollgeschosse. Bei Zugrundelegen der Sicherheitskategorie K4, die beim Einhalten der Anforderungen dieser Empfehlung erreicht würde, und einem erdgeschossigen Gebäude kann nach Tabelle 1, Abschnitt 6 /MIndBauRL/ eine Brandabschnittsfläche von 10 000 m² errichtet werden.

Die /VDI 3564:2011-01/ dagegen begrenzt die maximale Größe der Brandabschnitte aller automatischen Hochregallager auf 6 000 m². Werden besondere Brandschutzmaßnahmen ergriffen, die in der Richtlinie jedoch nicht genauer beschrieben werden, können bis zu 10 000 m² Brandabschnittsfläche möglich werden. An Stelle von äußeren Brandwänden fordert die VDI-Richtlinie bei direkt angrenzenden Gebäuden Komplextrennwände nach /VdS 2234/. Diese Komplextrennwände besitzen eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 180 Minuten und widerstehen einer dreimaligen Stoßbeanspruchung von 4 000 N m.

Da in dieser Ausarbeitung Hochregallager betrachtet werden, deren Risiko aufgrund der Höhe des Lagerguts und der gleichzeitigen Anwesenheit von Mitarbeitern über Lagern nach /MIndBauRL/ und /VDI 3564:2011-01/ liegt, ist es sinnvoll, sich an der strengeren Begrenzung der Brandabschnittsgröße zu orientieren. Die Brandabschnittsfläche für Hochregallagerbereiche mit Personen soll deshalb auf

6 000 m² begrenzt werden. Eine Erhöhung der Brandabschnittsgröße ist nur dann möglich, wenn eine sehr geringe Brandlast gewährt wird, indem ausschließlich nicht brennbare Lagergüter auf nicht brennbaren Ladungsträgern und in schwer entflammbaren Verpackungsmaterialien gelagert werden. Eine Brandausbreitung auf den gesamten Brandabschnitt muss auch in diesem Fall durch Brandschutzeinrichtungen unterbunden werden.

In Österreich betragen die Brandabschnittsgrößen für eingeschossige Betriebsbauten mit Sprinkleranlage nach /OIB-RL 2.1/ 7 500 m², wenn die tragenden und aussteifenden Bauteile keine Anforderungen an den Feuerwiderstand erfüllen und 10 000 m², wenn das Tragwerk in R 30 ausgeführt ist. Für Lager werden die Abschnittsgrößen jedoch niedriger angesetzt. Unabhängig von der Lagerkategorie beträgt die maximale Lagerfläche 6 000 m² je Brandabschnitt [52]. Die /TRVB N 142/ begrenzt die Lagergrundfläche ebenfalls auf 6 000 m², lässt aber zu, diese Fläche zu vergrößern, wenn in einem Brandschutzkonzept ein gleiches Sicherheitsniveau nachgewiesen wird [53]. Dies bestätigt die oben geforderte Regelung.

In der Schweiz werden Brandabschnittsgrößen nicht pauschal vorgeschrieben, sie werden anhand einer Vielzahl an Parametern berechnet. In die Berechnung fließen unter Anderem die Brandgefährdung, Geschossezahl, die Brennbarkeit des Lagerguts, Sicherheitseinrichtungen und die Brandbelastung ein. Die Berechnung ist in der /VKF Brandabschnittsgrößen/ beschrieben. Aufgrund der großen Anzahl an Parametern können sich die Brandabschnittsgrößen von Hochregallagern stark unterscheiden. [86]

Inwieweit eine Regelung der Brandabschnittsgrößen in Industriebauten nach Brandlast und umbauten Volumen erfolgen könnte, soll aufgrund des zu erwartenden Umfangs der Betrachtung nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung sein. Grundsätzlich erscheint der Ansatz der Schweiz sinnvoll. Auch in Deutschland hat es seitens der /AGBF/ Vorstöße zu einer volumenabhängigen Regelung gegeben. Diese konnten sich jedoch nicht durchsetzen [87]. Eine mathematische Berechnung der Brandabschnittsgrößen für Industriebauten, eingenommen Hochregallager, anhand einer Formel könnte Inhalt neuerlicher Betrachtungen sein.

In Deutschland müssen Brandwände entsprechend der /MBO/ bis zum Dach durchgehend gebaut sein und nach /MIndBauRL/ mindestens 0,50 m über Dach geführt werden. Öffnungen in diesem Bereich sind nicht möglich. Über die Brandwand dürfen keine brennbaren Materialien hinweg geführt werden.

Anstelle von über Dach geführten Brandwänden reicht es nach /MIndBauRL/ aus, beidseits der Brandwand einen 5 m breit auskragenden Streifen aus feuerbeständigen Platten aus nicht brennbaren

Baustoffen oder ein feuerbeständiges Dach herzustellen. An dieser Stelle sein Bedenken geäußert, ob eine solche Ausführung nach Muster-Industriebaurichtlinie dem Grundsatz entsprechen kann, dass Bauteile mit geforderter Feuerwiderstandsfähigkeit ausschließlich durch Bauteile getragen und ausgesteift werden, die ebenfalls diese Feuerwiderstandsfähigkeit besitzen. Das Dach besitzt keine Feuerwiderstandsfähigkeit, für die Platten wird jedoch F 90 gefordert. Inwieweit ein Anschluss der Platten an die Brandwand möglich ist oder der verbleibende 2,5 m breite und durch F 90-Platten bedeckte Streifen des Daches des nicht betroffenen Brandabschnitts ausreicht, um eine Brandfortleitung zu verhindern, ist unklar. Bei der Planung ist deshalb unbedingt zu beachten, dass keine Bedenken wegen der Brandweiterleitung in benachbarte Brandabschnitte bestehen.

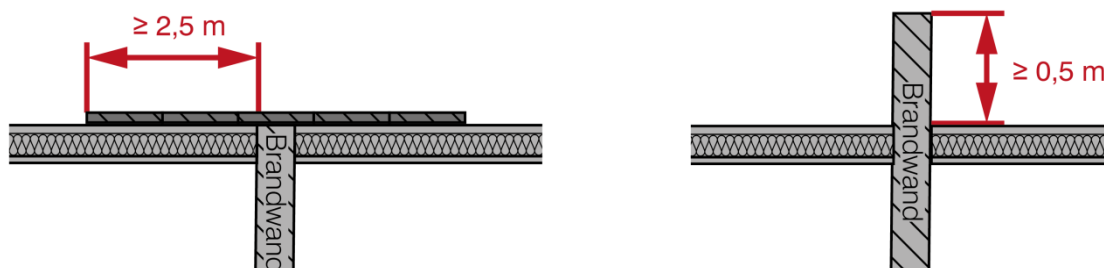


Abb. 22: Brandwände im Bereich des Daches mit beidseits auskragendem Streifen (links) oder über Dach geführter Brandwand (rechts)

Grenzen Gebäude oder Gebäudeteile unterschiedlicher Höhe aneinander, so reicht es aus, die Brandwand bis unter die Dachhaut des höheren Gebäudes zu führen, wenn die Höhendifferenz größer als 2 m ist. Analog zur /VDI 3564:2011-1/ ist es möglich, die Brandwand nur bis zur Höhe des niedrigeren Gebäudes zu führen, wenn das Dach des niedrigeren Gebäudes im Bereich des Gebäudeanschlusses einen öffnungslosen Streifen aus feuerbeständigen und nicht brennbaren Baustoffen erhält. Die Breite des so ausgeführten Dachstreifens muss dem Betrag der Höhendifferenz entsprechen, jedoch mindestens 7 m und höchstens 15 m breit sein. Diese Anforderungen können übernommen werden.

Bei Außenwänden im Bereich von Brandwänden ist ein beidseits 5 m auskragender Streifen aus nicht brennbarer Dämmung, unabhängig von der Nutzung, erforderlich, um eine Brandausbreitung in andere Brandabschnitte zu verhindern. Dies kann beispielsweise über eine mineralische Dämmung geschehen. Alternativ darf eine schwer entflammbare Dämmung verwendet werden, wenn die Brandwand die Außenwandebene um 0,5 m überschreitet und aus der Außenwand auskragt. Hiermit werden die Anforderungen der /MIndBauRL/ erfüllt.

Öffnungen in äußeren Brandwänden sind unzulässig. Öffnungen in inneren Brandwänden sind ent-

sprechend den Anforderungen der /MBO/ mit Abschlüssen entsprechender Feuerwiderstandsfähigkeit zu verschließen. Sie sind auf das für den Betrieb erforderliche Maß und die geringstmögliche Anzahl zu reduzieren. Für Türen bedeutet dies, dass sie entsprechend /DIN 4102-5/ T 90-Türen sein müssen. Klappen müssen demzufolge K 90-Klappen sein. Sie müssen selbsttätig schließen. Mediendurchführungen sind in entsprechender Qualität abzuschotten. Die entsprechenden Bauteile nach DIN EN-Norm sind ebenfalls zulässig. Eine Rauchschutzfunktion nach /DIN 18095-1/ oder Vergleichbares ist nicht generell erforderlich, da die Bauteile, die die vorgenannten Anforderungen erfüllen, bereits einen ausreichenden Schutz gegen die Ausbreitung von Feuer und Rauch gewähren und eine Gefährdung der dort befindlichen Personen nicht zu befürchten ist. Bei Lagerware, die schon bei geringster Rauchbeaufschlagung nicht mehr in den Verkehr gebracht werden darf wie beispielsweise Nahrungsmittel, kann der Einbau von Abschlüssen mit zusätzlicher Rauchschutzfunktion erforderlich werden.

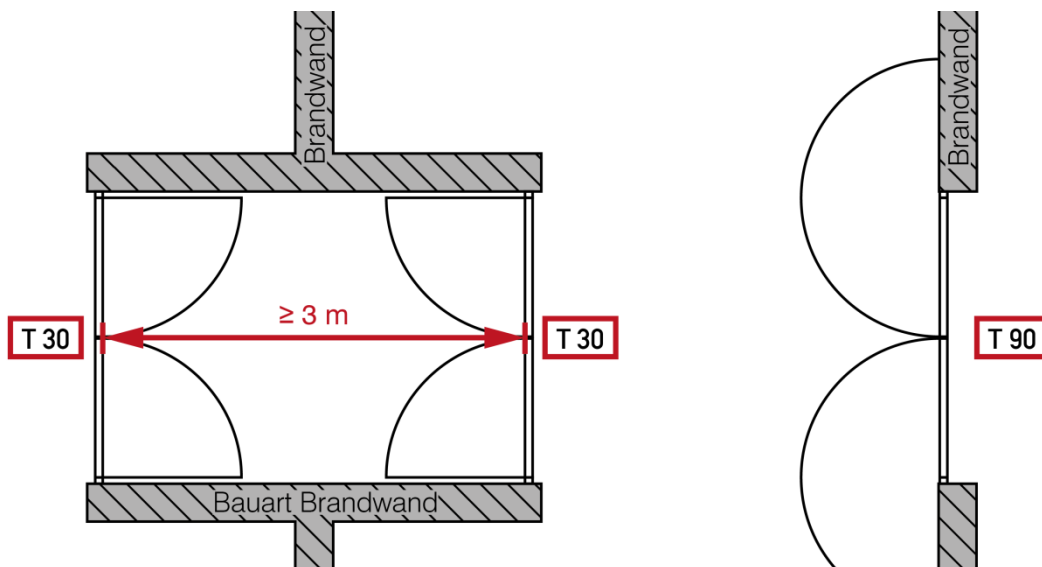


Abb. 23: Abschlüsse von Öffnungen in Brandwänden, links mit Schleuse, rechts herkömmlich [88]

Alternativ zu Abschlüssen in T 90-Qualität in inneren Brandwänden ist eine Ausbildung von Schleusen mit T 30-Abschlüssen denkbar, wenn die Umfassungswände in der Bauart von Brandwänden errichtet sind und der Abstand der Türen mindestens 3 m beträgt. Dies ermöglicht beispielsweise kostengünstig Treppenräume im Bereich von Brandwänden zu errichten, die von beiden Seiten der Brandwand aus zugänglich sind (dann jedoch T 30-RS bzw. EI 30-C-S-Türen), die Abtrennung der Brandabschnitte aber nicht negativ beeinflusst. Werden die Abschlüsse von Flurförderfahrzeugen oder Ähnlichem befahren, muss der Abstand der Türen in jedem Fall so gewählt werden, dass ausgeschlossen werden kann, dass beide Türen durch das Flurförderfahrzeug blockiert und offengehalten werden. Zudem darf in diesem Fall die Schleuse nicht gleichzeitig Treppenraum sein, siehe Abschnitt 5.4.2. Durch die Ausbildung von Schleusen wird ein höheres Schutzniveau erreicht als bei der Verwendung herkömmlicher

T 90-Abschlüsse. Dies stellt jedoch eine Abweichung von der /MBO/ dar. Diese Abweichung sollte aber bei dem vorhandenen Schutzniveau genehmigungsfähig sein.

Abtrennungen als Komplextrennwand nach /VdS 2234/ sind baurechtlich nicht erforderlich und sollen deshalb auch für Hochregallager in dieser Ausarbeitung nicht gefordert werden. Aus Gründen des Versicherungsschutzes können sie jedoch sinnvoll sein. Dies ist seitens des Bauherren mit dem Sachschadenversicherer zu klären.

Stoßen Gebäude oder Gebäudeteile im Bereich von Brandwänden über Eck zusammen, so ist die Brandwand über die Gebäude-Innenecke als feuerbeständige, öffnungslose Wand 5 m hinauszuführen, um einen Brandübertritt über Eck zu vermeiden. Bildet die innere Ecke einen Winkel von mehr als 120° , so kann auf die Ausbildung der Brandwand über die Ecke hinaus verzichtet werden. Diese Anforderungen entsprechen den Anforderungen der /MIndBauRL/ sowie in etwa den Anforderungen in Österreich (dort kann erst ab einem Winkel von 135° auf eine solche Ausführung verzichtet werden). [2], [3], [52]

Die /OIB-RL 2.1/ stellt sehr ähnliche Anforderungen, jedoch schon angepasst an die Anforderungen der Europanorm. Zudem muss ein Widerstand gegen mechanische Beanspruchung nur dann vorhanden sein, wenn mit einer solchen Beanspruchung auch zu rechnen ist. Ansonsten reichen EI 90- bzw. REI 90-Wände aus. Da jedoch umstürzende Lagerungen als Beispiel für die Erforderlichkeit einer erhöhten Festigkeit angeführt sind, ist davon auszugehen, dass in Hochregallagern ausschließlich REI 90-M-Brandwände zum Einsatz kommen. Öffnungen sind sowohl in inneren als auch in äußeren Brandwänden zulässig. Diese müssen ebenfalls eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 90 Minuten haben. Abschlüsse vom Typ EI₂30-C reichen in internen Brandwänden aus, wenn die Summe der Flächen der Öffnungen weniger als 20 m² beträgt und entweder eine Brandmeldeanlage, eine automatische Löschhilfearanlage oder eine automatische Feuerlöschanlage vorhanden ist¹¹ [52]. Damit sind die Anforderungen etwas niedriger als nach /MIndBauRL/.

Nach Kantonaler Feuerpolizei Hochregallager sind Komplextrennwände in Hochregallagern in der Schweiz nicht erforderlich, für brandabschnittsbildende Wände ist lediglich eine Widerstandsdauer von 90 Minuten gefordert, wobei die Abschlüsse von Öffnungen in diesen Wänden sogar nur eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 30 Minuten besitzen müssen. Brandabschnittsbildende Wände müssen stand-

¹¹ Die tiefgestellte 2 der Bezeichnung EI₂30-C steht für die Position des Messbereichs der Isolation der Tür nach österreichischer Norm. Es gibt zwei mögliche Messbereiche: 1. 25 mm vom Rand des Türblatts entfernt, 2. 100 mm vom Rand des Türblatts entfernt.

fest ausgeführt sein. Die Größe des Brandabschnitts richtet sich laut GVZ-Merkblatt „nach Brandgefahr und Brandlast des Lagergutes sowie den technischen Brandschutzmassnahmen“ [54]. „Staplerladestationen“ (Ladegeräte für die Akkumulatoren elektrisch betriebener Regalbediengeräte) und Folien-schrumpfgeräte dürfen sich weder im Brandabschnitt der Kommissionierungszone noch im Hochregallager befinden.

Das Sicherheitsdokument /1681-00.d/ des schweizer Sicherheitsinstituts beschreitet einen anderen Weg. Der Begriff Brandabschnitt ist hier nicht über eine Feuerwiderstandsfähigkeit von raumabschließenden Bauteilen und Abschlüssen von Öffnungen geregelt. Die Größe der Brandabschnitte richtet sich nach den Schutzziele ohne näher beschrieben zu sein. Benachbarte Gebäude werden durch Brandmauern der Feuerwiderstandsklasse F 180 abgetrennt, Öffnungen in diesen müssen eine Feuerwiderstandsfähigkeit von mindestens 90 Minuten besitzen. Ist im Nachbargebäude eine Sprinkleranlage vorhanden, kann die Feuerwiderstandsfähigkeit auf 60 Minuten reduziert werden. Die Mindestfeuerwiderstandsdauer von Öffnungen in „Brandabschlüssen“ beträgt dann 30 Minuten. Der Sinn dieser Regelung wird in dem Sicherheitsdokument nicht näher erläutert. Ein Brandeintritt ins Nachbargebäude und Wirksamwerden der dortigen Sprinkleranlage wird offenkundig toleriert.

5.2.2 Brandbekämpfungsabschnitte und Trennwände

Trennwände im Sinne dieser Ausarbeitung sind feuerbeständige Wände (Feuerwiderstandsfähigkeit von 90 Minuten) aus Baustoffen der Klasse A. Sie sind geeignet, um Brandabschnitte in Brandbekämpfungsabschnitte zu unterteilen und Räume mit besonderen Brandgefahren von anderen Räumen abzutrennen. Öffnungen in Trennwänden benötigen Abschlüsse entsprechender Feuerwiderstandsfähigkeit, sie müssen selbsttätig schließen (s. Abschnitt 5.2.4). Brandbekämpfungsabschnitte ermöglichen es, die Ausbreitung von Feuer und Rauch zu Begrenzen und Löscharbeiten wirksamer zu gestalten. Für Industriebauten kann die erforderliche Feuerwiderstandsfähigkeit nach /DIN 18230-1/ errechnet werden. Die maximale Feuerwiderstandsfähigkeit wird durch die /MIndBauRL/ auf 90 Minuten begrenzt. Werden nach dem Rechenverfahren der /DIN 18230-1/ höhere Werte als 90 Minuten errechnet, reicht eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 90 Minuten aus.

Die /VDI 3564:2011-01/ fordert eine feuerbeständige Abtrennung von Kommissionierungszone und Hochregallager. Dies liegt im unterschiedlichen Schutzbedürfnis und damit einhergehenden, unterschiedlichen Brandschutzanforderungen begründet. Außerdem müssen Räume mit erhöhten Brandgefahren ebenfalls mit F 90-Wänden abgetrennt werden. [1]

In Österreich und der Schweiz wird die Brandbekämpfungsabschnittsbildung im Zusammenhang mit

Hochregallagern nicht gefordert, sehr wohl aber die bauliche Abtrennung von Räumen mit erhöhter Brandgefahr und Räumen mit erhöhtem Schutzbedarf.

Aufgrund der Begrenzung der Brandabschnittsfläche von Hochregallagern, soll eine weitere Unterteilung in Brandbekämpfungsabschnitte in dieser Ausarbeitung nicht generell gefordert werden. Um die Schutzziele zu erreichen, müssen einige Bereiche des Hochregallagers jedoch durch Trennwände mit einer Feuerwiderstandsfähigkeit von 90 Minuten abgetrennt werden. Für diese Trennwände soll in Hochregallagern eine Besonderheit gelten, die von der /MIndBauRL/ abweicht: Für alle Trennwände im Hochregallager wird aufgrund der sehr hohen Regale und der Gefahr eines Regaleinsturzes ein erhöhter Widerstand gegen mechanische Beanspruchung gefordert. Derartige Wände, in der Bezeichnung nach /ARGEBAU/ als „Wände in der Bauart von Brandwänden“ benannt, nach /DIN EN 13501-2/ REI 90-M-Wände, sollen den besonderen Anforderungen, die sich aus der Höhe und der Masse der beladenen Regale ergeben, gerecht werden. Mit derartigen Trennwänden sind zu schützen:

- Funktionsbereiche für Einlagerung oder Kommissionierung,
- Bereiche sonstiger Nutzung nach /MIndBauRL/ wie z.B. Verwaltungsbereiche,
- Bereiche für Akku-Ladestationen, Folienschweißgeräte und andere Brandgefahren und
- Bereiche mit erhöhtem Schutzbedarf.

Räume mit besonderem Schutzbedarf sind beispielsweise alle Räume mit Anlagentechnik die Funktionserhalt besitzt oder diesem dient. Dies sind zum Beispiel die Sprinkleranlage, Batterieraum des elektrischen Funktionserhalts, Wasserbevorratung der Sprinkleranlage und Ähnliches. Die bauliche Abtrennung von Akku-Ladestationen und Folienschweißgeräten liegt in der erhöhten Brandgefahr begründet. Wie die Auswahl an o.g. Einsatzberichten widerspiegelt, kommt es in diesen Bereichen immer wieder zu Brandausbrüchen. Sie dürfen sich weder ungeschützt im Lagerbereich, noch in der Kommissionierungszone befinden. Anders als in der Schweiz werden diese Brandgefahren jedoch nicht durch eine brandabschnittsbildende Wand abgetrennt. Werden an das Hochregallager Verwaltungsbereiche angeschlossen, können diese nach /MBO/ und /MIndBauRL/ bewertet werden. Aufgrund der anderen Nutzungsart und der veränderten Gefahrenlage gegenüber den Hochregalbereichen müssen diese durch Trennwände abgetrennt werden.

Auch die Bereiche der für Einlagerung und Kommissionierung müssen durch T 90-Trennwände abgetrennt werden, um die unterschiedlichen Brandgefahren, die Rauchausbreitung und den damit verbundenen Schaden zu begrenzen. Ausgenommen werden können hiervon Hochregallager bis 12 m Lagerguthöhe und Regalbediengeräten mit Man-Down System, wenn die Grundfläche von Hochregallagerbereich und Kommissionierungszone zusammen eine Brandabschnittsgröße von 3 000 m² nicht

überschreiten. Aufgrund der Begrenzung der Fläche und der Lagerguthöhe wird davon ausgegangen, dass das Gefährdungsniveau nicht höher als in allen anderen Hochregallagern mit dauerhaft anwesenden Personen ist. Diese Ausnahme vereinfacht jedoch die Planung und Bauausführung von kleinen Hochregallagern und reduziert somit die Kosten ohne das Schutzniveau zu senken.

5.2.3 Rauchabschnitte und Rauchableitung

Da sich in den Lagerbereichen keine notwendigen Flure ausbilden lassen, die Personen vor Rauch und Feuer schützen, müssen andere Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter ergriffen werden. Die Reduzierung der Rauchgasdichte der Fluchtwege für die erforderliche Dauer wird über Rauchabzüge gewährt, die in Kombination mit der Raumhöhe ein vertretbares Schutzniveau ermöglichen. Auch die Begrenzung des Wasservorrats der Sprinkleranlage auf eine Dauer von maximal 90 Minuten verdeutlicht die Notwendigkeit einer zügigen Entrauchung. Der Deutsche Feuerwehrverband empfiehlt in der DFV-Fachempfehlung Nr. 3 Einsatzstrategien für Feuerwehren in vollautomatischen Hochregallagern [85]. Diese beinhalten unter anderem, dass Einsatzkräfte die Sprinkleranlage nicht abschalten, bevor nicht eindeutig davon ausgegangen werden kann, dass das Feuer aus ist. Dies wiederum erfordert, dass die Einsatzkräfte den vom Feuer betroffenen Bereich einsehen können. Um dies zu gewährleisten, ist eine ausreichende Verdünnung der Rauchgasschicht erforderlich. Sie muss in einer vertretbaren Zeit erfolgen. Hierbei muss entweder erreicht werden, dass Einsatzkräfte den betroffenen Bereich aus sicherer Entfernung sehen können, oder dass die Sichtbehinderung nur noch so schwach ist, dass die Beschädigung der Regalstruktur als so gering eingeschätzt werden kann, dass Einsatzkräfte der Feuerwehr an die Schadenstelle herangehen können. Die Rauchverdünnung muss dabei in einer Zeit erfolgen, die für die öffentlichen Feuerwehren vertretbar ist. Die Einsatzkräfte der Feuerwehr dürfen nicht übermäßig lange durch den Einsatz am Hochregallager gebunden werden, da sie so nicht für andere Einsätze zur Verfügung stehen. Außerdem ist davon auszugehen, dass die Sprinkleranlage in dieser Zeit große Mengen an Löschwasser abgibt, das es anschließend durch Fachfirmen zu entsorgen gilt. Zudem sind Rauchabzüge erforderlich, um der Feuerwehr wirksame Rettungs- und Löscharbeiten zu ermöglichen.

Bei der Ausbreitung von Rauch in Hochregallagern sind drei wesentliche Effekte zu beachten. Der wärmebeaufschlagte Brandrauch hat zunächst das Bestreben in einer Heißgasplume in die Höhe zu steigen (Kamineffekt, s. Abschnitt 4.3). Infolge dessen bildet sich, sofern keine störenden Effekte auftreten, zunächst eine Rauchschiicht unter der Decke. Köhlen die Rauchschiichten unter der Decke oder am Rand des Heißgasstroms ab, sinken sie aufgrund der größeren Dichte nach einiger Zeit nach unten. Verstärkt wird dieser Effekt durch eine ausgelöste Sprinkleranlage. Das aufgebraachte Wasser ver-

dampft, es bildet sich ein Gemisch aus Sattdampf und Brandrauch mit einer größeren Dichte als die der umgebenden Luft. Treffen die absinkenden Rauchmassen auf den Boden, breiten sie sich in Bodennähe nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten einer Schwergaswolke aus. Dieser Effekt wird durch die herabfallenden Wassertropfen, die Anteile des Brandrauchs mit herabreißen, verstärkt. Insgesamt nimmt dennoch der größte Teil des Brandrauchs den Weg nach oben.

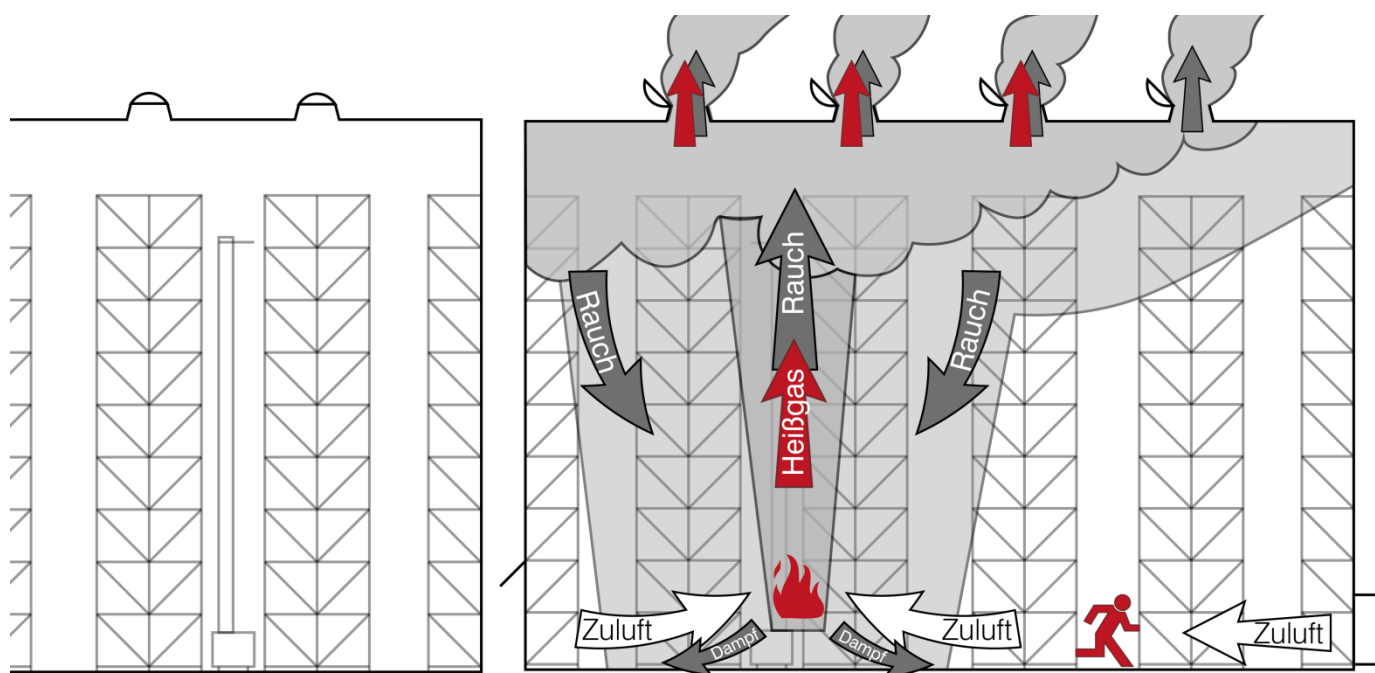


Abb. 24: Schematische Darstellung der Rauchableitung über natürliche Rauchabzüge

Zur Bemessung und Funktionsweise der Rauchabzüge werden die bekannten technischen Regeln und Empfehlungen aus Deutschland für ähnliche bauliche Einrichtungen bewertet. Dies sind die /MIndBauRI/, /VDI 3564:2011-01/ und /DIN 18232-2/. Außerdem werden internationale Lösungen zur Rauchableitung in betreffenden Hochregallagern und eine Lösung eines deutschen Bundeslandes herangezogen.

Auch wenn in der Schweiz jedes Kanton seine eigenen feuerpolizeilichen Regelungen besitzt, so sind die Anforderungen doch sehr ähnlich. Die Kantonale Feuerpolizei „Hochregallager“ des Kantons Zürich und die /VKV RWA/ besagen, dass im Normalfall Rauch- und Wärmeabzugsanlagen einzurichten sind. Die /VKV RWA/ präzisiert dies mit einer Forderung nach 2 % der Brandabschnittsfläche als geometrische Lüftungsfläche. Rauch- und Wärmeabzugsanlagen müssen automatisch auslösen und dazu über eine Handauslösung verfügen. Besitzt die Örtliche Feuerwehr mobile Brandlüfter, so reichen an Stelle von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen Entrauchungsöffnungen, deren freie geometrische Fläche mindestens 1 % der Brandabschnittsfläche beträgt. Feuerwehruzugänge sind so zu planen, dass

Brandlüfter eingesetzt werden können.

In Österreich müssen Produktions- und Lagerräume eine ausreichende Rauch- und Wärmeableitung zur Verzögerung der Brandausbreitung haben. Sie müssen automatisch auslösen. Die automatische Auslösung kann in Brandschutzeinrichtungen der Sicherheitskategorie K 4.2, in die Hochregallager einzuordnen sind, über die für diese Sicherheitskategorie geforderten Sicherheitseinrichtungen wie Sprinkleranlage oder Brandmeldeanlage erfolgen. Rauch- und Wärmeabzugsanlagen müssen nach einer anerkannten Richtlinie ausgeführt werden. Dies kann beispielsweise die /TRVB 125 S/ sein [52]. Die /TRVB N 142/ fordert für Hochregallager ebenfalls eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage nach /TRVB 125 S/. Diese ist so zu bemessen, dass die Höhe einer rauchgasfreien Schicht mindestens die halbe Hallenhöhe beträgt. Wird die Rauch- und Wärmeabzugsanlage lediglich zur Unterstützung des aktiven Feuerwehreinsatzes unter Verwendung tragbarer Lüfter benötigt, kann auf die Ausbildung von Rauchschrägen verzichtet werden [53].

Die /MIndBauRL/ beispielsweise fordert ab 1 600 m² Brandabschnittsfläche eine ausreichende Rauchableitung, damit eine Brandbekämpfung möglich wird. Für Industriebauten wird eine Brandbekämpfung dann als möglich erachtet, wenn eine raucharme Schicht von 2,5 m Höhe auf jeder Ebene nachgewiesen wird. Pauschal werden jedoch für Industriebauten mit selbsttätigen Feuerlöschanlagen natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA) mit mindestens 0,5 % aerodynamisch wirksamer Rauchabzugsfläche, bezogen auf die Fläche des Raumes, angesehen. Für Hochregallager ist dies als nicht ausreichend anzusehen.

Die /VDI 3564:2011-01/ empfiehlt für vollautomatische Hochregallager je 200 m² Hochregallagerbereich mindestens einen Rauchabzug mit einer wirksamen Rauchabzugsfläche von größer oder gleich 1 m². Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 0,5 % der Grundfläche. Die natürlichen Rauchabzugsanlagen sind je 1 600 m² in Gruppen zusammenzufassen, die eine maximale Seitenlänge von 60 m aufweisen. Die natürlichen Rauchabzugsanlagen sind zudem über den Regalgassen anzuordnen und je Regalgasse sind mindestens zwei Rauchabzüge vorzusehen. Weiterhin wird empfohlen, dass die Abstände der Rauchabzugsöffnungen nicht mehr als 10 m beträgt. Zur Nachströmung werden 50 % der geometrische Rauchabzugsfläche als Nachströmungsflächen ausreichend angesehen.

Es finden sich in Fachkreisen jedoch vermehrt Stimmen, die die Rauchableitungskonfiguration nach /VDI3564:2011-01/ als bei weitem nicht ausreichend ansehen. In einem Bericht des /vfdb/ [89] zu einem Rauchversuch heißt es, dass die erforderliche Sichtweite, die es der Feuerwehr erlaubt, über ein Abschalten der Sprinkleranlage zu entscheiden, bei 0,5 % Öffnungsfläche frühestens nach 55 s erreicht werden kann. Werden zusätzlich Hochleistungslüfter der Feuerwehr eingesetzt, reduziert sich

diese Dauer auf etwa 16 Stunden. Zudem wird berichtet, dass es bei einem Einsatz von Überdruckbelüftungsgeräten der Feuerwehr zu einer Verwirbelung der Rauchsicht kommt und die raucharme Schicht nicht erhalten bleibt [89]. In jedem Fall sind beides Zeiten, die für öffentliche Feuerwehren, egal ob freiwillige oder Berufsfeuerwehren nicht zumutbar sind. Aus diesem Grund werden die Anforderungen aus der /MIndBauRL/ und der /VDI 3564:2011-01/ für die hier betrachteten Hochregallager als ungeeignet angesehen.

Der Landesfeuerwehrverband Hessen empfiehlt für Hochregallager, in denen sich im normalen Betrieb Personen aufhalten, natürliche Rauchabzugsanlagen nach /DIN 18232-2/ oder maschinelle Rauchabzugsanlagen nach /DIN 18232-5/. Die raucharme Schicht ist so zu bemessen, dass sie 2,5 m über der obersten, von Personen begehbaren Fläche liegt. Diese Empfehlung findet im Bundesland Hessen in aller Regel Anwendung. Für die baulich getrennten Kommissionierungsbereiche, in denen Menschen anwesend sind, empfiehlt auch die VDI-Richtlinie eine Bemessung nach /DIN 18232-2/.

Die /DIN 18232-2/ bezieht sich auf eingeschossige Gebäude und das oberste Geschoss mehrgeschossiger Gebäude, bei denen die Rauchableitung vertikal über Öffnungen im Dach erfolgt. Der Rauch wird dabei durch seinen thermischen Auftrieb auf „natürliche Weise“, also ohne maschinelle Unterstützung, abgeführt.

Die Bemessung der Rauchabzugsfläche von natürlichen Rauchabzugsanlagen /NRA/ erfolgt nach der /DIN 18232-2/ vereinfacht über Tabellen. Voraussetzung hierfür ist, dass der gesamte Brandabschnitt in Rauchabschnittsflächen von 200 m² bis 1 600 m² unterteilt wird. Zunächst fordert die /DIN 18232-2/ eine Einteilung in Bemessungsgruppen von 1 bis 5, die von der Brandentwicklungsdauer und der Brandausbreitungsgeschwindigkeit abhängen. Für Hochregallager mit einer wirksamen automatischen Sprinkleranlage kann die Bemessungsgruppe 3 angesetzt werden.

Aus der Tabelle 3 aus Abschnitt 6 der /DIN 18232-2/ kann entnommen werden, dass für die Bemessungsgruppe 3 und Raumhöhen von größer oder gleich 12 m bei einer erforderlichen raucharmen Schicht von 2,5 m Höhe eine Rauchabzugsfläche von 26,4 m² erforderlich wird. Entsprechend wären dies ca. 1,7 % der Grundfläche. Diese Planung ergibt jedoch, dass die Rauchschrägen zur Einteilung der Rauchabschnitte mindestens bis 2,5 m über den Boden, mit Sicherheitszuschlag nach /FVLR/ [37] von 0,5 m sogar bis 2 m über den Boden geführt werden. Dies lässt sich in Hochregallagern nicht mit angemessenem Aufwand umsetzen. Die Einschränkungen im Betrieb durch derartige Rauchschrägen sind nicht vertretbar.

Vergrößert man jedoch die Höhe der raucharmen Schicht, werden größere Rauchabzugsflächen erfor-

derlich. Bei einer gewünschten maximalen Dicke der Rauchschrift von 1,5 m unterhalb der Decke, was entsprechend nur noch 2 m hohe Rauchschrürzen erforderlich macht, ergibt sich eine Rauchschrürzenfläche von 57,8 m² je Rauchschrürzenabschnitt. Dies entspricht bei einem 1 600 m² großen Rauchschrürzenabschnitt einer wirksamen Öffnungsfläche von ca. 3,6 % der Grundfläche. Eine Erleichterung der /DIN 18232-2/ ermöglicht eine Rauchschrürzenabschnittsflächenvergrößerung um bis zu 1 000 m², wenn je angefangene 100 m² Rauchschrürzenabschnittsflächenvergrößerung die Rauchschrürzenfläche um 10 % erhöht wird. Bei einer Rauchschrürzenabschnittsfläche von 2 600 m² ergibt dies eine Verdoppelung der Rauchschrürzenfläche auf 115,6 m² oder umgerechnet einem Flächenanteil von 7,2 % der Rauchschrürzenabschnittsfläche.

Die sonstigen wesentlichen Anforderungen der /DIN 18232-2/ sind eine maximale Rauchschrürzenabschnittslänge von 60 m, eine gleichmäßige Verteilung der Rauchschrürzen innerhalb des Rauchschrürzenabschnitts, mindestens ein natürlicher Rauchschrürzen je 200 m² Fläche und eine Rauchschrürzenöffnungsfläche der /NRA/, die sich mindestens 0,25 m über der Dachoberfläche befindet. Die natürlichen Rauchschrürzenanlagen müssen rauchschrürzenabschnittsweise über die Brandmeldeanlage angesteuert werden. Weitere Anforderungen an natürliche Rauchschrürzen und Rauchschrürzen sind /DIN EN 12101-2/ zu entnehmen. Statt einer natürlichen Rauchschrürzenanlage kann eine maschinelle Rauchschrürzenanlage /MRA/ nach /DIN 18232-5/ geplant werden. In der Praxis werden in Hochregallagern jedoch fast ausschließlich /NRA/ eingesetzt. Die Ausbildung von vorgenannten Rauchschrürzenabschnittsflächen, Rauchschrürzenflächen der Größenordnung 3,6 % und Rauchschrürzen einer Höhe von 2 m kann als machbar eingestuft werden.

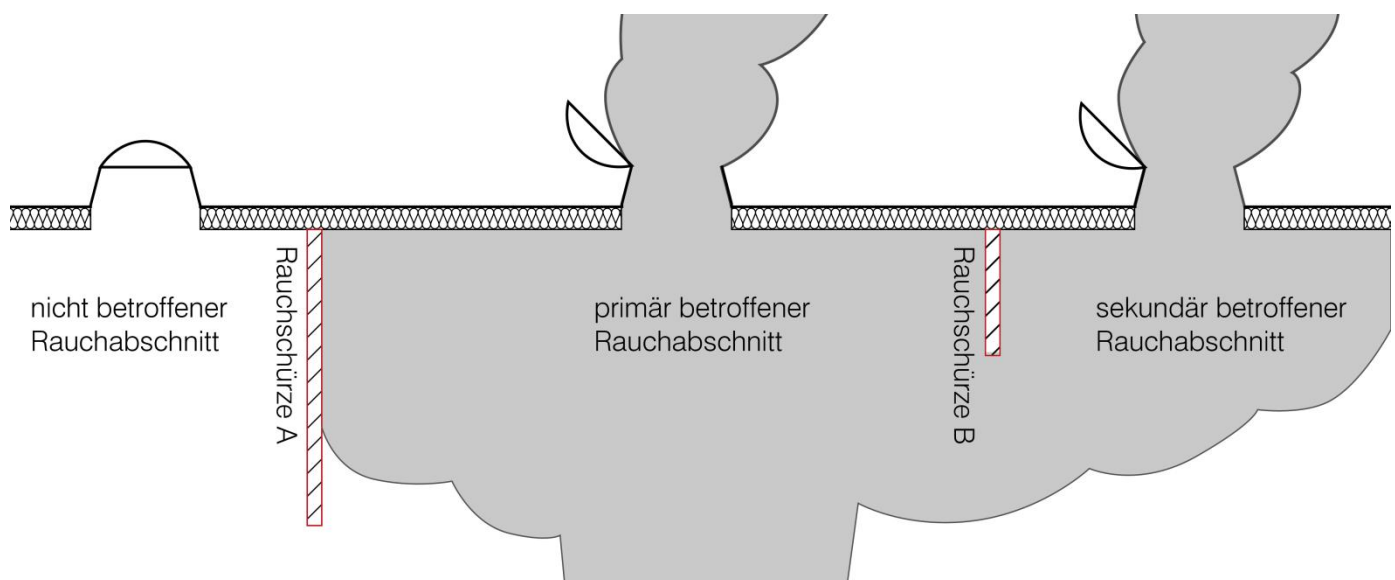


Abb. 25: Rauchschrürze A zur Rauchabschnittstrennung und Rauchschrürze B mit tolerierter Unterströmung der Rauchgase

Bei oberflächlicher Betrachtung der /DIN 18232-2/ und der Erleichterung A könnte aufgrund der Höhe

von Hochregallagern erwogen werden, die Rauchschürzen auf 1 m zu verkleinern und ein Unterströmen der Rauchschürzen in Kauf zu nehmen. Grundvoraussetzung für eine Unterströmung von Rauchschürzen ist jedoch, dass der Brandrauch aus benachbarten (sekundär betroffenen) Rauchabschnitten abgeführt werden kann und die Nachströmflächen entsprechend vergrößert werden. Im erläuternden Anhang A der /DIN 18232-2/ heißt es jedoch, *„Bei Bemessungsgruppe 3 (...) müssen die NRA-Flächen für jeden Rauchabschnitt bei den vorhandenen Rauchschürzen so groß bemessen werden, dass eine vollständige Rauchableitung aus diesem Rauchabschnitt erfolgt“* [90]. Eine Ausbildung unterströmter Rauchschürzen kommt also für Hochregallager nicht in Frage, wenn die /DIN 18232-2/ umgesetzt wird.

Natürliche Rauchabzugsanlagen müssen automatisch ausgelöst werden. Dies ist technisch über zwei Möglichkeiten erreichbar. Am gängigsten ist eine Aktivierung über die Auslösung der Brandmeldeanlage. Weiterhin möglich ist eine Auslösung über die Sprinkleranlage, die mit Beginn der Wasserabgabe die Rauchabzugsanlagen aktiviert. Für Hochregallager kann eine Aktivierung über die Brandmeldeanlage empfohlen werden, da die Auslösung eher erfolgt als bei einer Kopplung an die Sprinkleranlage. Befürchtungen, dass die wärmeaktivierte Sprinkleranlage hierdurch zu spät auslöst, müssen nicht bestehen, wenn die Sprinkleranlage und die natürliche Rauchabzugsanlage aufeinander abgestimmt werden. Laut /VdS 2815/ ist es sinnvoll, die Rauchabzugsanlagen vor der Löschanlage anspringen zu lassen, wenn die Rauchableitung der Sicherung der Rettungswege dient. Die Ausbildung eines Schneiseneffekts bei der Sprinkleranlage, die zu einer verminderten Löschleistung der Sprinkleranlage führt, ist zu verhindern [91]. Die /DIN 8232-2/ merkt ebenfalls an, dass eine möglichst frühzeitige Rauchableitung erfolgen muss, wenn über die natürlichen Rauchabzüge die Benutzbarkeit der Rettungswege sichergestellt wird. Andernfalls kann es zu einem Raucheintritt in bodennahen Schichten kommen. Die Rauchabzugsanlagen müssen zusätzlich auch von Hand ausgelöst werden können.

Bei Einsatz von ESFR-Sprinklern¹² gelten andere Anforderungen. Werden ESFR-Sprinkler erforderlich, darf die Rauchableitung nicht automatisch auslösen, sie muss von Hand ausgelöst werden. Lichtkuppeln und Rauchabzugsflächen im Dach müssen so ausgeführt sein, dass sie nicht vor Auslösen der Sprinkleranlage durchbrennen oder durch Abschmelzen öffnen. Lüftungsöffnungen im Dach müssen automatisch schließen. [92]

Für eine wirksame Rauchableitung nach /DIN 18232-2/ muss es im unteren Bereich des Hochregallagers Nachströmflächen geben. Sie dienen der Nachführung von Frischluft. Ihre Größe richtet sich nach

¹² ESFR steht für Early Suppression Fast Response, siehe Abschnitt 5.5.1 Sprinkleranlage.

der Größe der größten Rauchabschnittsfläche. Die Zuluftfläche muss das 1,5-fache der aerodynamisch wirksamen Öffnungsfläche des Rauchabschnitts besitzen. Die Zuluftöffnungen sollen sich an mindestens zwei Seiten des Hochregallagers befinden und müssen möglichst weit unten angeordnet sein (bodennahe Einströmung), um eine Verwirbelung der Rauchsicht zu verhindern. Zuluftflächen von Hochregallagern müssen automatisch bei Auslösen der Brandmeldeanlage öffnen. Bei Vorhandensein einer Werkfeuerwehr kann auf ein automatisches Öffnen der Zuluftflächen verzichtet werden, wenn durch die Werkfeuerwehr die Zuluftflächen unverzüglich und zerstörungsfrei geöffnet werden können. Hierzu müssen an den Öffnungsflächen Hinweisschilder nach /DIN 4066/ angebracht sein.

Bei Hochregallagern besteht ein Konflikt zwischen wirtschaftlichen Interessen und dem Bedarf an Nachströmflächen. Durch die bauliche Abtrennung der Kommissionierungszone fällt diese Seite zur Ausbildung von Nachströmflächen zunächst weg. An den Seitenwänden werden in der Regel Regalfächer geplant. Gerade Regalfächer in Bodennähe sind besonders „beliebt“, da sie sehr kurze Zugriffszeiten erlauben. Werden hier Nachströmflächen geplant, führt dies zwangsläufig zum Wegfall bodennaher Regalfächer. Es bleibt lediglich die Rückseite des Hochregallagers für die erforderlichen Zuluftöffnungen, dabei sind Öffnungen an zwei Seiten unbedingt zu empfehlen. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein, trotz natürlicher Rauchabzüge eine maschinelle Zuluft zu planen. Auch eine Nachströmung durch Wände mit Feuerwiderstandsfähigkeit ist denkbar, wenn die Öffnungen mit Brandschutzklappen entsprechender Feuerwiderstandsfähigkeit ausgestattet werden und über Rauchdetektoren verfügen, die das Schließen der Brandschutzklappe bewirken, sobald Rauch in der Brandschutzklappe detektiert wird. Wird eine maschinelle Zuluft oder eine Nachstromführung über Brandschutzklappen geplant, ist nachzuweisen, dass diese ein gleichwertiges Ergebnis verglichen mit einer rein natürlichen Rauch- und Wärmeabzugsanlage nach /DIN 18232-2/ erreichen, die Brandfortleitung aber nicht erleichtert wird. Dass diese Maßnahmen zu einer Überbemessung der Querschnittsflächen führen, ist zu erwarten.

5.2.4 Tragende und aussteifende Bauteile

In Österreich wird für Lagergebäude mit nur einem Geschoss gefordert, dass die Tragkonstruktion aus Baustoffen der Euroklasse A2 bestehen oder die Feuerwiderstandsklasse R 30 erfüllen [52]. Die zurückgezogene /TRVB N 142/ fordert sogar grundsätzlich die Erfüllung von 30 Minuten Feuerwiderstandsdauer und eine Herstellung aus nichtbrennbaren Baustoffen [53].

Auch im Sicherheitsdokument /1681-00.d/ des schweizer Sicherheitsinstituts werden nicht brennbare Tragwerke gefordert [58].

An tragende und aussteifende Bauteile von erdgeschossigen Gebäuden der Sicherheitskategorie K4 stellt die /MIndBauRL/ keine Anforderungen. Für Hochregallager soll das entsprechend gelten. Damit besteht die Möglichkeit Hochregallager auch in wesentlichen Teilen aus Holz zu erstellen. Die Erläuterung der Musterindustriebaureichtlinie /Erl MIndBauRI/ geht für ungeschützte Stahltragwerke von bis zu 15 Minuten Feuerwiderstandsfähigkeit aus [4]. Innerhalb dieser Zeit können alle Anwesenden den betroffenen Brandabschnitt verlassen. Auch Hochregallager aus Holz haben aufgrund der Bauteilüberbemessung, die zum Beispiel schon erforderlich ist, um Toleranzen zwischen belastetem und unbelastetem Zustand zu begrenzen, effektiv eine Widerstandsfähigkeit gegen Brandbeanspruchung. Laut einem Fachartikel zum Thema Hochregallager aus Holz kann aufgrund dieser Überbemessung von einer besseren Widerstandsfähigkeit als bei vergleichbaren Lagern aus Stahl ausgegangen werden [93].

Für Bauteile, die andere Bauteile mit Feuerwiderstandsfähigkeit tragen oder aussteifen, ist eine entsprechende Feuerwiderstandsfähigkeit erforderlich.

5.2.5 Decken

Üblicherweise wird auf Decken im Lagerbereich von Hochregallagern verzichtet. Sollten Decken beispielsweise zu Kellerbereichen geplant werden, so ist eine Feuerwiderstandsdauer entsprechend des dadurch entstehenden Risikos erforderlich. Befinden sich über oder unter der Decke Räume mit besonderer Brandgefahr, ist eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten erforderlich, ebenso für Räume mit besonderem Schutzbedürfnis wie Fluchttunnel, Spinkleranlagentechnik oder für Räume für den elektrischen Funktionserhalt.

5.2.6 Außenwände

In Österreich richtet sich die Baustoffwahl von Außenwänden nach der Höhe des Gebäudes. Für Betriebsbauten mit nur einem oberirdischen Geschoss und einer Außenwandhöhe von mehr als 14 m müssen die Baustoffe der Euroklasse des Brandverhaltens mindestens B bestehen. Diese Baustoffklasse muss durch das Bauteil oder die Einzelkomponenten erreicht werden. Ist mehr als ein Geschoss vorhanden, müssen die Baustoffe mindestens die Euroklasse A2 erfüllen [52]. Die sogenannten Euroklassen entsprechen den Baustoffklassen nach /DIN EN 13501-1/. Die /TRVB N 142/ fordert für Umfassungsbauteile grundsätzlich nichtbrennbare Baustoffe und einen Feuerwiderstand von 30 Minuten. Bei Brandabschnittsflächen von unter 3 000 m² können Dämmstoffe auch der Brennbarkeitsklasse

B1, schwerbrennbar¹³ entsprechen (entspricht schwerentflammbar nach /DIN 4102-1/) [53]. In der Schweiz sind laut /1681-00.d/ nicht brennbare Baustoffe für die Außenwandbekleidung zu verwenden. Dies gilt auch für Materialien der Wärmedämmung [58].

Für Hochregallager können in Deutschland die Anforderungen aus der /VDI 3564:2011-01/ übernommen werden. Ein Feuerwiderstand kann nicht generell gefordert werden. Außenwände (inkl. Wärmedämmung, Wetterschutz, Dampfsperren) des Hochregallagers müssen aufgrund der Höhe der Gebäude aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen. Baustoffe im Inneren der Außenwände wie beispielsweise die Wärmedämmung dürfen in als Kühllhäuser genutzten Hochregallagern aus schwerentflammbaren Baustoffen bestehen, wenn die Außen- und die Innenwandbekleidung aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen (z.B. brennbare Baustoffe allseitig mit nicht brennbaren Stoffen umschlossen sind) und die geforderte Sprinkleranlage so installiert ist, dass ein Brandeintritt in die Wanddämmung nicht zu befürchten ist [1].

Wärmedämmung und Außenbekleidungen sind entsprechend der /VDI 3564:2011-01/ mechanisch zu befestigen. Im Bereich von Brandwänden kommen besondere Anforderungen an die Beschaffenheit der Außenwände zum Tragen, siehe hierzu Abschnitt 5.2.1 „Brandabschnitte und Brandwände“.

5.2.7 Dachtragwerk und Bedachung

An das Dachtragwerk von Hochregallagern werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Dies wäre nicht sinnvoll, da auch an die Regalierung und Tragkonstruktion keine brandschutztechnischen Anforderungen gestellt werden können. Das geforderte Sicherheitsniveau wird durch die sonstigen Anforderungen dieser Empfehlung erreicht. Werden brennbare Baustoffe verwendet, so ist ein Schutz dieser durch die Sprinkleranlage ausreichend lange zu gewährleisten.

Die Bedachung muss in Anlehnung an die /MIndBauRL/ so ausgebildet werden, dass eine Brandausbreitung innerhalb des Brandabschnitts oder des Brandbekämpfungsabschnitts erheblich erschwert wird. Entsprechend der /MIndBauRL/ gilt dies als erfüllt, wenn die tragende Dachschaale aus mineralischen Baustoffen hergestellt ist oder die Bedachung ausschließlich aus nicht brennbaren Baustoffen besteht. Entsprechend der /MBO/ muss es sich um eine harte Bedachung (widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme nach /DIN 4102-7/) handeln. Bedachungen mit brennbarer Dämmung nach /DIN 18234-1/ und Beiblatt 1 kommen für Hochregallager nicht in Frage, da ein Brand der

¹³ Die Brennbarkeitsklasse „B1, schwer brennbar“ entspricht der Baustoffklasse „B1, schwer entflammbar“ nach /DIN 4102-1/.

Dach-Dämmung weder durch eine Sprinkleranlage noch durch Einsatzkräfte der Feuerwehr gelöscht werden kann.

Ausgenommen hiervon sind Dachkuppen, wie sie beispielsweise für die Entrauchung erforderlich sein können. Sie sind jedoch so anzuordnen, dass Feuer nicht auf andere Gebäudeteile und Nachbargrundstücke und ins Dach übertragen werden kann. Für Dachdurchdringungen sind /DIN 18234-3/ und /DIN 18234-4/ zu beachten. Bedachungsteile aus brennbaren Baustoffen sind nur dann zulässig, wenn eine Brandweiterleitung nach innen nicht zu befürchten ist oder Vorkehrungen hiergegen getroffen werden. Materialien von Rauch- und Wärmeabzugsflächen dürfen nicht brennend abtropfen. Werden lichtdurchlässige Bedachungen aus nicht brennbaren Materialien, einschließlich der Fugen-, Dichtungs- und Dämmstoffe, hergestellt, sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Die Anforderungen an das Dach sind in Österreich und der Schweiz mit den oben genannten vergleichbar [53], [58].

5.2.8 Feuerschutzabschlüsse

Die Wirksamkeit von geprüften Feuerschutzabschlüssen, wie sie obenstehend gefordert werden, hängt im Wesentlichen vom zulassungskonformen Einbau und von erhaltenden Maßnahmen ab. Feuerschutztüren müssen entsprechend der technischen Bestimmungen selbsttätig schließen. Sollen Feuerschutzabschlüsse betriebsbedingt offen gehalten werden, so sind zugelassene Feststellanlagen zu verwenden, die selbsttätig schließen, wenn an der Oberkante der Öffnung Rauch detektiert wird. Sie müssen zudem von Hand zu schließen sein (Handauslösung der Feststellanlage). Ein Offenhalten von Feuerschutzabschlüssen mittels Keilen, Seilen oder ähnlichen Gegenständen ist unzulässig und stellt eine große Gefahr dar. Eine große Versagens-Gefahr für Feuerschutzabschlüsse besteht dann, wenn sie durch herumstehende Gegenstände am ordnungsgemäßen Schließen behindert werden. Gerade in Lagerbereichen, in denen das Lagergut mit Flurförderfahrzeugen bewegt wird, besteht die Gefahr unsachgemäß abgestellter Ladungsträger und Güter. Um dem entgegenzuwirken, erscheint es sinnvoll, den Schließbereich von Feuerschutzabschlüssen im Hochregallager zu kennzeichnen. Eine flächige Färbung, Schraffur oder Ähnliches können hier günstig und wirksam Abhilfe schaffen. Eine Überbemalung von 0,3 m der gekennzeichneten Fläche sollte genügen.

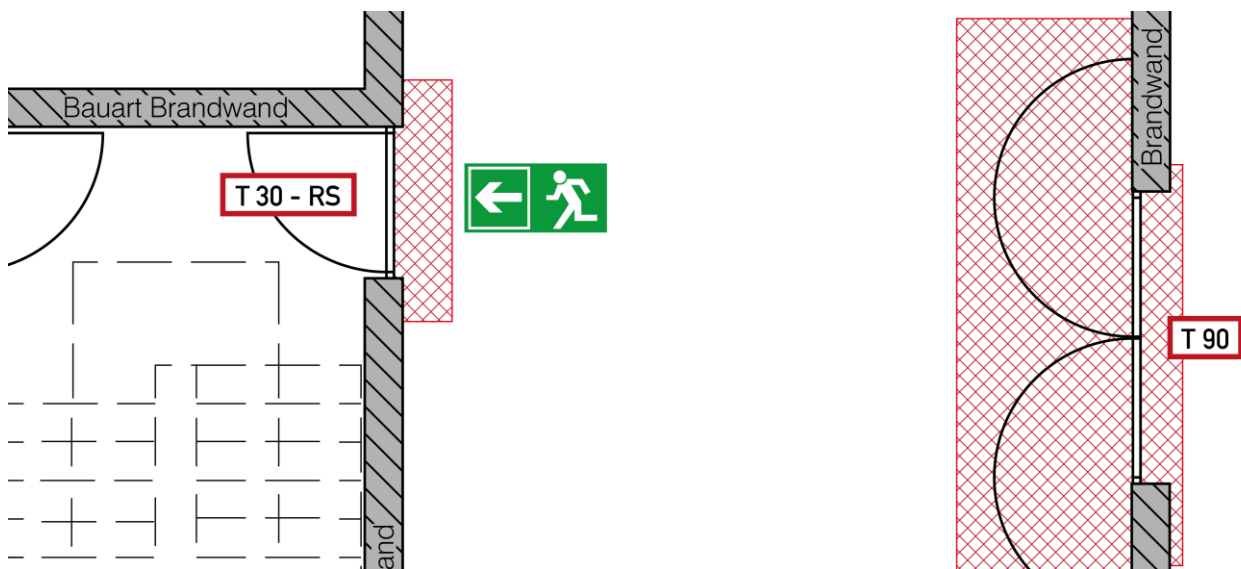


Abb. 26: Mögliche Bodenkennzeichnung für die Öffnungsbereiche von Feuerschutzabschlüssen [88]

5.3 Branddetektierung

Brandmeldeanlagen erkennen Feuer frühzeitig und ermöglichen es, unterschiedliche Prozesse automatisch in Gang zu setzen. Dabei lässt sich Feuer auf unterschiedlichste Weise detektieren. Die meist verwendete Detektionsmöglichkeit ist der Brandrauch. Photoelektrische Sensoren melden, sobald sich im Strahlengang Partikel befinden. Daneben gibt es Sensoren, die ebenfalls photoelektrisch registrieren, wenn Infrarotstrahlung in einer bestimmten Weise emittiert wird, die auf Flammen schließen lässt. Die dritte gängige Methode ist die Branddetektierung über die Sprinkleranlage. Sobald sie auslöst, wird von einem Feuer ausgegangen und alarmiert. Die Brandmeldeanlage ermöglicht es, die Anwesenden über akustische oder optische Signalgeber zu warnen und ermöglicht eine frühzeitige Alarmierung der Feuerwehr auch in den Stunden, in denen der Betrieb im Hochregallager ruht. Zudem kann über die Brandmeldeanlage die Rauch- und Wärmeabzugsanlage ausgelöst werden, um Schäden durch Rauch und die Geschwindigkeit der Brandausbreitung zu begrenzen. Die Anforderungen an Brandmeldeanlagen sind in der /DIN 14675/, die einzelnen Bauteile in /DIN EN 54/ und Vorgaben zur Ausführung in /DIN VDE 0833-2/ beschrieben.

Die anerkannten technischen Regeln in Deutschland aber auch die Vorgaben in Österreich und der Schweiz fordern die Einrichtung einer Brandmeldeanlage in Hochregallagern [1], [52], [53], [57], [58]. Die Brandmeldung muss zu einer hilfeleistenden und ständig besetzten Stelle bzw. der Leitstelle der Feuerwehr weitergeleitet werden. In den Regelungen für Hochregallager ohne oder mit wenig Personen dient die Brandmeldeanlage vorwiegend der Alarmierung der Feuerwehr.

Für Hochregallager mit Personen rückt jedoch die interne Alarmierung in den Vordergrund. Sie ist er-

forderlich, um frühzeitig vor der Gefahr zu warnen und eklatant für den Erfolg der Flucht. Aus diesem Grund soll die schnellste Alarmierungsmöglichkeit erforderlich sein. Am schnellsten wird in der Regel die Kenngröße Rauch detektiert. Rauch steigt bereits auf, bevor sich offene Flammen bilden. Infrarotsensoren lösen aus, sobald offene Flammen sichtbar werden und diese eine ausreichende Größe haben. Die Verzögerung hängt stark vom Brandgut ab und kann einige Sekunden bis mehrere Minuten betragen. Die mutmaßlich langsamste Branddetektion erfolgt durch die Sprinkleranlage. Sie erfolgt kurze Zeit nachdem offene Flammen sichtbar werden und sich das Auslöseelement ausreichend erwärmt hat. Kommt es bei der Alarmierung der Feuerwehr auf wenige Sekunden Verzögerung noch nicht an, so zählt bei der Alarmierung der Anwesenden jede Sekunde. Aus diesem Grund muss in Hochregallagern die Brandmeldung über die Kenngröße Rauch stattfinden und die Rauch- und Wärmeabzugsanlage, sofern die Sprinkleranlage keine entgegengesetzten Anforderungen stellt, an diese gekoppelt sein. Damit die Brandmeldeanlage auch im Falle eines Stromausfalls funktioniert, ist sie an den elektrischen Funktionserhalt (Sicherheitsstromversorgung) anzuschließen. Ist die allgemeine Netzstromversorgung unterbrochen, muss die Brandmeldeanlage dies erkennen und melden, da der Funktionserhalt zeitlich begrenzt ist und die Netzstromversorgung wieder hergestellt werden muss, um einen zuverlässigen Schutz zu gewährleisten.

5.4 Rettungskonzept

5.4.1 Horizontale Rettungswege

Rettungswege müssen so ausgebildet sein, dass sie im Brandfall ausreichend lange genutzt werden können. Aus jedem Raum des Hochregallagers müssen zwei unabhängige Rettungswege zur Verfügung stehen. Ausgenommen hiervon sind Technikräume oder vergleichbare Räume, in denen sich Personen nur selten und ausschließlich zur Wartung oder Reparatur der enthaltenen Technik befinden. In diesen Fällen genügt ein Rettungsweg. Die Breite der Rettungswege muss so bemessen sein, dass sie der größten zu erwartenden Personenzahl genügt [3].

In der Züricher Kantonalen Feuerpolizei Hochregallager werden die Rettungsweglängen auf 35 m bei zwei Fluchtrichtungen und auf 20 m bei einer Fluchtrichtung begrenzt [54]. Nach Blatt /1681-00.d/ des schweizer Sicherheitsinstituts, das von einer geringen Personenzahl ausgeht, sind mehr als 50 m Rettungsweglänge nur mit Zustimmung der für Brandschutz zuständigen Stelle möglich. Die Besonderheiten von Hochregallagern mit Man-Up-Regalbediengeräten werden jedoch nicht bedacht. [58]

Die /OIB-RL 2.1/ begrenzt die Fluchtweglänge für österreichische Betriebsbauten zunächst auf 40 m. Unter Auflagen können jedoch Fluchtweglängen bis 70 m erlaubt werden. Voraussetzung hierfür ist

das Vorhandensein einer Brandmeldeanlage oder einer stationären Löschanlage. Zudem dürfen keine weitere Gefährdung als durch Brandeinwirkung vorliegen und keine Bedenken wegen der Einhaltung der Schutzziele bestehen. Nach /TRVB N 142/ darf die Fluchtweglänge 40 m bis in einen gesicherten Bereich betragen, wobei für vertikale Fluchtabschnitte ab 4 m Höhe wie Leitern die doppelte Höhe als Fluchtweglänge gezählt wird. Ist eine automatische Brandmeldeanlage vorhanden, kann auch für die vertikale Flucht die einfache Entfernung als Fluchtweglänge angerechnet werden. Als gesicherte Bereiche im Sinne der /TRVB N 142/ gelten Bereiche mit geringer Brandlast, die mindestens F 60-Wände und T 30-Türen besitzen. Gerade die Rechenweise der vertikalen Flucht mit dem konkreten Beispiel von Leitern kann gut auf Hochregallager mit Regalbediengeräten des Man-Up-Systems angewendet werden, da diese Regalbediengeräte gegebenenfalls über Leitern verlassen werden müssen.

In Deutschland gelten Rettungswege als ausreichend lange benutzbar, wenn sie so angeordnet sind, dass sich zwei unterschiedliche Fluchtrichtungen ergeben. Zudem müssen sie nach /MIndBauRL/ direkt ins Freie, in Treppenträume oder in andere Brandabschnitte führen. Die Rettungsweglänge des ersten Rettungswegs darf 35 m in Luftlinie, jedoch nicht durch Bauteile, und das 1,5-fache entlang des Laufwegs nicht überschreiten. Aus Lagerbereichen mit nur einer Fluchtrichtung oder Technikräumen darf die Rettungsweglänge 15 m in Luftlinie, jedoch nicht durch Bauteile, und das 1,5-fache entlang des Laufwegs nicht überschreiten. Sie müssen breit genug sein, um dem zu erwartenden Personenaufkommen gerecht zu werden. Diese Längen entsprechen den Vorgaben für notwendige Flure nach /MBO/ und sollen für Hochregallager dieser Ausarbeitung gelten. Sie ermöglichen auch dann eine sichere Flucht, wenn zunächst Regalbediengeräte über Leitern verlassen werden müssen.

Regalbediengeräte mit Man-Up-System müssen über eine Notleiter verfügen, über die der Bedienstand des Regalbediengeräts bei Ausfall der Stromversorgung oder Steuerung verlassen werden kann.

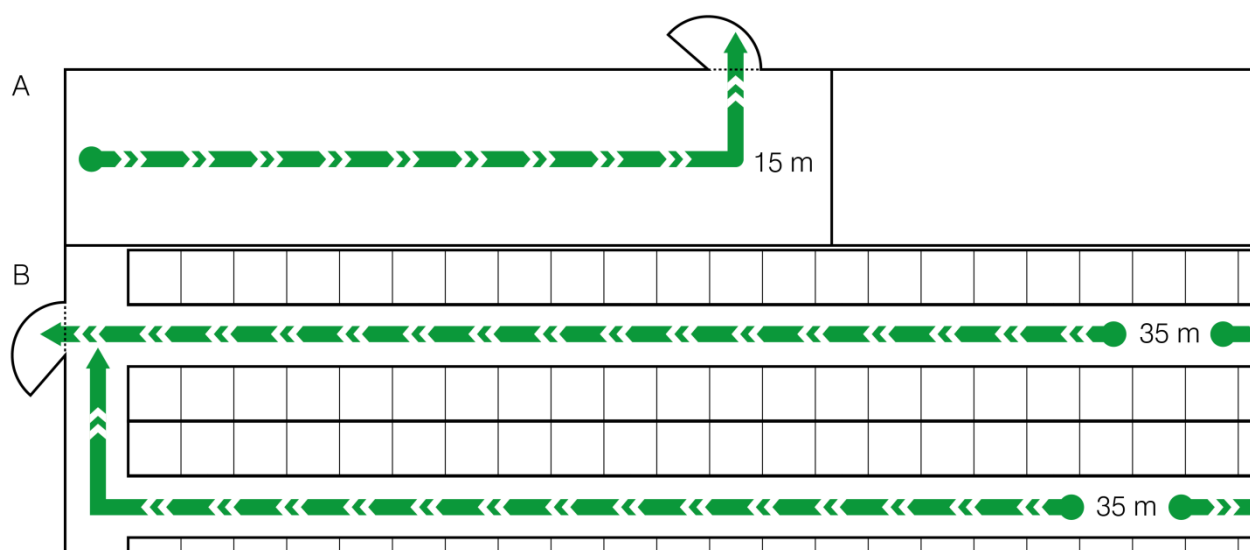


Abb. 27: Mögliche Rettungsweglängen für A: Technikräume und Bereiche mit nur einer Fluchtrichtung, B: Räume und Bereiche mit zwei Fluchtrichtungen

Für Hochregallager mit einer maximalen Lagerguthöhe von 12 m und Regalbediengeräten des Man-Down-Systems dürfen die Fluchtweglängen verdoppelt werden. Es wird angenommen, dass die Dauer zur Flucht in diesen Fällen bei doppelter Rettungsweglänge vergleichbar mit denen in Hochregallagern mit Man-Up-Systemen ist. Den Personen im Hochregallager soll so ermöglicht werden, den Gefahrenbereich verlassen zu können, bevor eine gesundheitsgefährdende Rauchgaskonzentration im Bereich der Fluchtwege erreicht wird. Dabei wird für das Laufen zu ebener Erde eine Fluchtgeschwindigkeit von $2,7 \text{ m/s}$ (ca. 10 km/h , entspricht schnellem Gehen oder leichtem Joggen) und für die vertikale Flucht im Man-Up-System von 1 m/s angenommen. Für das Verlassen eines ebenerdigen Regalbediengeräts kann eine Dauer von weniger als 5 Sekunden erwartet werden. Fällt jedoch ein Regalbediengerät mit Man-Up-System aus, erhöht sich die Dauer bis zum Erreichen des Bodens erheblich. In diesem Fall muss auf die Notleiter des Regalbediengeräts umgestiegen werden. Der Umstieg auf die Notleiter und der Abstieg aus 20 m Höhe kann so eine Dauer von ca. 60 bis 120 Sekunden in Anspruch nehmen. Eine Gesamtfluchtzeit von 180 Sekunden sollte jedoch auch in diesem Fall nicht überschritten werden, um die Exposition gegenüber Rauch zu vermeiden. Zwischen Sprinkleranlage und Rauchsicht gibt es eine Wechselwirkung, die diese kurzen Fluchtzeiten erforderlich macht. In Brandversuchen unterschiedlicher Sprinklerhersteller [94], [95], [96], wird deutlich, dass die Sprinkleranlage den aufsteigenden Brandrauch kühlt und niederschlägt. Je mehr Zeit verstreicht, desto dichter wird die Rauchsicht in Bodennähe. Dieser Effekt tritt zunächst im Bereich des Brandherds auf, da hier die Sprinkleranlage tätig wird. Die Rauchsicht in Bodennähe breitet sich von hier aus näherungsweise kreisförmig nach Art einer Schwergaswolke aus. Die Differenzierung der Rettungsweglänge anhand der unterschiedlichen Höhen der Lager und der Art der verwendeten Regalbediengeräte trägt zu einem

gleichwertigen Schutzniveau bei.

Die Mindestbreite von Rettungswegen, auch von Türen im Verlauf dieser, darf 0,9 m im Lichten nicht unterschreiten, um sowohl der Flucht als auch dem Feuerwehreinsatz zu genügen. Sie müssen beleuchtet und mit einer Sicherheitsbeleuchtung ausgestattet sein. Türen im Verlauf von Fluchtwegen müssen in Fluchtrichtung geöffnet werden können, wenn nur eine Fluchtrichtung vorliegt.

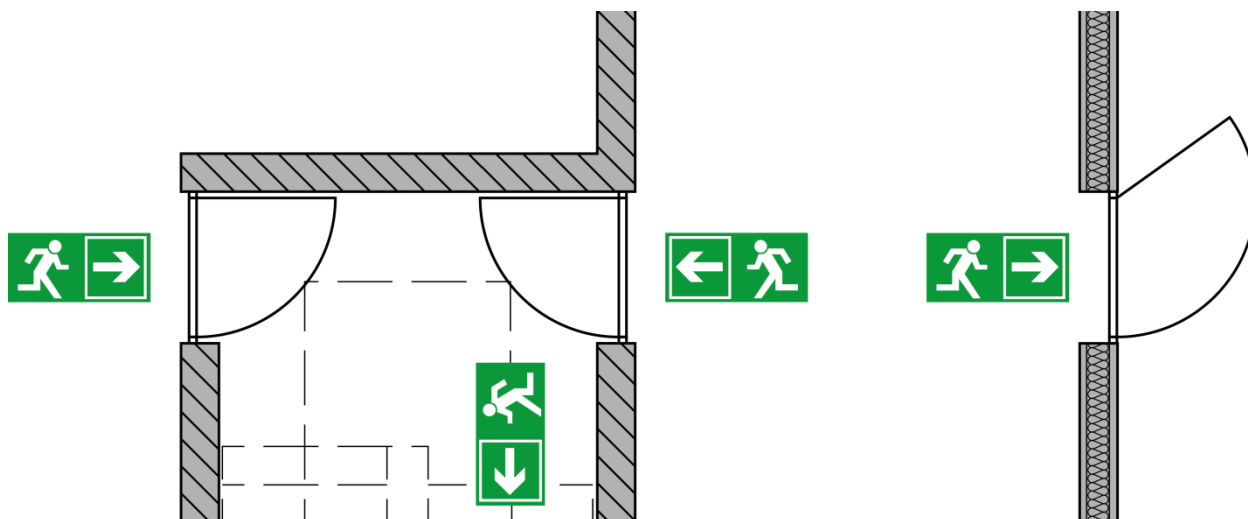


Abb. 28: Türen öffnen in Fluchtrichtung, sofern sie nicht in zwei Richtungen zur Flucht genutzt werden [88]

Rettungswege sind gleichzeitig auch Angriffswege für die Feuerwehr, um Fremdrettung, Löschnmaßnahmen oder die Entrauchung durchzuführen. Anforderungen wie beispielsweise der Feuerwiderstand von Bauteilen oder die Anforderungen an die Baustoffe, werden unter Ziffer 5.2 „Bauliche Anforderungen“ beschrieben.

5.4.2 Vertikale Rettungswege

Rettungswege aus Bereichen, die nicht zu ebener Erde liegen, benötigen notwendige Treppen oder Außentreppen, die auf das umliegende Geländeniveau führen. Notwendige Treppen müssen in eigenen Treppenräumen angeordnet und durchgängig sein. Sie müssen direkt ins Freie führen und beleuchtet und zu entrauchen sein. Werden anstatt von notwendigen Treppen Außentreppen geplant, so ist sicherzustellen, dass sie im Brandfall sicher benutzt werden können. Diese Anforderungen gibt es auch in Österreich und der Schweiz, wobei für die Sicherung des Fluchtwegs unterschiedliche Feuerwiderstandsfähigkeiten von Wänden und Türen gefordert werden. An dieser Stelle sollen die deutschen Regelwerke herangezogen werden. Treppenraumverlängerungen und Fluchttunnel werden als den Treppenräumen gleichwertig angesehen. Sie müssen entsprechend ausgestattet sein.

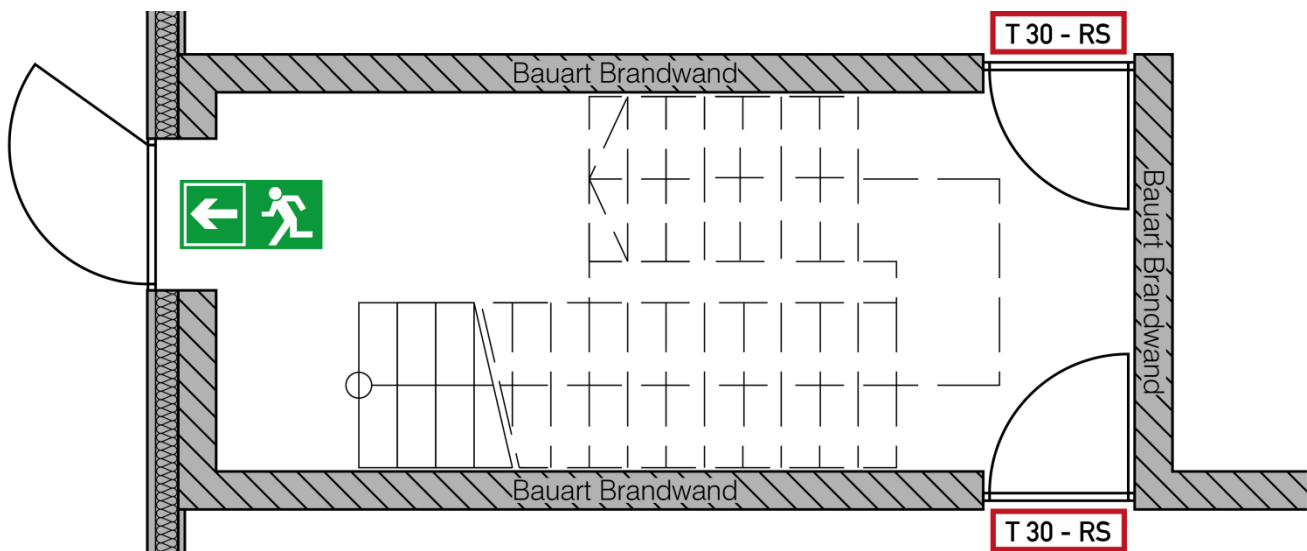


Abb. 29: Außenliegender Treppenraum mit Wänden der Bauart Brandwand und feuerhemmenden Türen, die rauchdicht und selbstschließend sind [88]

Türen von Treppenräumen müssen die Anforderungen feuerhemmend, rauchdicht und selbstschließend erfüllen (z.B.: T 30-RS bzw. EI 30-C-S). In den Treppenraum darf keine Brandlast eingebracht werden, die nicht zum Betrieb des Treppenraums erforderlich ist. Dies schließt das Be- oder Durchfahren von Treppenräumen mit Flurförderfahrzeugen oder Ähnlichem aus; auch das Abstellen von Möbeln oder sonstigen Brandlasten ist in Treppenräumen nicht zulässig. Decken, Bodenbeläge (ausgenommen Trittschutzprofile) und Wandverkleidungen müssen aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen. Treppenräume müssen zu entrauchen sein, hierzu genügen Fenster oder Rauchabzugsklappen. Die Vorgaben der /MBO/ für Treppenräume der Gebäudeklasse 5 können herangezogen werden.

Wände von Treppenräumen müssen in der Bauart Brandwand ausgeführt werden. Diese haben eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten und besitzen einen besonderen Widerstand gegen mechanische Beanspruchung.

Eine besondere Herausforderung stellt das Retten von verunfallten oder erkrankten Personen vom Dach des Hochregallagers dar. Wenn auch das Dach nur äußerst selten betreten wird, beispielsweise für Wartungsarbeiten an Dach und Rauchabzug oder wie in den Wintern 2006 und 2010 häufig erforderlich zum Schneeräumen, besteht eine Anforderlichkeit für einen Rettungsweg. Die /VDI 3564:2011-01/ begegnet dieser Anforderlichkeit mit einer fest installierten Zugangsmöglichkeit von außen für Hochregallager ab 22 m Höhe. Dies kann über eine Nottreppe oder Notleiter nach /DIN 14094/ erreicht werden. Zudem wird eine fest installierte technische Einrichtung zur Rettung von verletzten Personen, wie z.B. eine Abseileinrichtung, gefordert. Die Anforderungen aus der vorgenannten VDI-Richtlinie können grundsätzlich als sinnvoll erachtet werden und können auch an Hochregalla-

ger dieser Ausarbeitung gestellt werden, wenn eine Dachhöhe größer oder gleich 22 m vorliegt. Als Abseileinrichtung sollte eine festinstallierte Zugöse ausreichen, die als Fix-Punkt zum Abseilen genügt. Eine entsprechende Zugfestigkeit mit Überbemessung muss nachgewiesen werden. Es ist darauf zu achten, dass die Feuerwehr über entsprechendes Gerät und die Ausbildung zur Höhenrettung verfügt. Eine behördliche Absprache muss erfolgen. Für Hochregallager mit geringeren Höhen besteht ebenso die Anforderlichkeit, eine Personenrettung zu ermöglichen. Eine Dachhöhe von weniger als 22 m kann mit Geräten der Feuerwehr erreicht werden (Leitern oder Hubrettungsfahrzeuge). Hierzu ist es jedoch erforderlich, dass entsprechendes Gerät innerhalb einer vertretbaren Zeit am Einsatzort eintreffen kann und nutzbare Aufstellflächen vorgehalten werden (s. Abschnitt 5.5.4 Feuerwehrflächen). Es ist abzuwägen, ob eine fest installierte Treppe und eine Zugöse, wie sie für Hochregallager über 22 m gefordert sind, eingerichtet werden, oder ob ein Anleiten ermöglicht werden soll. Beide Möglichkeiten erfüllen die Anforderung dieses Absatzes.

5.4.3 Rettungswege im Freien

Rettungswege im Freien müssen jederzeit benutzbar sein und bis zum öffentlichen Straßenland führen. Befinden sich auf dem Gelände Absperrvorrichtungen im Verlauf von Rettungswegen, so müssen diese in Fluchtrichtung ohne Hilfsmittel leicht und in voller Breite geöffnet werden können. Rettungswege im Freien müssen beleuchtet sein.

Zudem sind im Freien Sammelstellen einzurichten und als solche zu kennzeichnen. Sie müssen außerhalb des Gefahrenbereichs liegen und dienen dazu, festzustellen, ob alle Mitarbeiter das Gebäude verlassen haben. Sie müssen so angeordnet sein, dass die Arbeiten der Feuerwehr nicht behindert werden.

5.4.4 Fremdrettung

Die Anforderlichkeit einer Fremdrettung sollte unbedingt vermieden werden. Bei einer zu erwartenden Eintreffzeit der Feuerwehr von 8 bis 12 Minuten nach Eingang des Alarms, ist zu befürchten, dass eine Vermischung der Rauchsichten stattgefunden hat. Eine Personensuche unter schwerem Atemschutz bei eingeschränkter Sicht hat aufgrund der Dimensionen der Lagerhalle wenig Aussicht auf Erfolg. Außerdem stellt die Personensuche für die Feuerwehr ein nicht vertretbares Risiko dar, wenn die Ausbreitung des Feuers und die damit einhergehende Schwächung der Tragkonstruktion der Regale nicht eingeschätzt werden kann. Spätestens nach 15 Minuten ist Bauteilversagen zu befürchten.

5.4.5 Kennzeichnung der Rettungswege

Alle Rettungswege und Ausgänge aus den Bereichen des Lagers sind durch Hinweisschilder nach /DIN 4844/ Teile 1 und 2 so zu kennzeichnen, dass die Ausgänge nach Ziffer 5.4.1 von Mitarbeitern, aber auch von Personen ohne nähere Ortskenntnis sicher aufgefunden werden können. Die Schilder müssen beleuchtet oder hinterleuchtet und an die Sicherheitsstromversorgung angeschlossen oder einzelbatteriegepuffert sein. Selbstleuchtende Rettungswegzeichen besitzen eine bessere Sichtbarkeit als jene, die nur beleuchtet sind [19], [97]. Es sind deshalb selbstleuchtende Rettungswegzeichen zu empfehlen.

Eine Alternative zu Rettungswegzeichen nach /DIN 4844/ können optische Sicherheitsleitsysteme sein, die in den Boden eingelassen werden. Die /BGR 216/ regelt den Einbau solcher bodennahen Sicherheitsleitsysteme in Arbeitsstätten. Sie müssen immer dann installiert werden, wenn mit einer derart starken Verqualmung zu rechnen ist, dass herkömmliche Rettungswegzeichen nicht ausreichen. Es gibt elektrisch betriebene und selbstnachleuchtende Bodenleitsysteme. Letztere sind für Hochregallager als ausreichend anzusehen, wenn sie entsprechend der /BGR 216/ ausgeführt werden. Ob der Einsatz von bodennahen Sicherheitsleitsystemen erforderlich ist, ist im Einzelfall in Abhängigkeit der Rauchentwicklung und der Rauchableitung durch den Brandschutzplaner zu prüfen.

5.4.6 Internalarmierung

Wesentlich für den Erfolg der Selbstrettung ist die frühzeitige Alarmierung der Personen im Gefahrenbereich. Gerade im Hinblick auf die Tatsache, dass nicht nur die Flucht zu ebener Erde erfolgt, sondern ggf. erst das Regalbediengerät heruntergefahren werden muss, ist ein frühestmögliches Inkenntnissetzen über die Gefahrensituation erforderlich. Auch in Österreich und der Schweiz sind Maßnahmen zur frühzeitigen Warnung der Mitarbeiter vorgeschrieben [53], [52], [58].

Zur Alarmierung der Personen bei einem Brandereignis ist im Hochregallager und in den dazugehörigen Gebäudeteilen die Einrichtung einer internen Alarmierungsanlage erforderlich. Diese muss entsprechend der /DIN VDE 0833-1/ und /DIN VDE 0833-2/ oder /DIN EN 60849/ geplant werden. Die Signalgeber können in Form von Hupen oder Sirenen ausgeführt werden, eine Sprachansage ist nicht erforderlich. Die Anzahl muss so gewählt werden, dass das Alarmsignal in allen Bereichen auch unter der Lärmentwicklung des laufenden Betriebs wahrgenommen wird. Kann über eine akustische Alarmierung nicht gewährleistet werden, dass alle Personen im Hochregallager erreicht werden, ist zusätzlich eine optische Alarmierungseinrichtung zu planen, die den Alarm durch rote Drehspiegel- oder Stroboskopblitzleuchten anzeigt.

Die Alarmierung muss erfolgen, sobald ein nichtautomatischer (Handtaster) oder ein automatischer Brandmelder im Gebäude ausgelöst wird und auch im Falle des Ausfalls der allgemeinen Stromversorgung, da die Sicherheitsstromversorgung nur eine Dauer von 90 Minuten überbrücken muss und eine Alarmierung nach Ablauf dieser nicht mehr möglich sein kann.

Alarmiert werden kann brandabschnittsweise oder im Gesamtgebäude. Eine Alarmierung von nur einzelnen Brandabschnitten sollte ausreichend sein, da benachbarte Brandabschnitte für mindestens 90 Minuten durch die bauliche Abtrennung mit Brandwänden gesichert sind. Sollen die benachbarten Brandabschnitte auf Weisung der Feuerwehr geräumt werden, genügt es in diesen Brandabschnitten die Alarmierungseinrichtung über die manuellen Handtaster der Brandmeldeanlage auszulösen. Da zur Einhaltung der Rettungsweglängen in der /MIndBauRL/ und auch für Hochregallager nach dieser Ausarbeitung die Fluchtwegführung über andere Brandabschnitte gestattet ist, ist eine brandabschnittsweise Alarmierung sogar insofern von Vorteil, als dass Personen aus nicht betroffenen Brandabschnitten nicht versehentlich in einer frühen Phase des Brandes einen Fluchtweg in den Gefahrenbereich nutzen. Bei der Auslösung der Alarmierungseinrichtung zu einem späteren Zeitpunkt kann erwartet werden, dass die Flüchtenden durch Rauchgeruch und Sichtbehinderung bemerken wenn sie einen betroffenen Brandabschnitt betreten und einen alternativen Weg aufsuchen.

5.5 Einrichtungen und Anlagen der Brandbekämpfung

5.5.1 Sprinkleranlage

Sprinkleranlagen sind die meist verbreiteten unter einer Reihe von automatischen, ortsfesten Löschanlagen. Sie sind ein komplexes hydraulisches System, das eine genaue Abstimmung auf die örtlichen Gegebenheiten benötigt. Die wesentlichen Bestandteile der Sprinkleranlage sind ein Wasservorratsbehälter mit automatischer Speisevorrichtung, eine Sprinklerpumpe, die Alarmventilstation und ein Rohrleitungsnetz mit Sprinklerköpfen. Das Löschmittel ist Wasser, weshalb sich Sprinkleranlagen nur für Brandgut der Brandklasse A, also feste brennbare Stoffe, eignen. In manchen Fällen wird dem Löschwasser ein Schaum-, Netz- oder Quellschlamm beigegeben, um die Löschwirkung zu verbessern. Die Sprinklerköpfe sind neben der Löschmittelabgabe auch für die Auslösung der Löschanlage zuständig. Die Auslösung erfolgt über ein Schmelzlot oder ein Glasfass, das einen Stopfen auf dem Wasserauslass in Position hält. Wird die Auslösetemperatur erreicht, verflüssigt sich das Schmelzlot bzw. zerspringt das Glasfass und das Wasser kann austreten. Der sogenannte Sprühteller im Strahlengang des Wassers (auch Sprinklerrosette) führt zu einer Zerteilung des Wasserstrahls in Wassertropfen, die sich innerhalb der Wirkfläche des Sprinklerkopfes verteilen. Das Ergebnis ist eine selektive Ausbrin-

gung von Löschmittel in einer Weise, die das Feuer löschen oder bis zum Eintreffen der Feuerwehr kontrollieren kann.

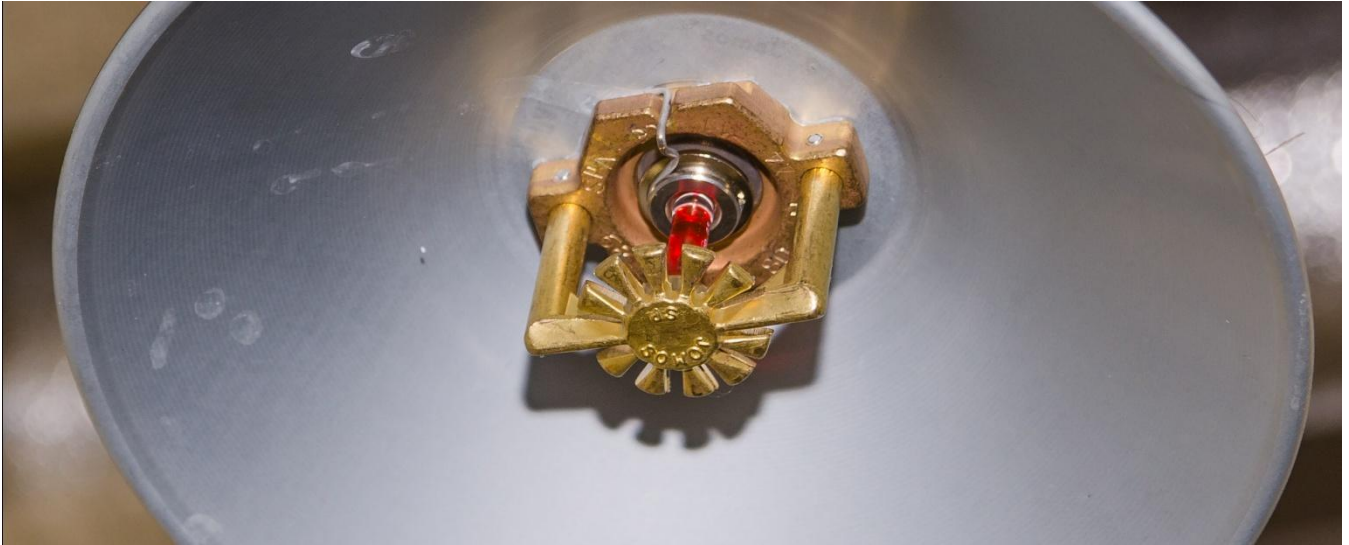


Abb. 30: Sprinklerkopf mit Abschirmhaube aus Aluminiumblech

Sprinklerköpfe sind in diversen Ausführungen für unterschiedlichste Einsatzbereiche erhältlich. Grundsätzlich lassen sie sich nach Auslösetemperatur (farbliche Kennzeichnung am Glasfass/Auslöseelement), Durchflussmenge, und Reaktionsgeschwindigkeit (response time index, RTI) unterscheiden. Die Auslösetemperatur wird so geplant, dass sie mindestens ca. 30 °C über der höchsten zu erwartenden Raumtemperatur liegt, jedoch nicht höher ist, als unbedingt erforderlich.

Sprinkleranlagen sind in Hochregallagern aufgrund der großen Höhe erforderlich. Sie müssen so ausgelegt sein, dass sie das Feuer selbsttätig löschen. Eine Sprinkleranlage, die das Feuer lediglich unterdrückt bis die Feuerwehr eintrifft, wie in manchen Industriebereichen üblich, reicht aufgrund der Tatsache, dass die Feuerwehr ab 7 m Lagerguthöhe das Feuer nicht mehr mit eigenen Mitteln wirksam bekämpfen kann [4], nicht aus. Die wirksamen Löschmaßnahmen werden sozusagen von der Sprinkleranlage ausgeführt. Die Feuerwehr muss ihre Arbeit bei Bränden oberhalb der Reichweite auf die Personenrettung, den Schutz anliegender Gebäude oder -teile und das Ablöschen von Glutnestern bei Nachlöscharbeiten beschränken. Auch in Österreich und der Schweiz werden für Hochregallager Sprinkleranlagen gefordert [52], [53], [57], [58]. In Sonderfällen können Sprinkleranlagen, insbesondere bei der Lagerung von Druckgasbehältern oder flüssiger/flüssig werdender brennbarer Stoffe nicht ausreichen. In diesen Fällen sind andere automatische Löschanlagen zu wählen, die auf das zu erwartende Brandszenario ausgelegt sind.

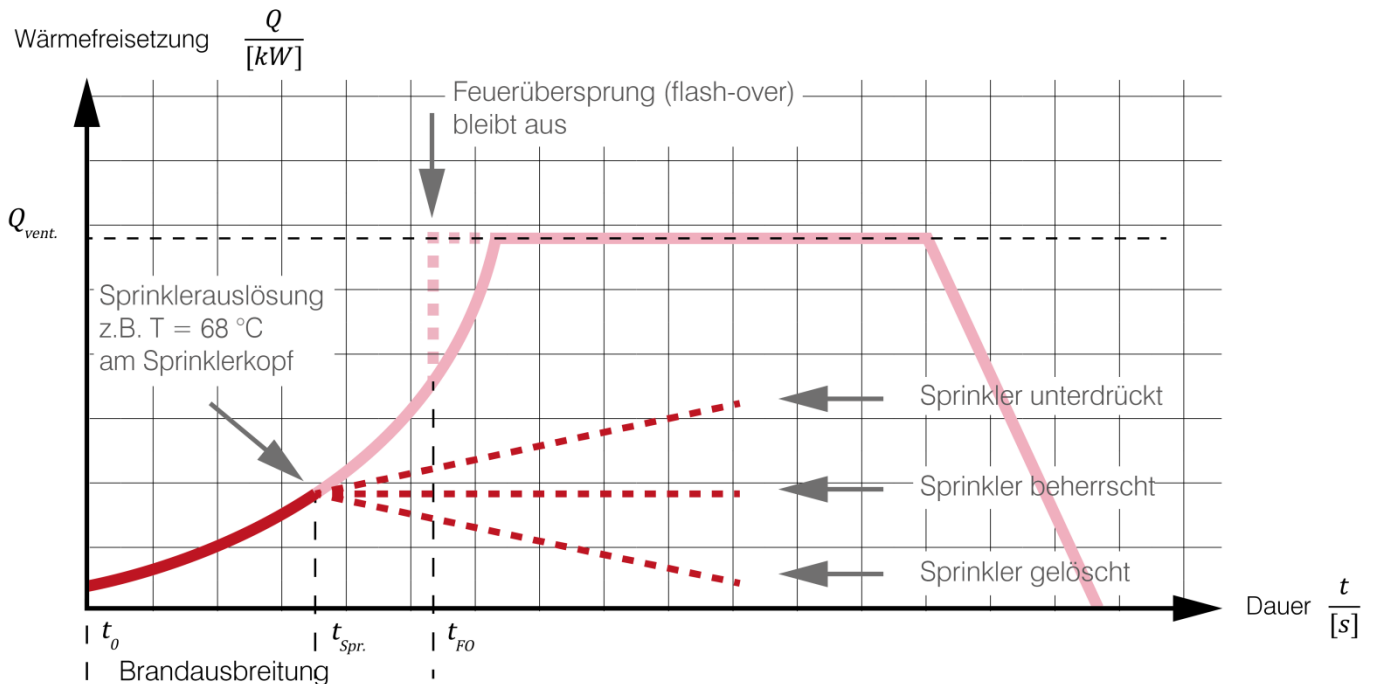


Abb. 31: Idealisiertes Wärmefreisetzungs-Zeit-Diagramm bei wirksamer Sprinkleranlage in Anlehnung an [19], [29], [30]

In Deutschland gibt es zwei gebräuchliche Grundlagen zur Planung von Sprinkleranlagen, die /VdS CEA 4001/ und die /DIN EN 12845/. Beide sind anerkannte Regeln der Technik. Wesentlich seltener aber dennoch zulassungsfähig sind in Deutschland die Regelungen der us-amerikanischen National Fire Protection Association und von FM Global. Im Folgenden sollen nur die Grundlagen der DIN-Norm [98] und der VdS-Richtlinie [92] genannt werden.

Beide Sprinkler-Normen beschreiben die Anforderungen an die wasserführenden Armaturen und an die Prüfung der Anlagentechnik. Aufgrund unterschiedlicher Kennzahlen für das Brandgut wird die erforderliche Wassermenge, die je Sprinklerkopf abgegeben wird, und die Wirkfläche, die bei Auslösung erfasst werden muss, berechnet. Auch die Dimensionierung der Rohrleitungsquerschnitte spielt eine wichtige Rolle, da zu geringe Querschnitte zu einem zu hohen Druckverlust bei der Wasserentnahme führen. Zu große Rohrquerschnitte wiederum führen zu unnötig hohen Kosten. Hierin unterscheiden sich VdS-Richtlinie und DIN-Norm. Die /VdS CEA 4001/ gibt vor, dass über eine hydraulische Berechnung nachgewiesen werden muss, dass an allen relevanten Teilen im ungünstigsten Betriebszustand der erforderliche Wasserdruck erreicht wird. Bei einer Auslegung nach /DIN EN 12845/ gibt es keine hydraulische Berechnung nach Art der VdS-Richtlinie. Die DIN-Norm verfolgt die Methode der Vorberechnung und stellt Rohrtabellen bereit, nach denen die Sprinkleranlage bemessen wird. Aus diesem Grund wird der DIN-Norm eine geringere Wirtschaftlichkeit unterstellt [99]. Die beiden unterschiedli-

chen Bemessungsansätze können nicht kombiniert werden.

Sowohl VdS-Richtlinie als auch DIN-Norm ermöglichen es, Hochregalanlagen wirksam zu schützen.. Beide nennen besondere Maßnahmen für Lagerungen mit hohen Risiken, die sogenannten hhs-Bereiche (hhs steht für high hazard storage, engl. für Hoch-Risiko-Lagerung). Dabei wird stark differenziert nach Lagergut und Art der Lagerung, so wird beispielsweise schon zwischen der stehenden und der liegenden Lagerung von Rollenware unterschieden. In der Einleitung der /DIN EN 12845/ heißt es, dass Sprinkleranlagen nach VdS-Richtlinien im langfristigen Mittel eine Erfolgsquote von 98 % haben. Eine ähnlich hohe Quote ist auch für Sprinkleranlagen nach DIN-Norm zu erwarten. Jedoch wird auch hervorgehoben, dass die VdS-Richtlinie Belange des Versicherungsschutzes mit berücksichtigt und damit ein höheres Schutzziel verfolgt als die DIN-Norm. Bei der DIN-Norm handelt es sich lediglich um wirksame Mindestanforderungen. Dennoch ist zu vermuten, dass eine nach VdS-Richtlinie geplante Sprinkleranlage nicht wesentlich teurer ist als eine nach DIN-Norm. In einem Schreiben des Bundesfachverbands Technischer Brandschutz bvfa wird Sprinkleranlagen nach VdS-Richtlinie eine hohe Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitig besserer Schutzleistung zugemessen . Besonders hervorzuheben ist, dass die VdS-Richtlinie ein *„alternatives Schutzkonzept für Regallager und Hochregallager“* vorsieht, das ggfs. Vorteile bei der Planung bringt. Im Folgenden ein paar Rahmenparameter, auf die bei der Planung von Sprinkleranlagen in Hochregallagern geachtet werden muss. Die Wirkdauer der Sprinkleranlage muss für Hochregallager mindestens 90 Minuten betragen. Je Sprinklerunterverteilung muss eine Nachspeisvorrichtung für die Feuerwehr eingerichtet werden

Die /VdS CEA 4001/ begrenzt den maximalen Abstand von Sprinkleranlagen zum Boden grundsätzlich auf 15 m, sofern keine Regalsprinklerung vorhanden ist. Dieser Abstand reduziert sich jedoch weiter, je nach Art der Lagerung auf bis unter 5 m. Zwischen Sprühtellern von Decken-/Dachsprinklern und Brandgut müssen Mindestabstände eingehalten werden. Diese betragen von 0,3 m bei Flachsirmsprinklern, bis zu 1,0 m bei Lagerung mit hohem Risiko. Dies ist nach DIN-Norm und VdS-Blatt gleich.

Bei Hochregalanlagen ist aufgrund der Höhe und Brandausbreitungsgefahr meist eine Regalsprinklerung zu planen. Hierfür werden genaue Vorgaben über Abstände, Wasserbeaufschlagung, Wirkradien und Art der Anbringung gemacht, die auch vom Lagergut abhängen. Wird der Sprühschirm des Sprinklers durch Bauteile der Regale eingeschränkt, müssen zusätzliche Sprinklerköpfe installiert werden, die über die rechnerisch geforderten Anzahlen der technischen Regeln hinausgehen. Dies ist insbesondere bei Hochregallagern aus Holz erforderlich, da hier in der Regel größere Materialquerschnitte zum Einsatz kommen. In Hochregallagern dürfen nur Nass-Anlagen, also Sprinkleranlagen, deren Rohrleitungen bereits mit Wasser gefüllt sind, verwendet werden.

Wird aus Sprinklerköpfen Wasser abgegeben, so darf das austretende Wasser nicht auf andere Sprinklerköpfe treffen, da die Kühlwirkung des Löschwassers ein Auslösen weiterer Sprinklerköpfe unterbinden würde und sich der Brand weiter ausbreiten könnte. Dies ist durch die Anordnung von Abschirmhauben aus Metall zu verhindern.

Eine Besonderheit der VdS-Richtlinie gegenüber der DIN-Norm ist die Einsatzmöglichkeit von ESFR-Sprinklern. ESFR steht für early suppression fast response, also für eine frühe Unterdrückung und ein schnelles Ansprechen der Sprinkleranlage. Diese Art der Sprinkler kennzeichnet sich durch eine große Wasserabgabemenge und ein schnelles Auslöseverhalten. Das Wasser wird bei ESFR-Anlagen mit einem höheren Druck abgegeben, weshalb die Wassertröpfchen eine andere Größe und einen anderen Impuls als jene von herkömmlichen Sprinklern haben. Bei Einsatz von ESFR-Sprinklern werden jedoch besondere Anforderungen an die Lagerhaltung gestellt, die von den Anforderungen für herkömmliche Sprinkleranlagen abweichen. Im Bereich von Hochregallagern sind ESFR-Sprinkler besonders für Kommissionierungsbereiche geeignet. Sie können jedoch nur in baulich abgetrennten Bereichen eingesetzt werden. Grundsätzlich wird vorausgesetzt, dass keine Rauchabzugsanlage im Dach vorhanden ist, oder eine im Dach eingebaute Rauchabzugsanlage nicht automatisch auslöst und ausreichend lange gegen Durchbrennen geschützt ist.

Für alle Sprinkleranlagen sind Prüfintervalle vorgeschrieben, in denen unterschiedlich große Tests erforderlich werden. Die Anforderungen an die Prüfungen werden in der VdS-Richtlinie präzisiert beschrieben. Beide technischen Regeln setzen bei Ablauf von 25 Jahren eine umfangreiche Prüfung der gesamten Anlage voraus. Die VdS-Richtlinie fordert nach Ablauf von 50 Jahren sogar den Austausch aller Sprinklerköpfe gegen solche, die den dann aktuellen Bestimmungen entsprechen.

Reicht Wasser als Löschmittel oder Wasser-Schaummittel-Gemisch nicht aus, kann an Stelle einer Sprinkleranlage eine Schaumlöschanlage erforderlich werden, zum Beispiel wenn brennbare flüssige Stoffe gelagert werden. Auch ist es denkbar mit Gaslöschanlagen einen wirksamen Schutz zu erreichen. Aufgrund der Größe von Hochregallagern und der für Gaslöschanlagen erforderlichen Dichtigkeit des Gebäudes, sowie der Anwesenheit von Menschen, ist die Konfiguration einer Gaslöschanlage sehr schwierig. Gaslöschanlagen dürften aus diesen Gründen nur sehr selten für Hochregallager in Frage kommen.

5.5.2 Wandhydranten und Feuerlöscher

Die /DIN EN 12845/ erklärt, dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass das Vorhandensein einer Sprinkleranlage andere Einrichtungen der Brandbekämpfung grundsätzlich überflüssig macht.

Nicht zuletzt aus diesem Grund sind Selbsthilfeeinrichtungen vorzusehen, die es den Mitarbeitern ermöglichen, Löschmaßnahmen zu ergreifen und das Feuer in einem so frühen Stadium zu bekämpfen und so den Schaden auf einzelne Geräte oder Lagereinheiten zu beschränken. Die /MIndBauRL/ sieht solche Selbsthilfeeinrichtungen vor. Auch in Österreich und der Schweiz werden Selbsthilfeeinrichtungen gefordert. Zur Selbsthilfe können Wandhydranten und Feuerlöscher dienen. Die /MIndBauRL/ schreibt ab Räumen einer Größe von 1 600 m² eine Ausstattung mit Wandhydranten in Industriebauten vor. Es gibt nach /DIN 14461-1/ zwei Sorten von Wandhydranten. Zum einen Wandhydranten vom Typ S, die der Selbsthilfe dienen, also hauptsächlich zur Benutzung durch die anwesenden Personen gedacht sind. Sie besitzen einen formstabilen Schlauch mit einer Länge von 30 m und einer Durchflussmenge von mindestens 24 l / min. Zum anderen gibt es Wandhydranten die sowohl zur Selbsthilfe als auch für die Feuerwehr gedacht sind, der sogenannte Wandhydrant Typ F. Sie haben eine größere Durchflussmenge (mindestens 100 l / min) und können mit formstabilem Schlauch oder nach /DIN EN 671-2/ mit C-42 Flach-Druckschlauch nach /DIN 14811/ ausgeführt werden. Für die ungünstigsten Bedingungen müssen nach /DIN 14461-1/ 3 bar am Strahlrohr von Feuerwehr-Wandhydranten und 2 bar am Strahlrohr von Selbsthilfe-Wandhydranten anliegen. [99], [101]

Doch der Einsatz von Wandhydranten im Industriebereich wird zunehmend kritisch gesehen. Als Selbsthilfegeräte haben Wandhydranten den vermeintlichen Vorteil eines unerschöpflichen Wasservorrats. Dies, so die naheliegende Vermutung, fördert jedoch die Gefahr für das Personal, Rauchvergiftungen zu erleiden. Denn die Mitarbeiter am Strahlrohr besitzen weder geeignete Schutzkleidung noch umluftunabhängigen Atemschutz. Die vermeintliche Sicherheit, solange ein Löschmittel vorhanden ist, könnte zu längeren Verweildauern in der Gefahrenzone führen und in Folge dessen zur Inhalation toxischer Rauchgase.

Auch der Nutzen für die Feuerwehren ist begrenzt. Das Verwenden von Hohlstrahlrohren nach /DIN EN 15182-2/ ist der Feuerwehr nicht möglich, da diese Hohlstrahlrohre bei einem Referenzdruck von 6 bar geprüft werden, und in der Regel 5 bar bis 8 bar zum Betrieb benötigen. Zudem ist das Auffinden von Wandhydranten im verqualmten Bereich schwierig. Es ist davon auszugehen, dass ein Einsatz der feuerwehreigenen Technik mit einer durchgehenden Schlauchleitung aus durch die Feuerwehr geprüfem Gerät sicherer ist. Auch kann der Rückweg ins Freie für die unter Atemschutz im Gebäude befindlichen Einsatzkräfte anhand dieser Schlauchleitung leicht gefunden werden. Des Weiteren ist zu nennen, dass der Einsatz von formstabilen Schläuchen, wie sie die Feuerwehr auch als Schnellangriffseinrichtung besitzt, nach Lehrmeinung der deutschen Feuerwehren innerhalb von Gebäuden nicht zweckmäßig ist, da sie aufgrund der gummierten Oberfläche und der starren Struktur schwer um Winkel und Ecken zu bewegen sind. Die Vereinigung der Brandschutzplaner e.V. stellt in einem offenen

Brief [102] an die /ARGEBAU/ sogar generell die Forderung, Wandhydranten aus der /MIndBauRL/ zu streichen. Im Entwurf zur Novellierung der Muster-Industriebaurichtlinie wird für Industriebauten der Sicherheitskategorien SK 3 und SK 4 der Einsatz fester, trockener Löschwasserleitungen zur Löschwasserentnahme anstelle von Wandhydranten vorgeschlagen, die durch die Feuerwehr betrieben werden [50]. Dies kann eine Vielzahl der oben aufgeführten, jedoch nicht alle Probleme lösen.

Aus den oben genannten Gründen erscheint der Einsatz von Wandhydranten deshalb weder für das Personal noch für die Feuerwehr sinnvoll. Einen guten Schutz können jedoch Feuerlöscher mit einem geeignetem Löschmittel bieten. Sofern sie schnell und ungehindert zugänglich sind, können sie effektiv eingesetzt werden. Mit einer Funktionsdauer von unter einer Minute ist auch zu vermuten, dass bei Scheitern der Löschmaßnahmen die Flucht rechtzeitig ergriffen wird. Eine umfassende Schulung im Umgang mit Feuerlöschern und für das Verhalten im Brandfall ist auch hier unerlässlich.

Damit Feuerlöscher schnell erreicht werden können, müssen sie in ausreichender Anzahl vorhanden und gleichmäßig über die Fläche des Hochregallagers verteilt sein. Die Anbringung von ein oder zwei Feuerlöschern an den Regalbediengeräten erscheint sinnvoll, sofern es den Betrieb nicht einschränkt. In diesem Fall wäre sichergestellt, dass sich die Feuerlöscher in unmittelbarer Nähe zum Personal befinden und schnell eingesetzt werden können. Die erforderlichen Anzahlen an Feuerlöschern werden in Deutschland zum Beispiel nach berufsgenossenschaftlicher Richtlinie /BGR 133/ [102] in Abhängigkeit der Brandgefahr ermittelt. In Österreich kann die /TRVB F 124/ angewendet werden. Bei einer Anbringung direkt am Regalbediengerät könnte die Gesamtzahl der erforderlichen Feuerlöscher vermutlich reduziert werden, ohne das Schutzniveau dadurch abzusenken. Dies ist im Einzelfall zu prüfen.

Lässt sich das Feuer nicht mit Feuerlöschern unter Kontrolle bringen, tritt die Sprinkleranlage in Kraft und bekämpft das Feuer. Die Feuerwehr hat somit die Möglichkeit, die Lage umfassend zu erkunden und, sofern ausreichend Sicherheit gegeben ist, einen eigenen Löschangriff für den Innenangriff aufzubauen. Aufgrund der reduzierten Länge der Rettungswege, die auch als Angriffswege für die Feuerwehr dienen, ist der Aufbau eines Löschangriffs durch die Feuerwehr mit den Mitteln und dem Personal einer Gruppe und einem Löschgruppenfahrzeug möglich und vertretbar.

5.5.3 Wasserversorgung

Wirksame Löscharbeiten sind nur dann möglich, wenn ein geeignetes Löschmittel in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Als gängigstes Löschmittel kann Wasser angesehen werden, das über viele Wege zur Verfügung steht (Leitungsnetz für Trinkwasser, offene Wasserentnahmestellen wie Flüsse und Teiche, Brunnen, künstliche Löschwasserreservoirs). Sind andere Löschmittel erforderlich, müssen

diese gesondert durch die Betreiber des Hochregallagers oder die örtliche Feuerwehr bereitgestellt werden. Für die Löschwasserversorgung, insbesondere auch die anzunehmende erforderliche Löschwassermenge, können das /DVGW-Arbeitsblatt 405/ und die /MIndBauRL/ herangezogen werden. Letztere fordert eine Löschwasserversorgung, unabhängig von der Wasserversorgung der Sprinkleranlage, von $96 \text{ m}^3 / \text{h}$ über den Zeitraum von einer Stunde für Gebäude, die mit einer wirksamen Sprinkleranlage ausgestattet sind [2]. Höhere Werte können jedoch je nach Art des Lagerguts erforderlich werden.

Die Bereitstellung von Löschwasser kann oftmals über die öffentliche Wasserversorgung sichergestellt werden. Für den Brandschutz in Gebieten ohne erhöhtes Personenrisiko spricht das /DVGW-Arbeitsblatt 405/ von Grundschutz. Von Objektschutz ist die Rede bei objektbezogener Wasserversorgung für den Brandschutz bei großen Objekten mit erhöhtem Brandrisiko wie zum Beispiel solche „zur Herstellung, Verarbeitung und Lagerung brennbarer oder leicht entzündbarer Stoffe“ [104], ferner für Objekte mit erhöhtem Personenrisiko oder für Einzelobjekte in Außenbereichen. Dies trifft auf Hochregallager zu. Die Löschwasserversorgung muss in einem Umkreis von 300 m (Luftlinie, auch durch Gebäude, jedoch nicht durch größere Hindernisse) um das Objekt zu Verfügung stehen. Laut /AGBF/ stellt eine Entfernung des ersten Hydranten zum Objekt von 75 m, gemessen in Luftlinie, die maximal erträgliche Grenze dar [105]. Begründet werden kann dies mit der üblichen Besatzung und Materialbereitstellung der einsatztaktischen Einheit eines Löschgruppenfahrzeugs.

Die Löschwasserentnahme aus unerschöpflichen Entnahmemöglichkeiten außerhalb des Trinkwasserrohrnetzes ist in der Regel der Nutzung von Trinkwasser als Löschmittel vorzuziehen. Bei der Dimensionierung der Löschwasserversorgung über das Trinkwassernetz ist zu berücksichtigen, dass die Trinkwasserversorgung auch während der Löschwasserentnahme gewährleistet werden muss. [104]

5.5.4 Feuerwehrflächen

Um im Einsatzfall wirksame Maßnahmen durchführen zu können, müssen für die Feuerwehr unterschiedliche Flächen verfügbar sein. So ist eine Zufahrt zum Gelände erforderlich, die die Anforderungen an Feuerwehruzufahrten erfüllt. Feuerwehruzufahrten sind befestigte Wege auf dem Grundstück, die das öffentliche Straßenland mit Aufstell- und Bewegungsflächen verbinden. Sie müssen mit Feuerwehrfahrzeugen mit einer Gesamtmasse von 16 t und einer Achslast von 10 t befahrbar sein und der /RL Feuerwehrflächen/ entsprechen.

Ab einer Größe von $5\,000 \text{ m}^2$ Grundfläche müssen Industriegebäude nach /MIndBauRL/ umfahrbar sein (Feuerwehrumfahrt). Diese Anforderung kann für Hochregallager übernommen werden. Absperr-

vorrichtungen im Zuge der Feuerwehruzufahrten oder -umfahrten müssen mit Mitteln der Feuerwehr geöffnet werden können.

Bewegungsflächen sind nicht überbaute befestigte Flächen auf dem Grundstück, die mit der öffentlichen Verkehrsfläche direkt oder über Feuerwehruzufahrten in Verbindung stehen. Sie dienen dem Aufstellen von Feuerwehrfahrzeugen, zur Entnahme und Bereitstellung von Geräten und zur Entwicklung von Rettungs- und Löscheinsätzen. Sie müssen zusätzlich zu den Feuerwehruzufahrten eingerichtet werden. [106]

Aufstellflächen sind bei Hochregallagern nur dann erforderlich, wenn das Dach des Hochregallagers mit Leitern oder von Hubrettungsfahrzeugen der Feuerwehr aus erreichbar sein muss. Dies ist der Fall, wenn das Hochregallager eine Dachhöhe von unter 22 m und keine feste Außenleiter nach Abschnitt 5.4.2 besitzt. Die Anforderungen an Aufstellflächen werden in der /RL Feuerwehrflächen/ beschrieben.

5.5.5 Löschwasserrückhaltung

Kontaminiertes Löschwasser muss zurückgehalten werden, damit wassergefährdende Stoffe nicht in Umwelt gelangen. Hierzu ist, sofern die Gefahr einer Kontamination besteht, eine Löschwasserrückhaltung einzuplanen. Dies kann durch Rückhaltung im Gebäude oder Rückhaltebecken im Freien geschehen. Laut /LöRüRL/ und beziehungsweise auf die Muster-Anlagenverordnung /Muster-VAwS/ ist Löschwasser schon dann zurückzuhalten und ordnungsgemäß zu entsorgen, wenn nur die Möglichkeit besteht, dass es mit wassergefährdenden Stoffen beaufschlagt sein kann. Löschwasser das mit giftigen Brandrückständen oder schaumbildenden tensidischen Löschmitteln in Kontakt gekommen ist, ist mit großer Wahrscheinlichkeit wassergefährdend.

5.6 Organisatorischer Brandschutz

Bei einer Vielzahl von Brandereignissen sind nicht technische Defekte oder Unwetter ursächlich für den Brandausbruch, sondern das Fehlverhalten einzelner Personen. Zudem kann größerer Schaden entstehen, wenn anwesende Personen im Brandfall falsch reagieren. Aus diesen Gründen ist es erforderlich, organisatorische Maßnahmen festzuschreiben, die die Gefahr eines Brandausbruchs reduzieren und sicherstellen, dass die Mitarbeiter im Brandfall genau wissen, was zu tun ist.

In einer Brandschutzordnung nach /DIN 14096/ mit den Teilen 1 bis 3 wird genau festgelegt, wann das Personal und insbesondere auch Fremdfirmen zu unterweisen sind und welche besonderen Maßnahmen ergriffen werden müssen. Die Brandschutzordnung ist ein wichtiger Bestandteil des vorbeugen-

den Brandschutzes. Insbesondere folgende Themen müssen für Hochregallager betrachtet werden:

- Brandverhütung: Regeln für Feuergefährliche Arbeiten, Umgang mit Feuer.
- Brand- und Rauchausbreitung: Wirksamkeit der Feuerschutzabschlüsse wahren, Gefahren erkennen.
- Flucht- und Rettungswege: Auffinden und Freihalten.
- Brandmelde- und Löscheinrichtungen: Auffinden und Nutzen.
- Warnsignale und -zeichen.
- Verhalten im Brandfall (warnen, melden, Löschversuche unternehmen, fliehen).
- Besondere Verhaltensregeln.

Je Brandabschnitt ist durch den Betreiber des Hochregallagers eine Sicherheitsplattform bereitzustellen. Die Sicherheitsplattform nach dem Vorbild des Sicherheitsblattes /1681-00.d/ aus der Schweiz, soll es der Feuerwehr ermöglichen, höher gelegene Bereiche des Lagers zu erreichen. Anders als in der Schweiz wird keine feuerwehrtechnische Ausstattung gefordert. Die Plattform ist jedoch so zu planen, dass sie gefahrlos von zwei voll ausgestatteten Feuerwehrleuten betreten werden kann, sie diese auch unter Zusatzausrüstung wie Feuerlöschern oder Schlauchleitungen trägt, sich die Feuerwehrleute gegen Absturz sichern können und es möglich ist, eine Brandkontrolle und gegebenenfalls Nachlöscharbeiten aus dem Korb der Sicherheitsplattform heraus durchzuführen.

Der örtlichen Feuerwehr sind Feuerwehrpläne in der durch die Behörde geforderten Anzahl und Güte zu übergeben. Zudem muss es Alarmpläne für die Feuerwehr geben, damit die Lage schnell eingeschätzt werden kann. Außerdem ist die Feuerwehr im Hochregallager zu unterweisen. Dies betrifft zum Beispiel die Regalbediengeräte und die Sicherheitsplattformen, die gegebenenfalls im Einsatzfall durch die Feuerwehr genutzt werden müssen. Verfügt die Feuerwehr nicht über die nötige Ausstattung oder Ausbildung, muss seitens des Betreibers des Hochregallagers dafür Sorgegetragen werden, dass diese der Feuerwehr zukommen. Dies betrifft insbesondere die Höhenrettung vom Dach und die einsatztaktischen Besonderheiten von Hochregallagern. Die Feuerwehr ist angehalten, seinem Personal Standard-Einsatzregeln im Sinne einer Dienstanweisung für den Einsatz in Hochregallagern auszugeben.

Für einen reibungslosen Ablauf ist es nötig, dass Einsatzkräfte und Personal den Ernstfall üben. Dabei muss die Entfluchtung im Zusammenspiel mit der Internalarmierung, die Bedienung der Brandmelde- und Sprinkleranlagen und das einsatztaktische Vorgehen der Feuerwehr geübt werden.

Es können im Einzelfall immer weitere Auflagen aber auch Erleichterungen durch die Baubehörde unter Berücksichtigung des Arbeitsschutzes, des Umweltschutzes und anderer Gesichtspunkte sowie unter

Anhörung der Feuerwehr oder Brandschutzdienststelle möglich sein. Aus diesem Grund sind eine frühzeitige Absprache aller Beteiligten und eine frühe Einbeziehung der Brandschutzplaner dringend zu empfehlen.

6 SCHLUSSBETRACHTUNG

Die vorliegende Hausarbeit bewertet die Thematik der Hochregallager, in denen sich während der Arbeitszeiten Personen aufhalten. Die Ausarbeitung stellt die grundsätzlichen Vorgänge der Verbrennung und die davon ausgehenden Gefahren fest und beschreibt, wie diesen Gefahren in Deutschland begegnet wird. Durch den Vergleich der deutschen Rechtsauffassung mit der der Nachbarländer Österreich und Schweiz wird herausgestellt, welche Einrichtungen und Maßnahmen erforderlich sind und was bei der Brandschutzplanung in derartigen Hochregallagern zu beachten ist. Die Ausarbeitung legt eine grundsätzliche Einteilung unterschiedlicher Hochregallager fest, die unterschiedliche Anforderungen an den Brandschutz mit sich bringen. Das Erstellen eines schutzzielorientierten und ganzheitlichen Brandschutzkonzeptes für Bauprojekte von Hochregallagern ist mit Hilfe dieser Ausarbeitung wesentlich erleichtert.

Zukünftig ist damit zu rechnen, dass die stetig steigende Nachfrage nach einer sehr dynamischen Lagerung mit kurzen Bereitstellungszeiten und die damit einhergehende, wachsende Zahl an Hochregallagern zu einer stärkeren Wahrnehmung dieses Themas sowohl in der Fachwelt als auch in der Öffentlichkeit führt. Unabhängig von dem hohen Schutzniveau, das in solchen Hochregallagern gilt, ist zu erwarten, dass mit steigender Zahl an Hochregallagern auch die Zahl der Schadenfälle wächst. Am Ausmaß des entstandenen Schadens und der vorhandenen Brandschutzmaßnahmen wird sich ablesen lassen, welche Anforderungen dieser Ausarbeitung gerechtfertigt sind und inwieweit Nachbesserungsbedarf besteht. Wie jede Wissenschaft unterliegt auch der Brandschutz einem ständigen Wandel aufgrund neuer Erkenntnisse, neuer Technologien und eines veränderlichen Verständnisses von Sicherheit.

Abschließend kann gesagt werden, dass der Betrieb von Hochregallagern mit Personen mit einem guten Sicherheitsniveau möglich ist, jedoch die speziellen Gegebenheiten in Hochregallagern zu einer Vielzahl von Anforderungen führt, um dieses Sicherheitsniveau zu erreichen.

LITERATURVERZEICHNIS

Liste der Quellen von wörtlichen und sinngemäßen Entlehnungen nach der Reihenfolge ihrer Nennung.

- [1] /VDI 3564:2011-01/ Verband deutscher Ingenieure: *Empfehlungen für Brandschutz in Hochregallagern*.
- [2] /MIndBauRL/ Muster-Industriebaurichtlinie der /ARGEBAU/, Berlin: März 2000.
- [3] /MBO/ Musterbauordnung der /ARGEBAU/. Berlin: November 2008.
- [4] bauforumstahl e.V. [Onlinepräsenz, Stand 12.10.2012]
http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/brandschutz/nomogramme_en.pdf.
- [5] wikipedia.org „Verbrennung“ [Onlinepräsenz, Stand 29.12.2012]
[http://de.wikipedia.org/wiki/Verbrennung_\(Chemie\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Verbrennung_(Chemie)).
- [6] Pagni, Patrick J.: Fifteenth Meeting Of The UJNR Panel On Fire Research And Safety - Symposium in Memory Of Professor Howard Emmons, NISTIR 6588, März 2011.
- [7] wikipedia.org „Luft“ [Onlinepräsenz, Stand 12.10.2012] <http://de.wikipedia.org/wiki/Luft>.
- [8] /DIN EN 1127-1/ *Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik*, Normblatt des Deutschen Instituts für Normung, Berlin: Oktober 2011.
- [9] amstein-walter.ch [Onlinepräsenz, Stand 12.10.2012] http://www.amstein-walthert.ch/fileadmin/documents/pdf/zumbeispiel/zB_Nr26_A4_web.pdf.
- [10] Urteil Oberverwaltungsgericht Münster, Aktenzeichen: 10A363/86, 11.12.1987.
- [11] Urteil Verwaltungsgericht Braunschweig, Aktenzeichen: 5A5185/98, 23.03.2000.
- [12] destatis - Statistisches Bundesamt [Onlinepräsenz, Stand 13.10.2012] www.destatis.de/genesis.
- [13] Meier-Spiering, J.: *Notfälle bei der Brandbekämpfung unter Atemschutz*, Hamburg: Februar 2010.
- [14] Tirpitz, D.: *Therapie der akuten Rauchgas- und CO-Intoxikation*. basf., Praktische Arbeitsmedizin: 2009.
- [15] Pleß, G.; Seliger, U.; *Forschungsbericht Nr. 145: Entwicklung von Kohlenmonoxid bei Bränden in Räumen Teil 1*, /IMK/ Arbeitskreis V, Heyrothsberge: 2007.
- [16] Heuck, U.: *Kohlenmonoxideinwirkung am Arbeitsplatz in Küchen, Ursache für Berufskrankheiten*, Zeitschrift für die Gesamte Hygiene und Ihre Grenzgebiete: 1986.

- [17] Tibbles, PM.; Perotta, PL.; The American Journal of Emergency Medicine: Treatment of carbon monoxide poisoning: a critical review of human outcome studies comparing normobaric oxygen with hyperbaric oxygen. 1994.
- [18] Entlehnung der O.R.B.I.T.-Studie, 1976 -1978 auf forplan.de [Onlinepräsenz Stand 21.10.2012] <http://www.forplan.de/schutzzielparameter.html>
- [19] Hosser, D. [Hrsg.]: vfdb-Leitfaden - Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfdb-Referat 4, 2005.
- [20] London Fire Brigade - Fire Investigation Group: *The Real Fire Library - Analysis of Fatal Fires 1996 - 2000*, London: November 2001.
- [21] Rasbash, David J.: *Smoke and toxic products produced at fires*, Plastics Institute Transactions and Journal: 1967.
- [22] /DIN EN 1991-1-2/ *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke* Normblatt, Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung, Berlin: Dezember 2010.
- [23] Goris, Alfons (Hrsg.): *Schneider - Bautabellen für Ingenieure: Mit Berechnungshinweisen und Beispielen* Werner Verlag, Neuwied März 2012.
- [24] Feuerwehr Ohlendorf [Onlinepräsenz, Stand 12.10.2012] www.feuerwehr-ohlendorf.de/gefahr/einsturz.htm.
- [25] Promat [Onlinepräsenz Stand 12.10.2012] www.feuerwehr-ohlendorf.de/gefahr/einsturz.htm.
- [26] /Erl MIndBauRI/ *Erläuterungen zur Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau*, /ARGEBAU/, Berlin: März 2000.
- [27] Lingens, A.; Dissertation: Untersuchung des Abbrandes und der Brandgase ausgewählter Holzarten in Abhängigkeit vom chemischen und strukturellen Holzaufbau. München: November 2003.
- [28] /DIN 4102-1/ *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, Normblatt des Deutschen Instituts für Normung, Berlin: Mai 1998.
- [29] Karlsson, B.; Quintere, J. G.: *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press LLC, New York: 2000.
- [30] Natural Fire Safety Concept: *Technical Report No 7*, ARBED Recherches, Brüssel: 1998.

- [31] Kordina, K.: *Bisherige Erfahrungen bei Großbränden: Erhebungen über Brandverlauf und Schäden bei Großbränden*, Sicherheit und Brandbekämpfung: erstes Statusseminar des Bundesministers für Forschung und Technologie, Bernecker, Melsungen: 1979.
- [32] fvlr.de „Brandschutz senkt Insolvenzrisiko“ [Onlinepräsenz, Stand 06.11.2012]
http://www.fvlr.de/downloads/pub_brandak16_03.pdf
- [33] /GDV/: Jahrbuch 2002 - Die deutsche Versicherungswirtschaft. Berlin: Oktober 2002.
- [34] /GDV/: Jahrbuch 2004 - Die deutsche Versicherungswirtschaft. Berlin: Oktober 2004.
- [35] /GDV/: Jahrbuch 2010 - Die deutsche Versicherungswirtschaft. Berlin: Oktober 2010.
- [36] /GDV/: Jahrbuch 2011 - Die deutsche Versicherungswirtschaft. Berlin: November 2011.
- [37] Kirchner, F.: FVLR Heft 1: Rauch- und Wärmeabzugsgeräte. Detmold: Unbekanntes Jahr.
- [38] /GDV/: Jahrbuch 2006 - Die deutsche Versicherungswirtschaft. Berlin: Oktober 2006.
- [39] Deutscher Feuerwehr Verband „Geschichte“ [Onlinepräsenz, Stand 26.10.2012]
<http://www.dfv.org/geschichte.html>
- [40] wikipedia.org „Großer Brand Roms“ [Onlinepräsenz, Stand 26.10.2012]
http://de.wikipedia.org/wiki/Gro%C3%9Fer_Brand_Roms#Ausbruch_und_Verlauf_des_Brandes
- [41] wikipedia.org „Feuerwehr“ [Onlinepräsenz, Stand 26.10.2012]
<http://de.wikipedia.org/wiki/Feuerwehr>
- [42] /DIN 4102-2/ *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, Normblatt des Deutschen Instituts für Normung, Berlin: Juli 1997
- [43] /DIN EN 13501-2/ *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlage*, Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung, Berlin: Februar 2010.
- [44] /DIN 4102-3/ *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, Normblatt des Deutschen Instituts für Normung, Berlin: September 1977.
- [45] wikipedia.org „Feuerwiderstand“ [Onlinepräsenz, Stand 30.10.2012]
<http://de.wikipedia.org/wiki/Feuerwiderstand>

- [46] /DIN EN 13501-1/ *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten*, Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung, Berlin: Februar 2010.
- [47] Famers, G.; Messerer, J.: „Rettung von Personen“ und „wirksame Löscharbeiten“ - bauordnungsrechtliche Schutzziele mit Blick auf die Entrauchung - ein Grundsatzpapier der Fachkommission Bauaufsicht, DIBt Mitteilung: Berlin, Februar 2009.
- [48] wikipedia.org „Hochregallager“ [Onlinepräsenz, Stand 26.10.2012]
<http://de.wikipedia.org/wiki/Hochregallager>
- [49] Persönlich adressiertes Schreiben der Behörde für Standentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg vom 21. September 2005.
- [50] Entwurf zur Novellierung der Muster-Industriebaurichtlinie der /ARGEBAU/, Berlin: Januar 2012.
- [51] /OIB-RL 2/ *Brandschutz*, Richtlinie des Österreichischen Instituts für Bautechnik, Wien: April 2007
- [52] /OIB-RL 2.1/ *Brandschutz bei Betriebsbauten*, Richtlinie des Österreichischen Instituts für Bautechnik, Wien: April 2007.
- [53] /TRVB N 142/ *Brandschutz in Lagern*, Technische Richtlinie Vorbeugender Brandschutz des Österreichischen Feuerwehrverbandes, Wien: März 2001
- [54] GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich [Hrsg.]: *Kantonale Feuerpolizei Hochregallager - Merkblatt*. Zürich: Oktober 2007.
- [55] /VKF Brandschutznorm/ *Brandschutznorm*, Brandschutznorm der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern: März 2003.
- [56] /VKF RWA/ *Rauch- und Wärmeabzugsanlagen* Brandschutzrichtlinie der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern: April 2003.
- [57] /VKF Sprinkleranlagen/ *Sprinkleranlagen*, Brandschutzrichtlinie der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern: April 2003.
- [58] /1681-00.d/ *Brandschutz in Hochregallagern*, Sicherheitsblatt des schweizer Sicherheitsinstituts, Wallisellen: 2001.
- [59] rp-online.de [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] <http://www.rp-online.de/panorama/deutschland/50-menschen-in-kliniken-eingeliefert-1.2671263>
- [60] ndr.de [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] <http://www.ndr.de/regional/niedersachsen/heide/feuer433.html>

- [61] zeitong.de [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] <http://www.zeitong.de/ng/da/2012/01/18/niedersachsen-erneuter-brand-bei-landmaschinenhandel/>
- [62] sueddeutsche.de [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] <http://www.sueddeutsche.de/panorama/niedersachsen-menschen-muessen-wegen-brennender-gummistiefel-ins-krankenhaus-1.1256772>
- [63] nachrichten.de [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] http://www.nachrichten.de/panorama/POL-ROW--Grosseinsatz-von-Feuerwehr-und-Rettungsdienst-bei-Brand-in-Heeslingen---Polizei-aid_5096502433_006577719.html
- [64] rettungsdienst.de [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] <http://www.rettungsdienst.de/nachrichten/50-verletzte-bei-brand-in-hochregallager-27484>
- [65] malteser-guetersloh.de [Onlinepräsenz, Stand 06.11.2012] <http://www.malteser-guetersloh.de/einsatz-fuer-soforthilfemodul-durch-brand-im-hochregallager>
- [66] presseportal.de [Onlinepräsenz, Stand 06.11.2012] <http://www.presseportal.de/polizeipresse/pm/23127/2242374/pol-gt-brand-in-einem-hochregallager>
- [67] ff-waldneukirchen.at [Onlinepräsenz, Stand 06.11.2012] http://www.ff-waldneukirchen.at/index.php?option=com_content&view=article&id=85:hermesstrasse-7&catid=56:brand&Itemid=82
- [68] blaulicht.at „Chaos in Stahl“ [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] <http://www.blaulicht.at/aktuelles/news/details/chaos-in-stahl-1358.html>
- [69] blaulicht24.com [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] http://www.blaulicht24.com/de/software/download/brand_am01.pdf
- [70] ots.at [Onlinepräsenz, Stand 08.11.2012] http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20010908_OTS0055/aus-anlass-des-grossbrandes-bei-der-firma-neusiedler
- [71] ots.at [Onlinepräsenz, Stand 31.12.2012] http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_19990429_OTS0158/neusiedler-ag-setzt-auf-qualitaet-und-innovation
- [72] thw-kitzingen.de [Onlinepräsenz, Stand 11.11.2012] <http://www.thw-kitzingen.de/print.php?news.87>
- [73] nachrichten.t-online.de [Onlinepräsenz, Stand 11.11.2012] http://nachrichten.t-online.de/arbeitsunfall-hochregal-mit-2000-tonnen-papier-eingestuerzt-/id_13971688/index

- [74] welt.de [Onlinepräsenz, Stand 11.11.2012]
<http://www.welt.de/vermischtes/article1562084/Riesiges-Regal-stuerzt-ein-zwei-Tote.html>
- [75] svbayer.at [Onlinepräsenz, Stand 30.12.2012]
http://www.svbayer.at/index.php?id=61&tx_ttnews%5Btt_news%5D=33&cHash=0bfa885623b0176eddd53904686047e3
- [76] youtube.com Ausschnitte aus diversen Nachrichtensendungen [Onlinepräsenz (Video), Stand 08.11.2012] <http://www.youtube.com/watch?v=wlpAeoCiWfs>
- [77] Berliner-Feuerwehr.de [Onlinepräsenz, Stand 11.11.2012] <http://www.berliner-feuerwehr.de/index.php?id=3072&type=98>
- [78] Drehleiter.info [Onlinepräsenz, Stand 11.11.2012] http://www.drehleiter.info/php/viewpage.php?page_id=70
- [79] /DIN 31000/ *Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse*, Berlin: Mai 2011.
- [80] duden.de „Restrisiko“ [Onlinepräsenz, Stand 30.11.2012] <http://www.duden.de/rechtschreibung/Restrisiko>
- [81] wikipedia.de „Risikomatrix“ [Onlinepräsenz, Stand 11.11.2012]
<http://de.wikipedia.org/wiki/Risikomatrix>
- [82] Ingason, H.; De Ris, J.: *Flame Heat Transfer in Storage Geometries*. Amsterdam: 1998.
- [83] Kunkelmann, J.; *Forschungsbericht Nr. 95: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind*, /IMK/ Arbeitskreis V, Karlsruhe: 1995.
- [84] Ingason, H.; Tuovinen, H.; Lönnermark, A.: *Industrial fires – An Overview*, Brandforsk Projekt 601-071SP, Technical Research Institute of Sweden. Borås: 2010.
- [85] Rother, A.: *DFV-Fachempfehlung Nr. 3 Einsatzstrategien für Feuerwehren in Vollautomatischen Hochregallagern*. Berlin: Oktober 2010.
- [86] /VKF Brandabschnittsgrößen/ *Bewertung Brandabschnittsgrößen*, Brandschutzrichtlinie der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern: Dezember 2007
- [87] Jonas, W.: *DFV-Fachempfehlung Nr. 5 Brandabschnittsgrößen in Hochregallagern*. Berlin: April 2002.
- [88] In den Zeichnungen verwendete Rettungswegzeichen und Schilder in Anlehnung an /DIN 4844/ und /DIN 4066/.

- [89] Gerhardt, H. J.; Jung, G.; Schmidt, G.: *VFDB Rauchversuch in einem Hochregallager. Die aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche für den Rauchabzug in Hochregallagern und ihr Einfluss auf die Löscharbeiten der Feuerwehr*. Berlin: Januar 2002.
- [90] */DIN 18232-2/ Rauch- und Wärmefreihaltung – Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderungen und Einbau*, Normblatt des Deutschen Instituts für Normung. Berlin: November 2011
- [91] VdS-Schadenverhütung GmbH (Hrsg.): Merkblatt 2815 Zusammenwirken von Wasserlöschanlagen und Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA). Berlin: März 2001.
- [92] */VdS CEA 4001/ VdS CEA-Richtlinien für Sprinkleranlagen - Planung und Einbau*, Richtlinie der VdS Schadenverhütung GmbH und der European insurance and reinsurance federation (CEA), Berlin: November 2010.
- [93] Security-Insight [Fachzeitschrift]: *Holz widersteht Feuer besser als Stahl*, Hanau: November 2011.
- [94] youtube.com [Onlinepräsenz (Video), Stand 19.12.2012] <https://www.youtube.com/watch?v=A7PqnQYHyJs>
- [95] youtube.com [Onlinepräsenz (Video), Stand 19.12.2012] <https://www.youtube.com/watch?v=W5FtfG1K14Y>
- [96] youtube.com [Onlinepräsenz (Video), Stand 19.12.2012] <https://www.youtube.com/watch?v=66SQU46xy8Q>
- [97] Neumann, N.: Rettungswegkennzeichnung – Welche Vorgaben sind Begründet ? [Powerpointpräsentation], Leipzig: November 2010.
- [98] */DIN EN 12845/ Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Automatische Sprinkleranlagen - Planung, Installation und Instandhaltung*, Normblatt (Deutsche Fassung) des Europäischen Komitees für Normung, Berlin: Juli 2007.
- [99] Bundesverband Technischer Brandschutz e.V. (Hrsg.): Positionspapier - Die VdS-Richtlinie CEA 4001 im Vergleich zur DIN EN 12845. Würzburg: Datum unbekannt.
- [100] wikipedia.de „Wandhydrant“ [Onlinepräsenz, Stand 19.12.2012] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wandhydrant>
- [101] */DIN 14461-1/ Feuerlösch-Schlauchanschlusseinrichtungen - Teil 1: Wandhydrant mit formstabilem Schlauch*, Normblatt des Deutschen Instituts für Normung, Berlin: Juli 2003.
- [102] Offen adressiertes Schreiben der Vereinigung der Brandschutzplaner e.V. vom 23. Februar 2012.

- [103] /BGR 133/ *Ausrüstung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern*, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Berlin: Oktober 2004.
- [104] /DVGW-Arbeitsblatt 405/ *Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung*, Technische Regel des DVGW, Bonn: Februar 2005.
- [105] Thon, W.: AGBF-Bund - Information zur Löschwasserversorgung. Hamburg: November 2009.
- [106] /RL Feuerwehrflächen/ *Richtlinie über Flächen für die Feuerwehr* Richtlinie der Bauministerkonferenz, Berlin: Februar 2007.

Anlage 1 - CD-ROM mit digitaler Version dieser Ausarbeitung

Anlage 1: CD-ROM mit digitaler Version dieser Ausarbeitung