

Braunschweiger Brandschutz-Tage '07

21. Fachtagung Brandschutz – Forschung und Praxis

26. und 27. September 2007 in Braunschweig

Tagungsband

herausgegeben von Dietmar Hosser

Heft 199 · Braunschweig ·
2007

Veranstalter:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)
der Technischen Universität Braunschweig

Wissenschaftliche Leitung:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Dietmar Hosser

Braunschweiger Brandschutz-Tage '07

21. Fachtagung Brandschutz – Forschung und Praxis

26. und 27. September 2007 in Braunschweig

Tagungsband

herausgegeben von Dietmar Hosser

Heft 199

•

**Braunschweig
2007**

•

ISBN 978-3-89288-181-0

ISSN 1439-3875 (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz)

ISSN 0934-2419 (Braunschweiger Brandschutz-Tage)

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Bibliographic information published by Die Deutsche Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.ddb.de>

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Geleitwort	7
N. Dichtl, Braunschweig	
Sitzung 1 - Aktuelles aus der Forschung	9
Leitung: D. Hosser, Braunschweig	
1.1 Verwendbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Holztafelbau B. Kampmeier, Braunschweig	11
1.2 Bereitstellung von Temperaturzeitkurven zur Brandschutzbemessung für natürliche Brände J. Zehfuß, Berlin	25
1.3 Brandrisikobewertung und Optimierung des Brandschutzes bei historischen Gebäuden R. Dobbernack, Braunschweig	43
1.4 Brandgefahr im Kinderzimmer – Numerische und experimentelle Untersuchungen von verschiedenen Szenarien A. Hofmann, Berlin	63
Sitzung 2 - Normen, Richtlinien, Verordnungen	73
Leitung: K.-D. Wathling, Berlin	
2.1 Perspektiven der Brandschutzbemessung nach DIN 4102 Teil 4, Teil 22 und Eurocode T. Sommer, Berlin	75
2.2 Brandschutzbemessungen von schlanken Stahlbetonstützen – Vergleich DIN 4102 Teil 4 und Teil 22 mit Eurocode 2-1-2 E. Richter, Braunschweig	89
2.3 Rahmenbedingungen für die Anwendung der Eurocode-Brandschutzteile in Deutschland D. Hosser, Braunschweig	109

	Seite
2.4 Umsetzung der europäischen Klassifizierung von Bauprodukten, Bausätzen und Bauarten J. Wesche, Leverkusen	129
2.5 Personensicherheit in Versammlungsstätten - kritische Analyse und Verbesserungsvorschläge B. Forell, Braunschweig	143
Sitzung 3 - Brandschutzkonzepte an Beispielen Leitung: H.-J. Gressmann, Braunschweig	171
3.1 Untersuchungen zur sicheren Evakuierung von unterirdischen Bahnhöfen im Brandfall E. Hagen, J. Upmeyer, K. Veenker, Kleve	173
3.2 Brandschutzkonzept für ein automatisches Parksilo im Wandel der Zeit U. Kirchner, Erkelenz	189
3.3 Industrieparks im Wandel der Zeit – Brandschutzkonzepte mit oder ohne Werkfeuerwehr? T. Heins, R. Gellings, Kleve	207
3.4 Innovative Brandschutzkonzepte für Sonderbauten und Bereiche mit besonderen Anforderungen R. Milski, Berlin	219
3.5 Verwendung von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau - eine Perspektive aus U.K. G. Daniels, K. Wallasch, Manchester/London	227
Sitzung 4 - Schutzziele im vorbeugenden Brandschutz Leitung: G. Spangardt, Köln	243
4.1 Bauordnungsrechtliche Schutzziele des vorbeugenden Brandschutzes F. Mehl, Leipzig	245
4.2 Anforderungen an den vorbeugenden Brandschutz aus Sicht der Feuerwehr J. Messerer, München	263

4.3	Schutzinteressen und Anforderungen an den Brandschutz aus Sicht der Sachversicherung A. Pflugradt, Hannover	273
4.4	Schutzinteressen und Anforderungen an den Brandschutz aus Sicht der Industrie B. Tschöpe, Berlin	281
Anhänge		293
A.1	Anschriften der Referenten und Sitzungsleiter	295
A.2	Kurzvorstellung des Veranstalters (iBMB / MPA)	299
A.3	Verzeichnis der Schriften aus dem iBMB	303



GELEITWORT

Mit der 21. Fachtagung "Brandschutz - Forschung und Praxis" gehen die Braunschweiger Brandschutz-Tage in ihre dritte Dekade. Ihr Erfolgsrezept ist die besondere Mischung aus "Forschung und Praxis", die im Brand- und Katastrophenschutz wie auch auf anderen Gebieten an der Technischen Universität Braunschweig gepflegt wird. Hierzu zählt auch die enge Vernetzung von Forschung und Lehre mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Braunschweig und Umgebung sowie mit Industrie und Gewerbe. Die Konzentration zahlreicher Forschungseinrichtungen in und um Braun-

schweig und deren Einbettung in die Entwicklung von Stadt und Region waren ein wesentlicher Grund dafür, dass der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft Braunschweig zur *Stadt der Wissenschaft 2007* gewählt hat. Für die TU Braunschweig ist das ein zusätzlicher Ansporn, sich noch stärker als bisher für die Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft einzusetzen, die Erkenntnisse aus der Forschung noch schneller in die Praxis zu übertragen und für technologische Innovationen zu nutzen.

Die Braunschweiger Brandschutz-Tage sind ein hervorragendes Beispiel für gelebten "Knowhow-Transfer" im Rahmen der wissenschaftlich orientierten Weiterbildung. Mehr als 1000 Experten und Praktiker aus Brandschutzforschung, Materialprüfung, Baubehörden, Feuerwehren, Versicherungen, Ingenieurbüros, Industrie und Gewerbe sind auch diesmal wieder nach Braunschweig gekommen. Sie bestätigen eindrucksvoll die Philosophie dieser Brandschutz-Fachtagung, aktuelle Informationen aus Forschung, Normung und Anwendung zu vermitteln, zukunftsweisende Konzepte zu präsentieren, aber auch Defizite anzuprangern und für Abhilfe zu sorgen. Die interessanten und abwechslungsreichen Vorträge und die vielen Highlights in der begleitenden Industrieschau bieten reichlich Stoff für anregende Fachgespräche in den Pausen und beim abendlichen Empfang im Foyer.

Ich danke Herrn Professor Hosser und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die vorzügliche Organisation und den Referenten und Moderatoren für ihre wichtigen Beiträge. Den Teilnehmerinnen und Teilnehmern wünsche ich zwei spannende und informative Tage und einen angenehmen Aufenthalt in Braunschweig, der Stadt der Wissenschaft 2007.

Braunschweig, 26. September 2007

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Dichtl
Vizepräsident der Technischen Universität Braunschweig

SITZUNG 1

AKTUELLES AUS DER FORSCHUNG

Sitzungsleitung: D. Hosser, Braunschweig

VERWENDBARKEIT VON DÄMMSTOFFEN AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN IM HOLZTAFELBAU

Björn Kampmeier

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EINLEITUNG

In einem Verbundforschungsvorhaben wurde mit Hilfe von Brandversuchen im Labormaßstab und im Realmaßstab untersucht, ob brennbare Dämmstoffe auch im mehrgeschossigen Holztafelbau der Gebäudeklasse 4 eingesetzt werden können [1]. Im Vergleich zu Gebäuden mit nichtbrennbarer Dämmung erhöht sich das Brandrisiko nicht, wenn durch Einhaltung bestimmter konstruktiver Randbedingungen eine Entzündung der brennbaren Dämmung und eine kritische Rauchgasentwicklung verhindert werden.

AUSGANGSSITUATION

Noch bis vor wenigen Jahren war es nach Baurecht nicht möglich, Gebäude mit einer Höhe von mehr als 7 m (Fußboden des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen über der Zugangsebene) in ihrer tragenden Struktur aus Holz zu errichten. Erst mit der Novellierung der MBO im Jahr 2002 [2] und der Einführung der Gebäudeklasse 4 eröffnete sich dem Holzbau ein neuer Markt für Gebäude bis 13 m Höhe und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m². Dies konnte nur erreicht werden, da in einem Forschungsvorhaben nachgewiesen wurde, dass sich bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Vorgaben das Brandrisiko im Vergleich zu Gebäuden in nichtbrennbarer Massivbauweise nicht erhöht. Um die konstruktiven Anforderungen aufgrund der Ergebnisse des Forschungsprojekts einheitlich zu regeln, wurde die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – M-HFHolzR, kurz Muster-Holzbaurichtlinie, erarbeitet [3].

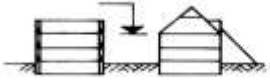
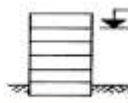
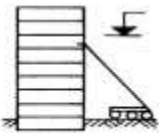
Einteilung der Gebäudeklassen				
1	2	3	4	5
Gebäude				
freistehend 1 WE	geringer Höhe OKF ≤ 7 m ≤ 2 WE ≥ 3 WE		Gebäude mittl. Höhe NE < 400m ² 7m < OKF ≤ 13m	sonstige Gebäude OKF > 13m
Feuerwehreinsatz mit Steckleitern				
				

Bild 1 Einteilung der Gebäudeklassen

Zentraler Bestandteil der konstruktiven Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie ist, dass die tragende Holzstruktur durch eine nichtbrennbare Bekleidung über 60 Minuten Branddauer vor einer Entzündung geschützt wird. Die Brandschutzbekleidung muss dazu derart dimensioniert werden, dass an der Oberfläche der Holzbauteile eine Temperatur von 270 °C im Mittel und 290 °C im Maximum nicht überschritten wird. Außerdem muss zur Vermeidung eines Rauchdurchtritts bei raumabschließenden Bauteilen die Bekleidung mindestens zweilagig mit versetzten Fugen ausgeführt werden. Die Erweiterung in Richtung des mehrgeschossigen Holztafelbaus soll schrittweise unter Beobachtung der Erfahrungen in der Praxis vollzogen werden. Deshalb wurde gefordert, dass die Hohlräume der Holztafelelemente mit nichtbrennbarer Dämmung mit einem Schmelzpunkt > 1000 °C gefüllt werden. Brennbaren Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Hanf oder Flachs blieb damit der Einsatz im mehrgeschossigen Holzbau vorerst verwehrt.

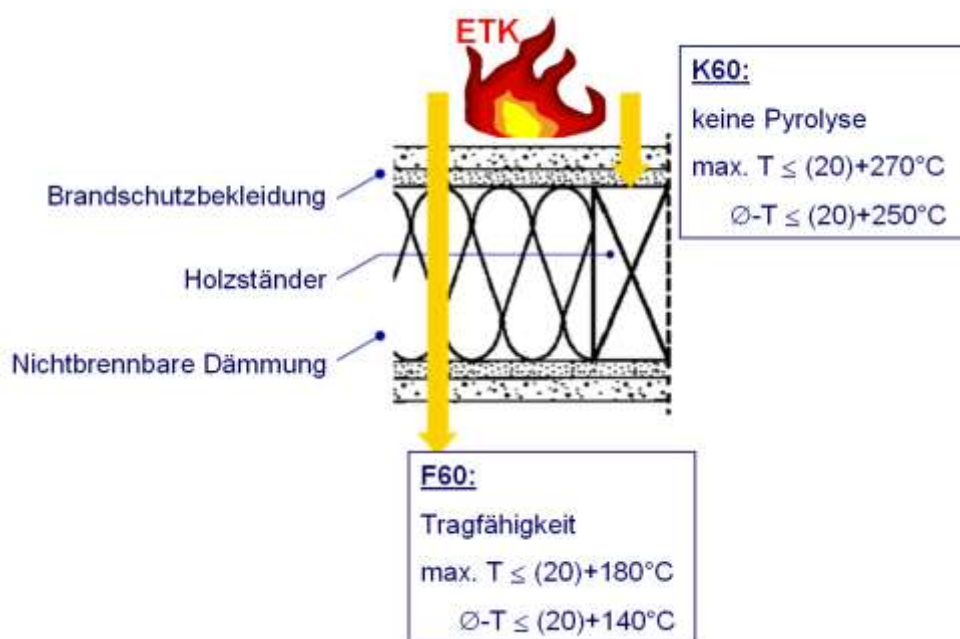


Bild 2 Schematischer Wandaufbau nach Muster- Holzbaurichtlinie

Im Rahmen eines Verbundvorhabens „Untersuchungen zur Optimierung und Standardisierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen“ sollte im Teilprojekt „Brandtechnische Untersuchungen“ unter anderem der Nachweis erbracht werden, dass bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Randbedingungen auch brennbare Dämmstoffe eingesetzt werden können, ohne das akzeptierte Sicherheitsniveau im Brandschutz abzusenken.

ANFORDERUNGEN AN DIE BRANDSCHUTZBEKLEIDUNG BEI VERWENDUNG BRENNBARER DÄMMSTOFFE

Die Muster-Holzbaurichtlinie sieht ein Verfüllen der für den Holztafelbaubau typischen Hohlräume mit nichtbrennbarer Dämmung vor, um einer Brandentstehung und -ausbreitung im Innern der Konstruktion vorzubeugen. Werden diese Hohlräume nun mit brennbaren Dämmmaterialien gefüllt, wird das brandschutztechnische Risiko offensichtlich erhöht, weil zusätzliche Brandlasten eingebracht werden, die zudem zum Glimmen neigen. Des weiteren muss berücksichtigt werden, dass sich bei den brennbaren Dämmstoffen bereits bei Temperaturen unterhalb der Entzündungstemperatur aufgrund der thermischen Zersetzung brennbare Gase bilden und im Bauteilinnern ansammeln können. Dies kann eine Gefahr für die Feuerwehr darstellen, die beim Löschangriffs die Konstruktion öffnen muss, um eventuell vorhandene Glutnester zu löschen. Bei der Zufuhr von Sauerstoff können die Zersetzungsgase schlagartig durchzünden. Das Schutzziel der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung muss demnach bei Verwendung brennbarer Dämmstoffe dahingehend erweitert werden, dass nicht nur die Entzündung der Dämmstoffe verhindert, sondern auch deren Ausgasung vermieden werden muss.

Hinzu kommt, dass die Brandschutzbekleidung keine Schwachstellen in Form von Steckdosen, Schaltern oder Verteilerdosen aufweisen darf. Während solche Einbauteile beim Holztafelbau mit nichtbrennbarer Dämmung unbedenklich sind, sofern der Abstand zum benachbarten Holzständer mindestens 150 mm beträgt, können sie bei brennbarem Dämmmaterial zur Brandeinleitung in die Konstruktion führen. Ebenso dürfen keine elektrischen Leitungen als potenzielle Zündquellen ungekapselt in den Bauteilen geführt werden.

BESTIMMUNG DER THERMISCHEN GRENZTEMPERATUR

Mit Hilfe des Cone-Kalorimeters nach ISO 5660 [4] sollte zunächst im Labormaßstab unter praxisnahen Bedingungen die maximale Temperatur bestimmt werden, bei der eine thermische Zersetzung der Dämmstoffe gerade noch nicht stattfindet. Dazu wurde ein oben offener Kasten aus Vermiculit-Platten mit den Innenmaßen 100 x 100 mm² und einer Höhe von 50 mm hergestellt. Dieser Probenkasten wurde vollständig mit dem zu untersuchenden Dämmstoff gefüllt und anschließend mit einer 18 mm dicken Gipskarton-Feuerschutzplatte gemäß DIN 18180 abgedeckt (Bild 3). Mittig auf der Unterseite der Gipskartonplatte wurde ein Thermoelement angeordnet, um die Temperaturentwicklung zu messen. Anschließend wurde der Probenkasten mit einer homogenen Wärmestromdichte von 20 kW/m² durch den elektrisch beheizten Strahler des Cone-Kalorimeters solange erwärmt, bis auf der Rückseite der Gipskartonplatte eine zuvor festgesetzte Temperatur zwischen 150 °C und 250 °C erreicht wurde. Dies geschah bei der gewählten Wärmestromdichte nach etwa 1 Stunde, was der geforderten Schutzdauer von 60 Minuten entspricht. Nach Erreichen der Temperatur wurde der Versuch sofort beendet, der Probekörper aus dem Cone-Kalorimeter entfernt und die Gipskartonplatte abgenommen.



Bild 3 Probekörper im Cone-Kalorimeter

Anhand der Verfärbung der Dämmstoffoberfläche wurde festgestellt, ob bereits eine thermische Zersetzung des Materials vorlag. Bild 4 zeigt die Verfärbung der Oberfläche bei Versuchsende am Beispiel einer Dämmplatte aus Hanf. Wie zu erkennen ist, kommt es bei Oberflächentemperaturen von 275 °C, 250 °C und 225 °C zu deutlichen Verfärbungen des Dämmmaterials. Erst bei einer Begrenzung der Oberflächentemperatur auf 200 °C trat keine thermische Verfärbung mehr auf. Die Grenztemperatur für die thermische Zersetzung konnte somit für die Hanfplatte auf 200 °C festgelegt werden.



Bild 4 Dämmstoffoberfläche nach Erreichen von 275°C, 250°C 225°C und 200°C im Cone-Kalorimeter

In dem Forschungsvorhaben wurden insgesamt 14 brennbare Dämmstoffe hinsichtlich ihrer thermischen Grenztemperatur untersucht. Mit dem zuvor geschilderten Versuchsaufbau im Cone-Kalorimeter ergaben sich Grenztemperaturen zwischen maximal 225 °C für Cellulose-Dämmstoffe, Flachs und Seegras und minimal 150 °C für eine Holzfaserdämmplatte. Für ein Schafwollvlies und ein Flachsprodukt wurde eine Grenztemperatur von 175 °C und für die restlichen untersuchten Produkte aus Rohstoffen wie Hanf, Flachs, Roggen oder Holzspänen eine Grenztemperatur von 200 °C bestimmt.

UNTERSUCHUNG DER RAUCHGASENTWICKLUNG

Für eine Anwendung im mehrgeschossigen Holzbau musste weiterhin nachgewiesen werden, dass bis zum Erreichen der thermischen Grenztemperatur die Rauchgasentwicklung der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen nicht kritischer ist als bei nichtbrennbaren Baustoffen. Der Nachweis wurde in Anlehnung an das Prüfverfahren nach DIN 4102-1, Anhang A, „Prüfverfahren für die Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen - Zersetzung unter Verschwelungsbedingungen“ [5] geführt.

Entgegen den Vorgaben der Norm, das Material bei Temperaturen zwischen 250 °C und 550 °C zu prüfen, wurden die brennbaren Dämmstoffe bei den zuvor ermittelten thermischen Grenztemperaturen untersucht. Denn im Einbauzustand werden durch bauliche Maßnahmen wie die entsprechend dimensionierte Brandschutzbekleidung im Brandfall höhere Temperaturbeanspruchungen als die thermische Grenztemperatur verhindert.

Der Prüfaufbau besteht aus einem 1 m langem Glasrohr mit einem Durchmesser von 40 mm, in dem sich der zu untersuchende Dämmstoff befindet. Das Glasrohr wird von einem Ringofen umschlossen, der durch einen automatischen Vorschub mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeit von 10 mm/min über das Glasrohr bewegt wird. Während der Versuchsdauer von 25 Minuten wird der Dämmstoff auf die zuvor festgelegte Grenztemperatur erwärmt und die Lichtschwächung im Abgasstrom gemessen.

Bei allen Dämmstoffen lag die mittlere Lichtschwächung bei der Grenztemperatur unter 5 % und damit deutlich unterhalb des für nichtbrennbare Baustoffe zulässigen Werts von 30 %. Damit ist für alle untersuchten Materialien nachgewiesen, dass die Rauchentwicklung bei Einhaltung der Grenztemperatur als unkritisch einzustufen ist.



Bild 5 Prüfaufbau zur Bestimmung der Rauchgasentwicklung

DURCHFÜHRUNG VON NORMBRANDVERSUCHEN MIT KLEINFORMATIGEN BAUTEILEN

Versuchsaufbau

Durch Brandversuche nach der Einheitstemperaturzeitkurve der DIN 4102-2 [6] im Kleinbrandofen nach DIN 4102-8 [7] sollte die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Laborbrandversuchen im Cone-Kalorimeter hinsichtlich der thermischen Grenztemperatur auf reale Einbaubedingungen geklärt werden. Dabei sollte auch der Einfluss von Schrauben und Plattenstößen in der Brandschutzbekleidung auf eine thermische Zersetzung des Dämmmaterials untersucht werden.

Die Probekörper bestanden aus einem Holzrahmen mit den Außenabmessungen $52 \times 52 \text{ cm}^2$. Auf diesem Rahmen wurde die Brandschutzbekleidung befestigt, die aus 2 Lagen Gipskartonplatten $d = 12,5 \text{ mm}$, teilweise mit einer zusätzlichen Lage Holzwerkstoffplatten, bestand. Der Hohlraum wurde mit einer Hanfplatte in 10 cm Dicke gefüllt. Die Versuche wurden beendet, wenn auf der Rückseite der Brandschutzbekleidungen die thermische Grenztemperatur erreicht wurde.

Bestätigung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung

Es wurde geprüft, ob die im Cone-Kalorimeter ermittelten Grenztemperaturen auch unter realitätsnahen Bedingungen und Normbrandbeanspruchung zutreffen. Dazu wurde der Holzrahmen mit 2 Lagen GKF-Platten $d = 12,5 \text{ mm}$ be-

kleidet. Während der Versuchsdauer von ca. 1 Stunde wurde die rückseitige Temperatur der Brandschutzbekleidung gemessen. Die Grenztemperatur von 200°C für die Hanfplatte konnte in dem Versuch bestätigt werden. Bild 6 zeigt, dass bei der Oberflächentemperatur von 200 °C noch keine thermische Schädigung des Materials vorliegt.

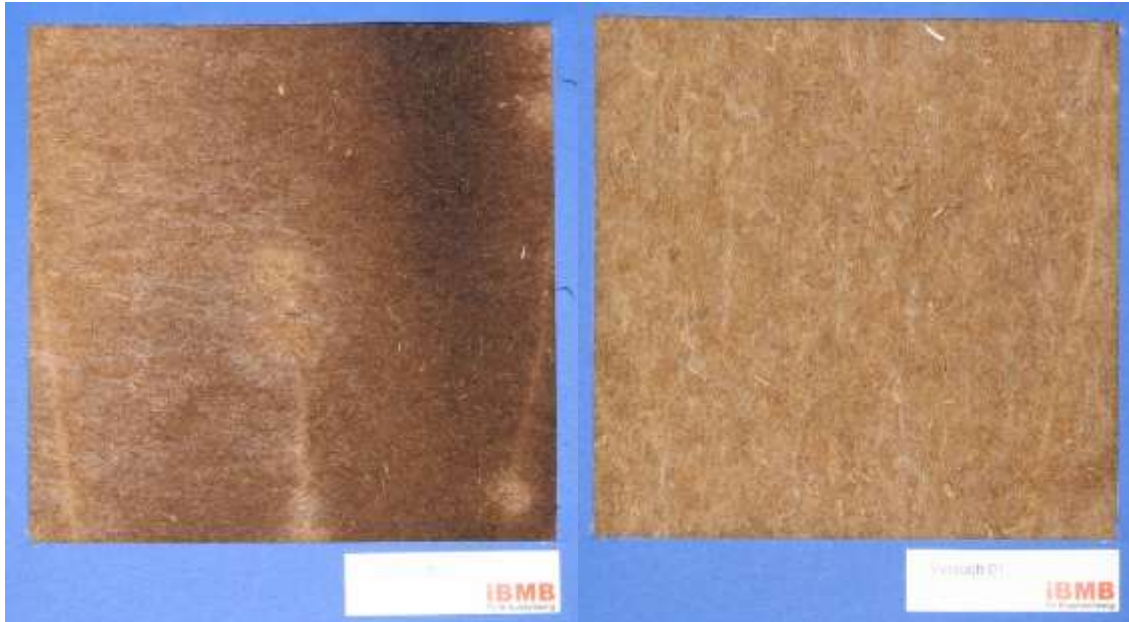


Bild 6 Dämmstoffoberfläche nach Erreichen von 225 °C und 200 °C im Kleinbrandofen

Bestimmung des Einflusses von Fugen in der Brandschutzbekleidung

Weiterhin wurde untersucht, welchen Einfluss Fugen in der Brandschutzbekleidung auf die thermische Zersetzung des Dämmstoffes haben. Dazu wurden die beiden Lagen GKF-Platten versetzt zueinander gestoßen und verspachtelt.

Der Versuch wurde abgebrochen, als im ungestörten Bereich auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung die Grenztemperatur von 200 °C erreicht wurde. Die Temperaturen im Bereich des Stoßes der unteren GKF-Platte lagen zu diesem Zeitpunkt bereits bei 240 °C, was eine Schädigung des Dämmstoffes bewirkte (Bild 7). Der Stoß in der oberen Lage GKF-Platten wirkte sich hingegen nicht negativ aus.



Bild 7 Thermische Zersetzung der Dämmstoffoberfläche im Stoßbereich der Brandschutzbekleidung

Nachweis des thermischen Schutzes durch Holzwerkstoffplatten

Die Einbausituation der Dämmstoffe im Holztafelbau lässt sich grundsätzlich in zwei Varianten einteilen. Im einen Fall befinden sich die Dämmstoffe direkt hinter der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus Gipskarton- oder Gipsfaserplatten. In diesem Fall muss die Brandschutzbekleidung sowohl die Entzündung der Holzbauteile als auch die thermische Schädigung der Dämmstoffe verhindern. Im anderen Fall befindet sich jedoch zwischen Brandschutzbekleidung und Dämmstoff zusätzlich eine Holzwerkstoffplatte. Die Brandschutzbekleidung muss dann nur die Anforderungen an den Entzündungsschutz der Holzbauteile sicherstellen, während die thermische Zersetzung des Dämmmaterials durch die Holzwerkstoffplatte verhindert wird.

Bild 8 zeigt das Ergebnis eines Versuchs, bei dem der thermische Schutz für den Dämmstoff aus 2 Lagen GKF-Platten $d = 12,5 \text{ mm}$ und einer 8 mm dicken Spanplatte bestand. Der Versuch wurde beendet, als eines der Thermoelemente auf der dem Feuer zugewandten Oberfläche der Holzwerkstoffplatte (TE 12 bis TE 16) die für Holz festgelegte Entzündungstemperatur von 270 °C erreichte. Auf der Rückseite der Spanplatte herrschten zu diesem Zeitpunkt Temperaturen von ca. 110 °C , so dass keine Gefahr für eine thermische Zersetzung des Dämmstoffes bestand. Dies wurde durch eine Begutachtung der Dämmstoffoberfläche nach dem Versuch bestätigt.

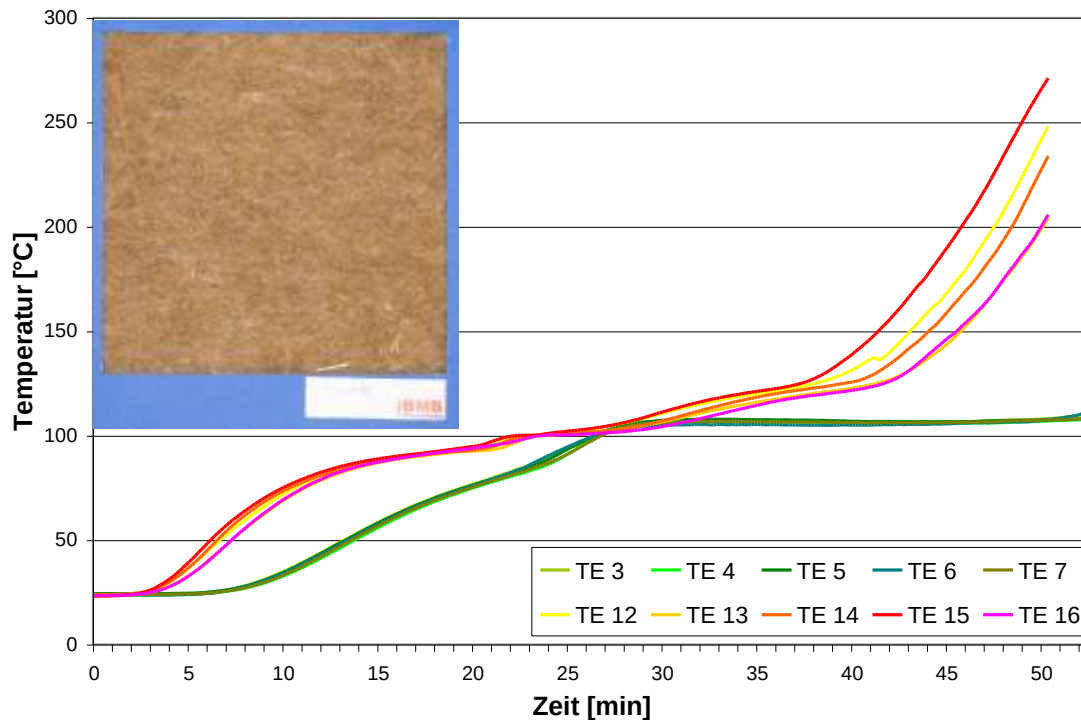


Bild 8 Temperaturentwicklung auf der Dämmstoffoberfläche bei thermischem Teilschutz durch eine Holzwerkstoffplatte

Einfluss metallischer Verbindungsmittel

Abschließend wurde der Einfluss von Schrauben auf das thermische Zersetzungsverhalten der Bauteile untersucht. Dazu wurden Schrauben durch beide Lagen bzw. nur durch die untere Lage der Brandschutzbekleidung in das Dämmmaterial geführt. Der Versuch wurde abgebrochen, als auf der Rückseite der Brandschutzbekleidung ohne Einfluss der Schrauben die Grenztemperatur von 200 °C erreicht wurde.

Wie zu erwarten war, strömte durch die Schrauben lokal zusätzlich Wärme in das Dämmmaterial. Entsprechend war in einem Radius von ca. 3 cm das Dämmmaterial verkohlt (Bild 9). Schrauben, die durch die obere Lage der Brandschutzbekleidung geschützt waren, wiesen zwar eine deutlich geringere Verkohlungs auf, auch hier war jedoch eine punktuelle Verkohlungs erkennbar.



Bild 9 Thermische Zersetzung auf der Dämmstoffoberfläche bei durchgehenden Schrauben

DURCHFÜHRUNG EINES GROßMAßSTÄBLICHEN NORMBRANDVERSUCHS

Zum integralen Beleg der bisherigen Untersuchungsergebnisse wurde ein abschließender Normbrandversuch entsprechend DIN 4102-2 [6] mit einem Deckenelement und zwei Wandelementen in realer Größe durchgeführt. In diesem Versuch sollten Bauteile mit bereits klassifizierten Brandschutzbekleidungen in Verbindung mit den brennbaren Dämmstoffen geprüft werden. Zum Einsatz kamen bei dem Deckenbauteil eine klassifizierte K 60-Bekleidung, bei den Wandbauteilen eine K 30-Bekleidung in Verbindung mit einer Holzwerkstoffplatte. Die Brandschutzbekleidungen sind gemäß DIN EN 14135: 2004-08 [8] geprüft worden. Ziel der Untersuchungen war auch, weitere Erkenntnisse zum Brandverhalten von Bauteilen mit einem thermischen Teilschutz durch Holzwerkstoffplatten zu gewinnen.

Das Deckenbauteil bestand aus einem $1,20 \times 1,70 \text{ m}^2$ großen Fichtenholzrahmen, der durch ein Längs- und ein Querholz in vier Felder unterteilt war. Das Bauteil war durch 2 Lagen GKF-Platten $d = 18 \text{ mm}$ geschützt. Die einzelnen Lagen der GKF-Platten waren jeweils auf einem Holzständer gestoßen und verschraubt. Die Felder 1 und 3 waren mit Hanfplatten (Grenztemperatur = $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$) gedämmt, die Felder 2 und 4 mit einem Schafwollvlies (Grenztemperatur = $175 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Maßgebend für die Dimensionierung der Brandschutzbekleidung war der Bereich der Verbindungsmittel, an denen zuerst eine Verkohlung zu erwarten ist. Dies hatte zur Folge, dass während des Versuchs die Temperatur in den Feldern auf maximal $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ anstieg. Das bedeutet, dass der thermische Schutz der als K 60 geprüften Bekleidung ebenfalls für die untersuchten brennbaren Dämmstoffe ohne zusätzliche Maßnahmen ausreichend ist.

Nach 60-minütiger Beflammung wurde der Versuch beendet und der Dämmstoff sofort entnommen. Alle Thermolemente zeigten Temperaturen von maximal 130 °C, die damit deutlich unter den thermischen Grenztemperaturen der Materialien lagen. Demzufolge waren auch keine thermischen Verfärbungen auf den Dämmstoffen erkennbar (Bild 10).



Bild 10 Dämmstoffoberflächen nach 60-minütigem Normbrand

Die Wandbauteile bestanden aus 0,60 x 1,00 m² großen Fichtenholzrahmen, die durch ein Querholz in zwei Felder unterteilt waren. Zum Einsatz kam eine K30-Brandschutzbekleidung in Verbindung mit einer 12 mm dicken Spanplatte bzw. mit einer 15 mm dicken OSB-Platte. Die Bekleidung bestand aus 2 Lagen GKF-Platten d = 12,5 mm gemäß DIN 18180. Die GKF-Platten wurden ohne Stoß montiert. Die Holzwerkstoffplatten waren entlang des Querbalkens auf halber Wandhöhe gestoßen und verschraubt. Der Schraubenabstand auf dem Querbalken variierte zwischen 15 cm und 10 cm. Die Felder waren mit Cellulose bzw. Flachs gedämmt.

Aus Vorversuchen war bekannt, dass der thermische Schutz dieser Bekleidung im ungestörten Feldbereich die Temperatur über mehr als 50 Minuten auf 270 °C begrenzt. Die Differenz zwischen der Entzündungstemperatur von Holz (270 °C) und der zulässigen thermischen Grenztemperatur der Dämmstoffe sollte bei diesem Versuchsaufbau durch die Holzwerkstoffbekleidungen ausgeglichen werden.

Anhand der Temperaturen auf der Spanplattenoberfläche war erkennbar, dass sich die Spanplatte ungefähr in der 55. Minute entzündete. Obwohl bei Versuchsende die Temperatur auf der Rückseite der Spanplatte mit ca. 100 °C deutlich unterhalb der thermischen Grenztemperatur der Dämmstoffe lag, wiesen die Dämmstoffe in der Mitte des Querholzes leichte Verfärbungen auf. Die ungestörte Fläche der Dämmstoffe war aber unversehrt.

Der Grund für die Verfärbungen war die Stoßfuge der Holzwerkstoffplatte, durch die Heißgase eindringen konnten. Eine Analyse der Stoßfuge zeigt den Grund des Verhaltens. Die Abstände der Schrauben zur Befestigung der Spanplatte variierten zwischen 10 cm an den Rändern und 15 cm in der Mitte (Bild 11). Der mittlere Bereich wies eine starke Verkohlung der Spanplatte bis zum Holzriegel auf, während in den Randzonen nur die oberflächennahen Bereiche der Spanplatte verkohlt waren.

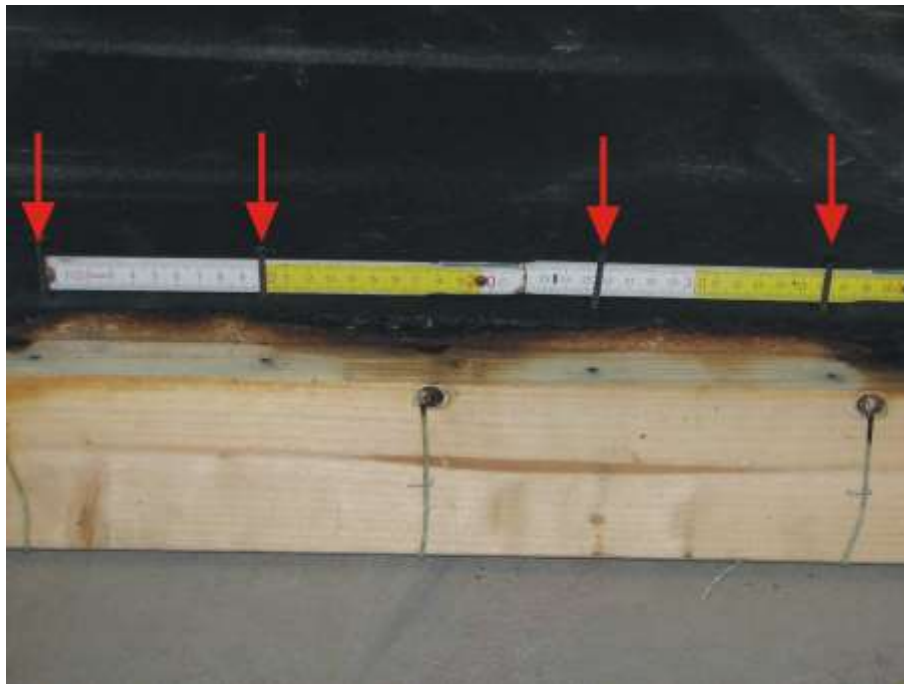


Bild 11 Schädigung der Spanplatte im Bereich des Plattenstoßes

Der abschließende Belegversuch hat die durch die Laborversuche gewonnenen Erkenntnisse bestätigt. Er zeigte jedoch, dass bei Einsatz einer Holzwerkstoffplatte zum thermischen Teilschutz der Abstand der Verbindungsmittel aus brandschutztechnischer Sicht reglementiert werden muss. Auf Basis der Versuchsergebnisse wird in Fugenbereichen ein maximaler Abstand der Verbindungsmittel von 8 cm vorgeschlagen, der ein frühzeitiges Eindringen der Heißgase verhindern soll.

KONSTRUKTIONSREGELN

Auf der Grundlage der Risikoanalyse und der durchgeführten Brandversuche sind besondere Konstruktionsregeln zu beachten, wenn hochfeuerhemmende Bauteile in Holztafelbauweise unter Verwendung von brennbaren Dämmstoffen hergestellt werden.

Brandschutzbekleidung

Die gemäß Muster-Holzbaurichtlinie [3] erforderliche brandschutztechnisch wirksame Bekleidung muss gewährleisten, dass im Brandfall die Temperatur an der Oberfläche eines brennbaren Dämmstoffes dessen thermische Grenztemperatur nicht überschreitet. Die thermische Grenztemperatur ist definiert als diejenige Temperatur, bei der im Einbauzustand keine thermische Schädigung der Dämmstoffe auftritt und die Rauchfreisetzung im Vergleich zu nichtbrennbaren Dämmstoffen als unbedenklich einzustufen ist.

Als Prüfmethode für die Ermittlung der thermischen Grenztemperatur kann der zuvor beschriebene Prüfaufbau im Cone-Kalorimeter nach ISO 5660 [4] verwendet werden. Zusätzlich kann das „Prüfverfahren für die Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen“ bei reduzierter Temperatur in Anlehnung an DIN 4102-1, Anhang A [5] herangezogen werden.

Fugen in der unteren Lage der Brandschutzbekleidung

Fugen in der unteren Lage der Brandschutzbekleidung sind auf einem Ständer auszuführen. Wenn freie Stöße erforderlich sind, muss die Unbedenklichkeit gesondert durch Brandversuche nachgewiesen werden.

Holzwerkstoffplatten als Teil der Brandschutzbekleidung

Aufgabe der Brandschutzbekleidung im Holztafelbau ist es, die Temperatur der tragenden Holzstruktur im Brandfall auf 270 °C zu begrenzen. Liegt die Grenztemperatur eines brennbaren Dämmstoffs unterhalb von 270 °C, kann eine vorhandene Bekleidung aus Holzwerkstoffplatten zur Sicherstellung des vollständigen Temperaturschutzes mit herangezogen werden. In diesem Fall sind nicht zu vermeidende Stöße der Holzwerkstoffplatte auf einem Ständer auszuführen und kraftschlüssig zu verschrauben. Der maximale Abstand der Verbindungsmittel darf 8 cm nicht überschreiten.

Schrauben, Klammern, Nägel in der Brandschutzbekleidung

Werden Schrauben, Klammern oder Nägel auf einem Ständer ausgeführt, so ist der Nachweis der Unbedenklichkeit bereits durch die Klassifizierung der Brandschutzbekleidung nach DIN EN 14135 [8] erbracht. Wenn die Verbindungsmittel auch im Feld, das heißt mit direktem Kontakt zur brennbaren Dämmung, angeordnet werden, muss zusätzlich nachgewiesen werden, dass die Grenztemperatur eingehalten wird.

Elektroinstallationen außerhalb der Bauteile

Es dürfen keine Zündquellen innerhalb der Bauteile vorhanden sein. Elektroinstallationen wie Steckdosen, Lichtschalter, Elektrokabel und Verteilerdosen müssen außerhalb der Brandschutzbekleidung, z. B. in einer Vorwandinstallationsebene, geführt werden.

DANK

Der Autor dankt dem Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft für die Förderung des Verbundprojektes und dem Projektträger Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) für die gute Betreuung. Für die ausgezeichnete Zusammenarbeit in dem Teilprojekt bedankt sich der Autor bei den Verbundpartnern, insbesondere bei den Herren Prof. Bockisch und Dipl.-Biol. Hansjörg Wieland von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL).

LITERATUR

- [1] Hosser, D.; Kampmeier, B.: Anwendung brennbarer Dämmstoffe im mehrgeschossigen Holzbau. Bauphysik 29 (2007), Heft 4, 313-318
- [2] Musterbauordnung (MBO). Fassung November 2002
- [3] Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie - M-HFHHolzR); Fassung Juli 2004
- [4] ISO 5660-1 Prüfungen zum Brandverhalten von Baustoffen - Wärmefreisetzung, Rauchentwicklung und Masseverlustrate – Wärmefreisetzungsrate (Cone-Kalorimeter-Verfahren); Ausgabe Dezember 2002
- [5] DIN 4102-1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe Mai 1998
- [6] DIN 4102-2: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe September 1977
- [7] DIN 4102-8: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 8: Kleinprüfstand; Ausgabe Oktober 2003
- [8] DIN EN 14135: Bestimmung der Brandschutzwirkung; Ausgabe August 2004

BEREITSTELLUNG VON TEMPERATURZEITKURVEN ZUR BRANDSCHUTZBEMESSUNG FÜR NATÜRLICHE BRÄNDE

Jochen Zehfuß

hhpberlin Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH, Berlin

EINFÜHRUNG

Mit dem Eurocode 1 Teil 1-2 (DIN EN 1991-1-2) [1] sowie dem seit Mai 2006 in erster Auflage vorliegenden vfdb-Leitfaden [2] stehen in Deutschland erstmals Regelwerke zur Verfügung, in denen die Brandschutzbemessung von Bauteilen und Tragwerken für natürliche Brände geregelt wird. Neben der grundsätzlichen Beschreibung der so genannten allgemeinen Brandmodelle, die zur Anwendung der allgemeinen Berechnungsverfahren mittels relativ aufwändiger Computersimulationen erforderlich sind, werden in beiden Regelwerken ebenfalls so genannte vereinfachte Brandmodelle beschrieben. Bei den vereinfachten Brandmodellen (vereinfachte Verfahren) handelt es sich um Näherungsverfahren, mit denen in einer einfachen Handrechnung bzw. Tabellenkalkulation der Temperaturzeitverlauf eines natürlichen Brandes in Abhängigkeit der wesentlichen Einflussgrößen bestimmt werden kann. Die vereinfachten Modelle haben gegenüber den allgemeinen Brandmodellen den Vorteil, dass sie vergleichsweise einfach anzuwenden sind und i. A. schnell zu Ergebnissen führen, die für die Brandschutzbemessung i. d. R. ausreichend genau sind. Insbesondere die vereinfachten Verfahren sollen nicht nur der Lösung spezieller Fragestellungen der Tragwerksbemessung im Brandfall durch Experten aus Universitätsinstituten und spezialisierten Ingenieurbüros dienen, sondern für die „Heißbemessung“ im Rahmen der „normalen“ Tragwerksplanung eingesetzt werden.

Die für die Brandschutzbemessung zur Verfügung stehenden Brandmodelle erfordern eine Vielzahl von Eingabeparametern, die den Brandverlauf beschreiben und damit unmittelbaren Einfluss auf das Ergebnis (Temperaturzeitverlauf, Brandausbreitung) haben. In den beiden zitierten Regelwerken sowie in der einschlägigen Literatur finden sich nur vereinzelt Anwendungshilfen zur Definition der Eingangsparameter für die Brandschutzbemessung und ihrer Anwendungsgrenzen. Ein Grund dafür ist die vergleichsweise „junge Idee“, den Naturbrand auch für die Tragwerksbemessung anstatt der klassischen Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2 heranzuziehen. Ein Großteil der Naturbrandmodelle wurde bisher schwerpunktmäßig zur Auslegung der Rauchableitung aus Gebäuden angewendet.

Die richtige Wahl der Eingangsparameter ist für den berechneten Temperaturzeitverlauf eines natürlichen Brandes entscheidend, um den relevanten Fall bewerten zu können. Die Größe der Ventilationsöffnung beeinflusst den Brandverlauf maßgeblich und kann für das Versagen eines Bauteils entscheidend sein. Es stellt sich daher beispielsweise die Frage, welche Öffnungen als Ventilationsöffnungen bei einem Brand in Frage kommen, ob Türen grundsätzlich offen anzusetzen sind und wann Fensterglas im Brand versagt.

Da der natürliche Brandverlauf von einer Vielzahl von Parametern abhängt, ist es eine anspruchsvolle Ingenieuraufgabe, das maßgebliche Brandszenario für die Brandschutzbemessung festzulegen. Die Definition des maßgeblichen Brandszenarios sollte grundsätzlich im Rahmen eines objektspezifischen Brandschutzkonzeptes unter Beteiligung der Genehmigungsbehörden erfolgen.

In diesem Beitrag sollen die zur Verfügung stehenden Naturbrandmodelle für die Brandschutzbemessung vorgestellt, deren Anwendungsgrenzen aufgezeigt und ein Überblick über die erforderlichen Eingangsparameter gegeben werden.

In Anhang A von [1] werden Parametrische Temperaturzeitkurven beschrieben, mit denen der natürliche Brandverlauf für kleine und mittlere Räume ($< 400 \text{ m}^2$) vereinfacht berechnet werden kann. Hinsichtlich der Beschreibung eines realistischen Brandverlaufs weisen diese Kurven jedoch Defizite auf und werden in der Literatur kritisch diskutiert [3], [4]. Aus diesem Grunde wurde in [4] ein vereinfachtes Verfahren („iBMB Parametrische Brandkurven“) entwickelt, mit dem der Temperaturzeitverlauf von natürlichen Bränden in Räumen bis 400 m^2 realistisch berechnet werden kann. Dieses Verfahren ist in [5] und [6] umfassend beschrieben und wird in [7] anstelle der Parametrischen Temperaturzeitkurven in [1] zur Anwendung empfohlen.

In Anhang C von [1] werden Gleichungen angegeben, mit denen die thermische Einwirkung lokaler Brände bestimmt werden kann. Dabei werden die beiden Fälle unterschieden, a) dass die Flammen die Decke des Brandraumes nicht erreichen (große Hallen, Atrien, Freibrände) bzw. b) dass die Flammenspitzen die Decke erreichen. Für den Fall a) basiert das vorliegende Verfahren auf einem Ansatz nach Heskestad. Für den Fall b) wird auf Grundlage der von Hase-mi entwickelten Methode verfahren [7]. Ergänzt werden kann das in dem Verfahren durch das Modell von Heskestad-Delichatsios zur Berechnung der Temperaturerhöhung im Plume für den Fall ohne Heißgasschicht [2].

EINFLUSSFAKTOREN FÜR DEN TEMPERATURZEITVERLAUF VON NATÜRLICHEN BRÄNDEN

Der zeitliche Verlauf der Energiefreisetzung und der Temperaturentwicklung bei einem natürlichen Brand wird maßgeblich von der Art und Menge der Brandlasten sowie ihrer Zusammensetzung und geometrischen Anordnung beeinflusst. Durch die vorliegenden Ventilationsverhältnisse wird die Sauerstoffzufuhr des Brandes gesteuert. Die Art der Ventilation (natürlich oder maschinell) sowie die Lage, Größe und Anzahl der Ventilationsöffnungen bestimmen den Verlauf eines Brandes wesentlich. Die baulichen Gegebenheiten des Brandraums bzw. Brandabschnittes, d. h. Abmessungen und Höhe sowie thermische Eigenschaften der Umfassungsbauteile, haben ebenfalls großen Einfluss auf die Entwicklung eines Brandes. Die Art und Intensität der Zündquelle sowie ihre Lage im Brandraum und zu anderen Brandlasten beeinflusst den Brand in der Entstehungsphase maßgeblich und ist für den weiteren Brandverlauf von Bedeutung. Schließlich kann der Verlauf eines Brandes durch Eingriffe von außen

wie anlagentechnische Maßnahmen (Sprinkleranlagen, RWA) und Löscharbeiten der Feuerwehr entscheidend beeinflusst werden.

Mit der Wärmefreisetzungsrate lässt sich der zeitliche Verlauf der bei einem Brand frei werdenden Energie beschreiben. Es wird zwischen der Entwicklungsphase mit ansteigender Wärmefreisetzungsrate bei sich ausbreitender Brandfläche, der Vollbrandphase mit konstanter Wärmefreisetzungsrate und maximaler Brandfläche sowie der Abklingphase mit abnehmender Wärmefreisetzungsrate unterschieden [4]. Die maximale Wärmefreisetzungsrate (im brandlastgesteuerten Fall) $\dot{Q}_{\max,f}$ ermittelt sich zu:

$$\dot{Q}_{\max,f} = \dot{Q}_{f,A} \cdot A_f \quad [\text{MW}] \quad (1)$$

$\dot{Q}_{f,A}$ flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate [MW/m^2] (z. B. nach [2]),

A_f maximale Brandfläche [m^2].

Für vereinfachte Brandmodelle kann die maximale Wärmefreisetzungsrate ventilationsgesteuerter Brände $\dot{Q}_{\max,v}$ berechnet werden zu:

$$\dot{Q}_{\max,v} = 0,1 \cdot A_w \sqrt{h_w} \cdot \chi \cdot H_u \quad (2)$$

mit

A_w Fläche der Ventilationsöffnungen [m^2],

h_w gemittelte Höhe der Ventilationsöffnungen [m],

χ gemittelte Verbrennungseffektivität der Brandlasten [-],

H_u gemittelter unterer Heizwert der Brandlasten [MJ/kg],

Für Wohn- und Bürogebäude mit überwiegend holzartigen Brandlasten kann nach [4] vereinfacht angesetzt werden:

$$\dot{Q}_{\max,v} = 1,21 \cdot A_w \sqrt{h_w} \quad [\text{MW}] \quad (3)$$

Bei der Brandschutzbemessung für natürliche Brände sind grundsätzlich alle drei Brandphasen zu untersuchen. Im Gegensatz dazu werden bei der Normbrandbemessung die Bauteile für eine bestimmte Zeitdauer (Feuerwiderstandsdauer) des Normbrandes mit stetig ansteigender Temperaturzeitkurve (ETK) ausgelegt. Die Bauteile werden nach der Feuerwiderstandsdauer in Feuerwiderstandsklassen klassifiziert (z. B. F 30, F 90,...). Im Normbrandversuch muss das Bauteil die angestrebte Feuerwiderstandsdauer erreichen, ein Versagen unmittelbar nach Erreichen der angestrebten Feuerwiderstandsdauer (z. B. zur

91. Minute) ist bedeutungslos für die Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse. Bei der Brandschutzbemessung für natürliche Brände ist die Brandbeanspruchung über den gesamten Brandverlauf zu untersuchen, so dass auch die zeitverzögerte Erwärmung von Bauteilen (Stahlbeton, bekleideter Stahl) berücksichtigt wird, deren Maximaltemperatur zeitlich versetzt zur maximalen Brandraumtemperatur erreicht wird. Brandversuche haben außerdem gezeigt, dass Bauteilversagen in der Abkühlphase auftreten kann, weil hohe Zugspannungen im Tragwerk entstehen [4], [8].

BRANDSZENARIO UND BRANDAUSBREITUNG

Umfassungsbauteile des Brandraums

Ein wesentlicher Einflussfaktor für den Temperaturzeitverlauf im Brandraum ist die Brandraumgeometrie. Die Größe des Brandraums und die Möglichkeit der Brandausbreitung über den Raum der Brandentstehung hinaus bestimmen das maßgebliche Brandszenario und somit den Bemessungsbrand für die Brandschutzbemessung. Sofern der Brandraum in seinen Umfassungsbauteilen eine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit aufweist, entsprechen die geometrischen Randbedingungen denen des originären Brandraumes. Eine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit kann vorausgesetzt werden, wenn die in der entsprechenden Bauordnung bzw. Sonderbauverordnung geforderte Feuerwiderstandsklasse der raumabschließenden Trennwände, z. B. bei Räumen mit erhöhter Brandgefahr (Lagerräume F 90/T 30), gegeben ist. Für Wände, an die das Baurecht keine Anforderungen bzgl. des Raumabschlusses stellt (z. B. Wände zwischen Büroräumen), kann als ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit die erforderliche Feuerwiderstandsdauer der Flurtrennwände angenommen werden.

Haben alle oder einige Umfassungswände des Brandraums keine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit, um den Brand auf den Raum zu begrenzen, in dem er entstanden ist, so ist eine Brandausbreitung bis zu den nächsten Umfassungsbauteilen mit ausreichender Feuerwiderstandsfähigkeit zu unterstellen. Dies sind in der Regel die Trennwände der Nutzungseinheiten, die i. A. feuerbeständig ausgeführt werden müssen.

Festlegung von Brandszenarien für die Brandschutzbemessung

Für Nutzungseinheiten mit einer Grundfläche bis zu 400 m² sind i. d. R. zwei Brandszenarien zu untersuchen:

- Brand im originären Brandraum,
- Brand in der gesamten Nutzungseinheit.

Im zweiten Fall werden die Trennwände innerhalb der Nutzungseinheit nicht mit angesetzt, da sie im Brandfall wegen ihrer nicht ausreichenden Feuerwider-

standsfähigkeit versagen können. Für die Brandschutzbemessung ist bei beiden Brandszenarien von einem *voll entwickelten* Brand in allen drei Phasen auszugehen. Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass bei dem ersten Szenario (Brand verbleibt im ursprünglichen Brandraum) lokal die höchsten Temperaturen entstehen und die einzelnen Bauteile am höchsten beansprucht werden. Beim zweiten Szenario (Brand in der gesamten Nutzungseinheit) sind die Temperaturen u. U. niedriger, dafür wird ein größerer Teil des Tragwerks direkt vom Brand beansprucht [4]. Die maßgeblichen Brandräume müssen zwischen dem Brandschutzsachverständigen und der Genehmigungsbehörde sowie ggf. der Feuerwehr abgestimmt werden.

Für die Brandschutzbemessung in Nutzungseinheiten mit einer Grundfläche von mehr als 400 m² kann ein *lokaler Brand* vorausgesetzt werden, wenn im Rahmen eines objektspezifischen Brandschutzkonzeptes nachgewiesen werden kann, dass die Brandausbreitung infolge anlagentechnischer Maßnahmen, eines frühzeitigen Einsatzes der Feuerwehr, der Anordnung von brandlastfreien Flächen oder wegen einer zu erwartenden sehr geringen Brandausbreitungsgeschwindigkeit lokal begrenzt bleibt.

Zur Untersuchung eines Vollbrandes in Nutzungseinheiten von mehr als 400 m² Größe, z. B. Verkaufsstätten und Industriehallen, sind vereinfachte Brandmodelle nicht geeignet. Derartige Fälle, in denen die Brandausbreitungsgeschwindigkeit, die Abbrandgeschwindigkeit der Brandlasten und die Art und Anordnung der Brandlasten eine große Rolle spielen, können nur von Spezialisten mit allgemeinen Brandmodellen (CFD-Simulation) untersucht werden. Die Brandschutzbemessung sollte daher entsprechend den baurechtlichen Anforderungen erfolgen.

BRANDSCHUTZBEMESSUNG FÜR VOLL ENTWICKELTE BRÄNDE

Allgemeines

Sofern im objektspezifischen Brandschutzkonzept aufgrund der Brandraumgeometrie und ggf. vorhandener günstiger Randbedingungen (problematische Löscharbeiten etc.) nicht davon ausgegangen werden kann, dass ein Brand lokal begrenzt bleibt, ist für die Brandschutzbemessung von einem voll entwickelten Brand auszugehen.

Parameterstudie zu natürlichen Bränden in kleinen Räumen

Mit Hilfe der Ergebnisse einer Parameterstudie soll verdeutlicht werden, welchen großen Einfluss die Größe und Lage der Ventilationsöffnungen auf den möglichen Brand- und Temperaturzeitverlauf voll entwickelter Brände in kleinen Räumen haben und welche Randbedingungen für die Brandschutzbemessung von Bauteilen und Tragwerken unter natürlicher Brandbeanspruchung maßgeblich sind.

Die im Rahmen der Parameterstudie angestellten Berechnungen zur Ermittlung der Temperaturzeitkurven wurden mit dem CFD-Modell [9] durchgeführt. Als Brandszenario wurde ein Brand in einem Büroraum mit den Abmessungen 6,75 m * 3,50 m und einer Höhe von 3,25 m für verschiedene Ventilationsverhältnisse angenommen. Anhand des definierten Brandszenarios soll der Einfluss möglicher Fenster- und Türöffnungen auf den Temperaturzeitverlauf des natürlichen Brandes im Brandraum untersucht werden.

Als Brandlast wurde gemäß [1] eine Brandlastdichte von 511 MJ/m² angesetzt. Die Umfassungsbauteile bestehen aus Stahlbeton. Der Raum hat ein Fenster mit den lichten Abmessungen $b_w = 2$ m und $h_w = 2$ m, die Brüstungshöhe des Fensters beträgt 1 m. Die Tür des Büroraums ist 1 m breit und 2 m hoch (lichte Abmessungen).

Die für den Bemessungsbrand angesetzte Wärmefreisetzungsrate ist in Bild 1 dargestellt. Die Wärmefreisetzungsrate (engl. heat release rate (HRR)) steigt quadratisch an ($t_g = 300$ s) und erreicht nach ca. 12 Minuten ihr Maximum von 5,8 MW.

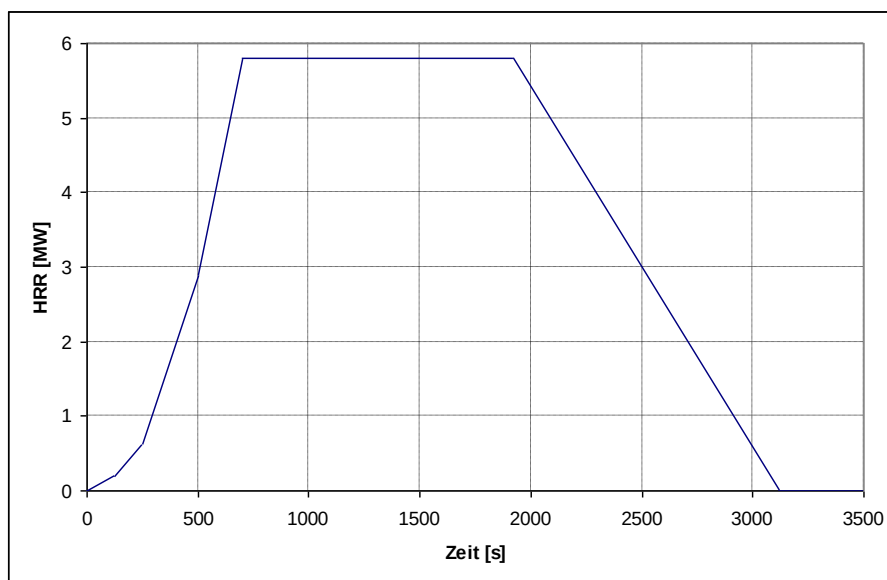


Bild 1 Wärmefreisetzungsrate bei einem Bürobrand

Folgende Ventilationsverhältnisse wurden untersucht:

- Fall 1 Fenster geöffnet / Türöffnung variiert,
- Fall 2 Fenster geschlossen / Türöffnung variiert,
- Fall 3 Fenster über einen Wärmefühler geöffnet,
- Fall 4 Berücksichtigung eines Flurs.

Brandverlauf und Temperaturzeitkurven Fall 1 (Fenster geöffnet)

Für die Größe der Türöffnung wurden drei Varianten untersucht (100 %, 50 % und 10 % geöffnet).

Der Brandverlauf ist für alle untersuchten Varianten brandlastgesteuert, die vorgegebene Wärmefreisetzungsrate (Bild 1) wird vollständig umgesetzt. Die Öffnungsfläche des Fensters ist ausreichend groß, so dass Zuluft auch durch das Fenster in den Brandraum einströmt. Die Temperaturverteilung und der Temperaturzeitverlauf im Brandraum werden durch die Türöffnungsgröße für die Brandschutzbemessung nur unwesentlich beeinflusst (Bild 2).

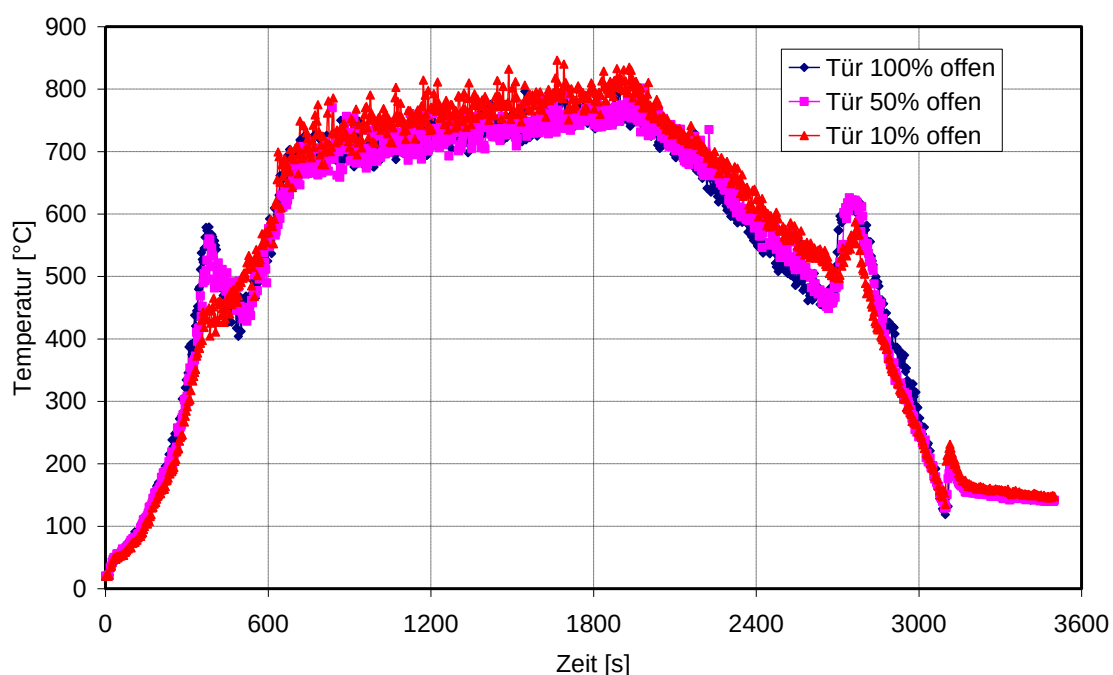


Bild 2 Temperaturzeitkurven in Brandraummitte unter der Decke Fall 1 (Fenster offen)

Brandverlauf und Temperaturzeitkurven Fall 2 (Fenster geschlossen)

Für den Fall 2 wurden vier Varianten untersucht (Größe Türöffnung 100 %, 50 % und 10 % geöffnet).

Bei geschlossenem Fenster ergeben sich für alle drei variierten Türöffnungen ventilationsgesteuerte Brände, die vorgegebene Wärmefreisetzungsrate wird nicht vollständig im Brandraum umgesetzt.

Bild 3 zeigt die Flammenbildung in der Nähe der Türöffnung und die für ventilationsgesteuerte Brände charakteristische Verbrennung außerhalb des Brandraumes.

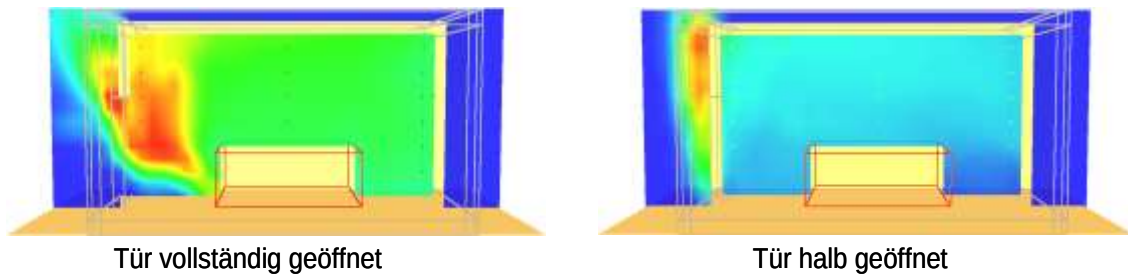


Bild 3 Flammenbildung und Verbrennung außerhalb des Brandraumes, Fall 1

Die Temperaturen sind bei geschlossenem Fenster dann am höchsten, wenn die Tür vollständig geöffnet ist, da die Sauerstoffzufuhr am größten ist (Bild 4). Im Türbereich liegen die Temperaturen um ca. 100 °C höher als in Brandraummitte.

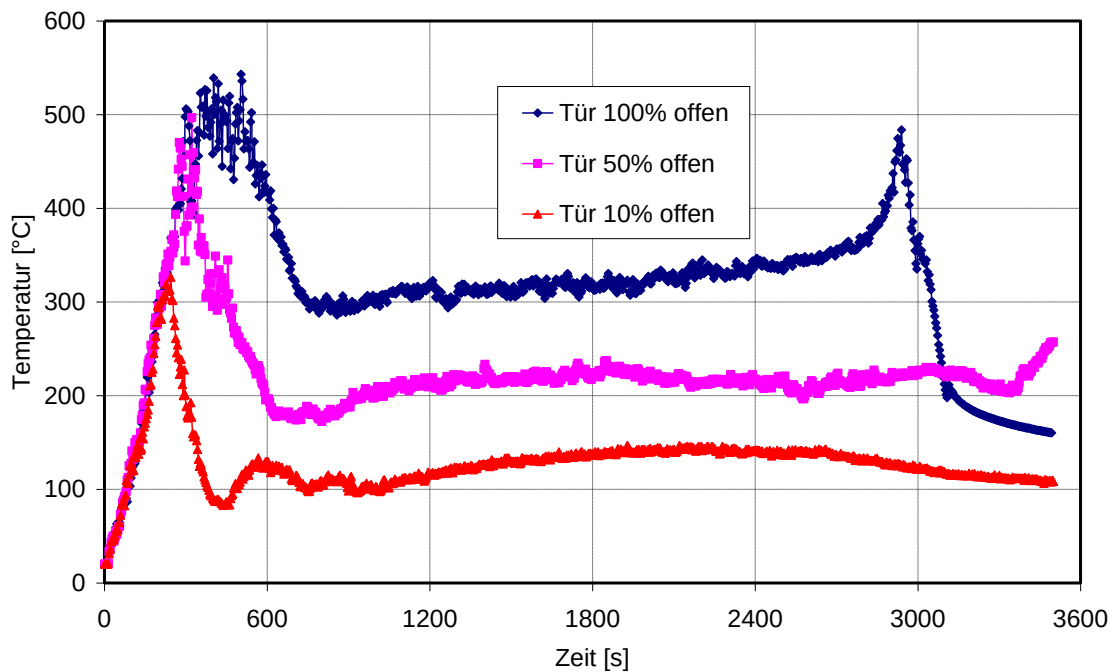


Bild 4 Temperaturzeitkurven in Brandraummitte unter der Decke, Fall 2 (Fenster geschlossen)

Brandverlauf und Temperaturzeitkurven Fall 3 (Fenster bei 300 °C zerstört)

Für den Fall, dass die Tür vollständig geöffnet ist und die Fenster zu Brandbeginn geschlossen sind, und unter der Annahme einer Zerstörung des Fensterglases bei 300 °C („kritische Temperatur“) in der Fensterumgebung, wird der Temperaturzeitverlauf an drei verschiedenen Stellen unter der Decke in Bild 5 dargestellt. Die kritische Temperatur des Fensterglases wird nach ca. 6 - 7 Minuten erreicht.

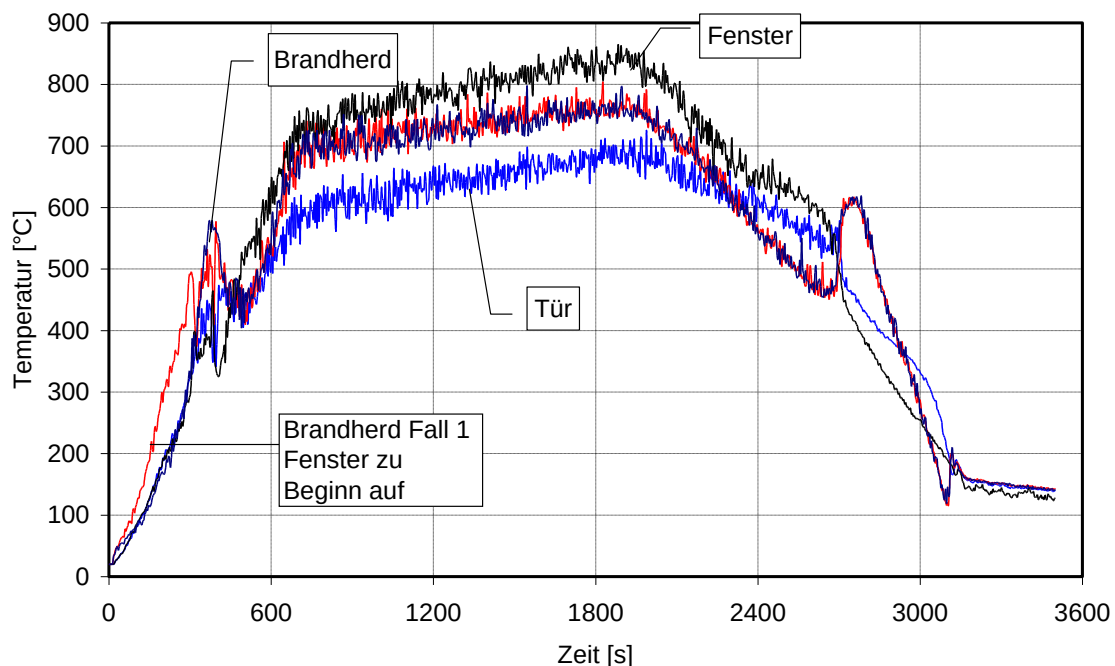


Bild 5 Vergleich der Temperaturkurven im Brandraum, Fensterglas bei 300 °C zerstört und Fenster von Beginn an geöffnet

Der Temperaturzeitverlauf im Brandraum ist nahezu identisch wie in Fall 1 (Fenster zu Beginn geöffnet). Nur in der Anfangsphase bis zur Zerstörung des Fensterglases nach ca. 7 Minuten ergeben sich geringfügige Abweichungen, die Temperaturen im Brandraum bei zu Beginn geöffnetem Fenster liegen um ca. 50 bis 100 °C höher als bei zunächst geschlossenem Fenster. Dieser Zeitraum ist jedoch für die Brandschutzbemessung nicht maßgebend, da die Temperaturen 400 °C nicht überschreiten, während im weiteren Brandverlauf Temperaturen von über 800 °C entstehen.

Aus den hier dargestellten Ergebnissen lässt sich folgern, dass zumindest für kleine Brandräume mit üblichen Öffnungen die Fenster von Beginn an als geöffnet vorausgesetzt werden sollten, da eine Temperatur von 300 °C, bei der nach [10] von einer Zerstörung des Fensterglases ausgegangen werden kann, bei ausreichender Ventilation innerhalb von 5 bis 10 Minuten erreicht wird.

Brandverlauf und Temperaturzeitkurven Fall 4 (Berücksichtigung eines Flurs)

In den bisher angestellten Betrachtungen wurde jeweils nur der Brandraum betrachtet. Im Regelfall steht der Brandraum jedoch entweder unmittelbar oder mittelbar über einen Flur mit anderen Räumen in Verbindung, so dass die Tür des Brandraums nicht direkt ins Freie führt. Im vorliegenden Fall sollte untersucht werden, welchen Einfluss die Öffnung von Türen und Fenstern anderer an den Flur angrenzender Räume auf den Brand- und Temperaturzeitverlauf hat. Folgende Varianten wurden rechnerisch untersucht (vgl. Bild 6).

- Fenster und Tür (jeweils 2 m²) vom gegenüber liegenden Büro geöffnet,
- Fenster und Tür (jeweils 2 m²) von einem Büro am Ende des Flures geöffnet und
- alle Fenster geschlossen, kleiner Schlitz (25 x 50 cm) am Ende des Flures geöffnet.

In allen Berechnungen wurde die Tür des Brandraums vollständig geöffnet angesetzt, für die Fenster im Brandraum wurde als kritische Temperatur 300 °C angenommen.

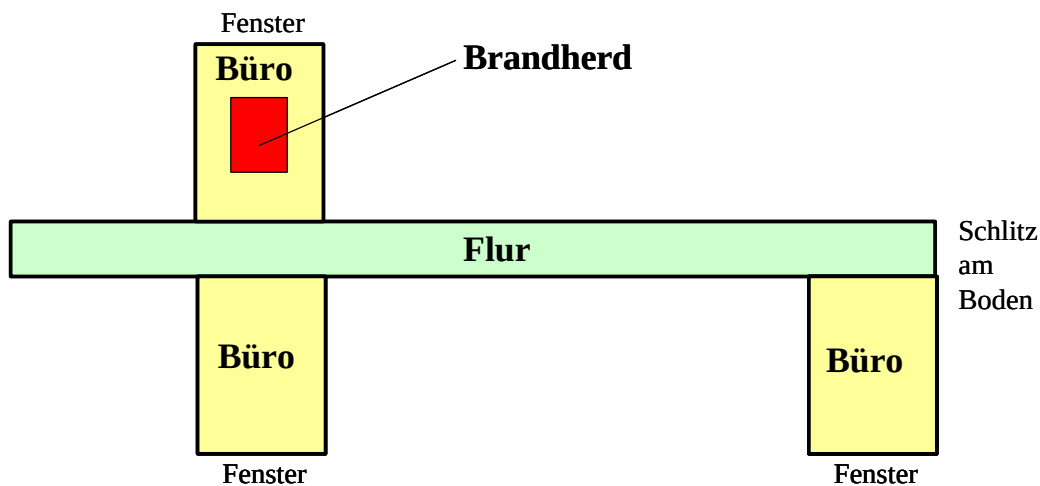


Bild 6 Darstellung der untersuchten Geometrie

Es zeigt sich, dass sich der Brand über den brandlastfrei angenommenen Flur (Breite 2 m) nicht ausbreitet. Der Temperaturzeitverlauf im Brandraum ist nahezu unabhängig von der Lage der Ventilationsöffnung im gegenüber dem Brandraum liegenden Büro oder im Büro am Ende des Flurs. Sind keine Fenster in den anderen Räumen geöffnet, so entsteht ein unterventilierter Brand (Bild 7).

Schlussfolgerungen der rechnerischen Untersuchungen

Bei kleinen Brandräumen hat die Größe der Ventilationsfläche einen erheblichen Einfluss auf den Brandverlauf und die sich einstellenden Temperaturkurven für die Brandschutzbemessung. Bei einer kleinen Ventilationsfläche entsteht ein unterventilierter Brand, bei dem im Brandraum geringere Temperaturen entstehen als bei einem brandlastgesteuerten Brand. Die Lage der Ventilationsöffnung direkt im Raum oder weiter entfernt am Ende eines Flurs hat nahezu keinen Einfluss auf den Temperaturzeitverlauf im Brandraum, solange sich der Brand nicht über den Flur oder in Nachbarräume ausbreiten kann. Es ist für den Temperaturzeitverlauf im Brandraum unerheblich, ob die Fenster zu Brandbeginn geöffnet oder geschlossen sind. Innerhalb von ca. 5 bis 10 Minuten wird bei ausreichender Ventilation durch die Türöffnung in der Fensterumgebung eine Temperatur von 300 °C erreicht, bei der Fensterglas (ESG, VSG)

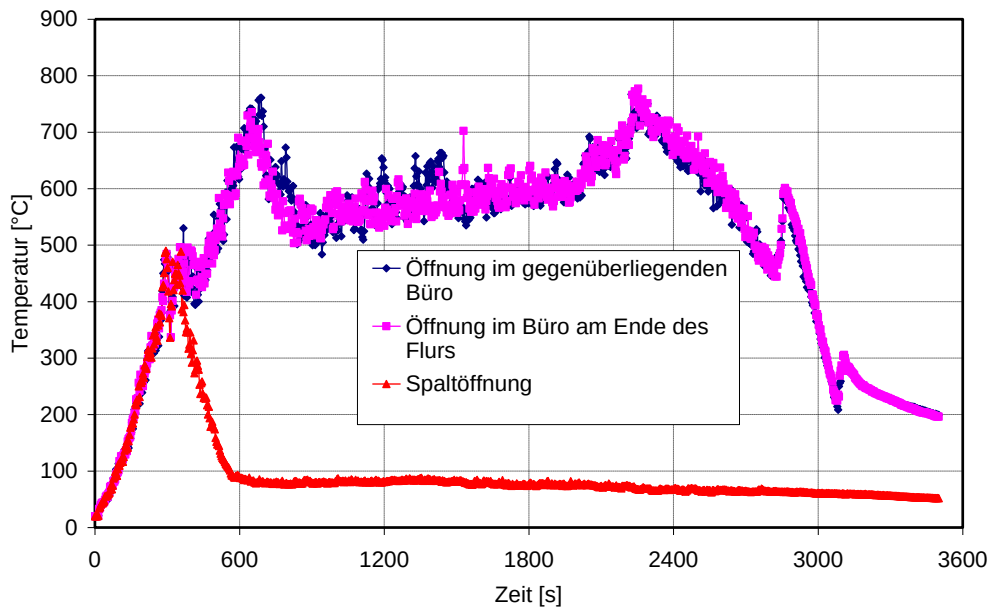


Bild 7 Temperaturzeitkurven in Brandraummitte unter der Decke, Fall 4 (Berücksichtigung Flur)

zerstört wird. Liegt keine ausreichende Ventilation vor, so entsteht ein unterventilierter Brand mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen. Für die Brandschutzbemessung in Brandräumen mit üblichen Öffnungen sind daher von Brandbeginn an vollständig geöffnete Fenster und Türen anzusetzen.

Bei sehr großen Ventilationsöffnungen verringern sich die Temperaturen brandlastgesteuerter Brände aufgrund der hohen Wärmeabgabe durch die Öffnungen. In diesem Fall ist die für die Brandschutzbemessung maßgebliche Öffnungsgröße, bei der die größten Temperaturen entstehen, entweder durch eine Parameterstudie (Berechnung mehrerer Öffnungsverhältnisse) oder vereinfacht über die Betrachtung der Wärmefreisetzungsrate (Übergang ventilations-/brandlastgesteuert) zu ermitteln.

ANWENDUNGSHILFEN ZUR DEFINITION DER RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE BRANDSCHUTZBEMESSUNG BEI VOLL ENTWICKELTEN BRÄNDEN

Brandlastdichte

Die vorhandene Brandlastdichte kann entweder entsprechend der Nutzung klassifiziert oder durch Erhebung bestimmt werden. Im Regelfall und bei üblichen Nutzungen können die klassifizierten Werte in [1] verwendet werden. Als Bemessungswert der Brandlastdichte wird z. B. das 80 %-Fraktile empfohlen. In [2] sind Tabellen für unterschiedliche Brandlasten und Nutzungen abgedruckt.

Falls keine Klassifizierung der Nutzung möglich ist, können die Brandlasten für den betrachteten Einzelfall durch eine Erhebung bestimmt werden. Bei der

Erhebung von Brandlasten müssen alle brennbaren Materialien von Einrichtungsgegenständen inkl. Wandbekleidungen, Einbauschränken, Kabeln etc. berücksichtigt werden. Die sehr aufwändige Erhebung von Brandlasten sollte ein Sonderfall sein und sich auf industrielle oder ähnliche Nutzungen beschränken, da Veränderungen im Laufe der Zeit, ungünstige Entwicklungen und mögliche Nutzungsänderungen mit berücksichtigt werden müssen. Für übliche Nutzungen wie in Wohn- und Bürogebäuden, Verkaufs- oder Versammlungsstätten können die klassifizierten Werte verwendet werden, die i. d. R. auf der sicheren Seite liegen und übliche Änderungen der Brandbelastung im Rahmen der Nutzung mit abdecken.

Ventilationsöffnungen

Ventilationsöffnungen sind Öffnungen in den Umfassungsbauteilen des Brandraumes, durch die Zuluft in den Brandraum einströmen und Abluft aus dem Brandraum ausströmen kann. Als Ventilationsöffnungen sollten nur Öffnungen in Rechnung gestellt werden, die unmittelbar ins Freie führen. Türen sollten als Ventilationsöffnung angesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass sie ins Freie oder zu einem Raum mit ausreichender Zuluft führen. Fensterflächen im Brandraum können über den gesamten Brandverlauf als vollständig offen angenommen werden, wenn sie aus Einfach- oder Mehrfachverglasung bestehen (keine G-Verglasung oder F-Verglasung nach DIN 4102). Aus Brandversuchen ist bekannt, dass Fensterglas bei einer Temperatur von ca. 300 °C nach ca. 5 bis 10 Minuten versagt [10]. Die für die Brandschutzbemessung anzusetzende Größe kann entweder durch Probieren oder vereinfacht über die Gleichsetzung der maximalen Wärmefreisetzungsrate für den ventilations- und brandlastgesteuerten Fall gemäß Gl. (1) und Gl. (2) ermittelt werden.

Für vereinfachte Brandmodelle kann die Gesamtfläche der Ventilationsöffnungen A_w aus der Summe der einzelnen Ventilationsöffnungen $A_{w,i}$ ermittelt werden. Die gemittelte Höhe der Ventilationsöffnung h_w errechnet sich aus den Höhen der einzelnen Ventilationsöffnungen $h_{w,i}$, gewichtet über den Flächenanteil der betreffenden Ventilationsöffnung zu:

$$h_w = \frac{\sum_i h_{w,i} \cdot A_{w,i}}{A_w} \quad (4)$$

Geometrie des Brandraums

Der Brandraum ist ein durch Wände, Fußboden und Decke umfasster Raum, in dem ein Brand auftritt. Die Umfassungsbauteile des Brandraumes müssen eine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit aufweisen (s. o.), anderenfalls ist eine Brandausbreitung über den ursprünglichen Brandraum hinaus in der gesamten Nutzungseinheit zu betrachten. Umfassende Wände mit ausreichender Feuerwiderstandsfähigkeit müssen vom Fußboden bis zur Decke reichen. Decken

und Fußböden müssen ebenfalls eine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit besitzen. Ihre Integrität muss über die gesamte Branddauer sichergestellt sein.

Die Höhe des Brandraums H entspricht der gemittelten lichten Höhe zwischen Fußboden und Rohdecke. Bei Vorhandensein von nichtbrennbaren Unterdecken bzw. Doppelböden mit einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 30 Minuten (F 30-A) wird die Höhe H bis zur Unterkante der Unterdecke bzw. zur Oberkante des Doppelbodens gemessen. Die Grundfläche des Brandraumes ist die Fläche zwischen den Innenseiten der umfassenden Wände. Voll entwickelte Brände in langen, schlauchförmigen Räumen wie z. B. Fluren können mit einem vereinfachten Naturbrandmodell nicht erfasst werden.

Thermische Eigenschaften der Umfassungsbauteile

Durch die thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile wird der Wärmestrom aus dem Brandraum beeinflusst. In Abhängigkeit von der Isolationswirkung bzw. der aufgenommenen Wärmemenge der umfassenden Bauteile kann deren Einfluss auf die Brandraumtemperatur im Rahmen von vereinfachten Brandmodellen näherungsweise durch die gemittelte, temperaturunabhängige Wärmeeindringzahl b abgeschätzt werden:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p} \quad [\text{J}/(\text{m}^2 \sqrt{\text{s K}})], \quad (5)$$

mit

λ Wärmeleitfähigkeit $[\text{W} / (\text{m K})]$,

ρ Rohdichte $[\text{kg} / \text{m}^3]$,

c_p spezifische Wärme $[\text{J} / (\text{kg K})]$.

Die Wärmeeindringzahl b kann als über die Flächen der Umfassungsbauteile gewichtetes Mittel berechnet werden [7].

Für die Anwendung von vereinfachten Brandmodellen ist i. A. die Bestimmung der Wärmeeindringzahl b nach der Einflussgruppe ausreichend, so dass b gemäß Tabelle 1 gewählt werden kann.

BRANDSCHUTZBEMESSUNG FÜR LOKALE BRÄNDE

Lokale Brände sind dadurch gekennzeichnet, dass ihre Ausbreitung örtlich begrenzt bleibt und es im Gegensatz zum voll entwickelten Brand starke Temperaturunterschiede im Brandraum gibt. Lokale Brände sind daher nur in großen Räumen ($> 400 \text{ m}^2$) bzw. in Räumen mit niedriger Brandlast und geringer Brandausbreitungsgeschwindigkeit zu erwarten. Die Brandschutzbemessung für lokale Brände kann z. B. für Stützen in großen Hallen, aber auch für Dachbinder in hohen Hallen und Atrien sowie Seilkonstruktion maßgeblich sein. In großen Hallen mit vergleichsweise niedriger Brandlast wie z. B. Bahnhofshallen,

Tabelle 1 Zuordnung von Einflussgruppen zur Wärmeeindringzahl b

Einflussgruppe	Wärmeeindringzahl b [J/(m ² √s K)]
1	2500
2	1500
3	750
Einflussgruppe 1: Bauteile bzw. Baustoffe mit großem Wärmeabfluss wie z. B. Verglasungen, Aluminium, Glas, Stahl. Einflussgruppe 2: Bauteile bzw. Baustoffe mit mittlerem Wärmeabfluss wie z. B. Beton, Leichtbeton mit einer Rohdichte > 1000 kg/m ³ , Kalksandstein, Bauteile mit Putz, Mauerziegel. Einflussgruppe 3: Bauteile bzw. Baustoffe mit geringem Wärmeabfluss wie z. B. Baustoffe mit einer Rohdichte ≤ 1000 kg/m ³ , wie Faserdämmstoffe, Porenbeton, Holz, Holzwolle-Leichtbauplatten, Leichtbeton, Dämmputz, mehrschichtige Bauteile	

Flughafenterminals und Empfangshallen entsteht keine Heißgasschichtung bzw. ist die Temperatur der Heißgasschicht sehr niedrig. Für die Brandschutzbemessung sind in diesem Fall lokale Temperaturen maßgeblich. Im direkten Flammenbereich ist dagegen i. d. R. mit Temperaturen von 900 bis 1200 °C zu rechnen. Im nach oben aufsteigenden Heißgasstrom nehmen die Temperaturen jedoch vergleichsweise schnell ab, so dass Stahlstützen in höheren Bereichen u. U. nicht mehr geschützt werden müssen. In großen Hallen werden häufig Seilkonstruktionen (z. B. als Fachwerkuntergurt) und Vergussklemmen eingesetzt, deren kritische Temperaturen weit unterhalb der kritischen Stahltemperatur für Biegebauteile liegen. Bei der Brandschutzbemessung derartiger Bauteile ist zu prüfen, ob kritische Temperaturen infolge einer lokalen Brandbeanspruchung des Bauteils im aufsteigenden Heißgasstrom entstehen können.

Die Temperaturen im aufsteigenden Heißgasstrom eines lokalen Brandes können mit Hilfe von Plume-Modellen bestimmt werden. Im Anhang C von [1] ist das Heskestad-Modell für die Brandschutzbemessung bei lokalen Bränden aufbereitet. Dabei wird unterschieden zwischen dem Fall, dass die Flammen die Decke nicht erreichen (hoher Raum) und dass sie die Decke erreichen. Der letzte Fall wird i. d. R. für die Brandschutzbemessung von Bauteilen und Tragwerken nicht maßgeblich sein, da in Folge der sich seitlich unter der Decke ausbreitenden Heißgase und ihrem Strahlungseinfluss auf die Brandlasten in der Umgebung mit einer raschen Brandausbreitung (Flashover) bis zum Vollbrand zu rechnen ist. Dieses Phänomen lässt sich realistisch nur mit einer CFD-Simulation erfassen.

Die Flammenlänge eines lokalen Brandes lässt sich nach Heskestad in Abhängigkeit der Wärmefreisetzungsrate des Brandes und des Durchmessers des Brandherdes bestimmen zu:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5}, \quad (6)$$

wobei:

L_f Flammenlänge des lokalen Brandes [m],

D Durchmesser des lokalen Brandes [m],

Q Wärmefreisetzungsrate des lokalen Brandes [W].

Die Wärmefreisetzungsrate bestimmt sich nach Gl. (1). Aus der Wärmefreisetzungsrate kann die Brandfläche ermittelt werden:

$$A_f = \dot{Q} / \dot{Q}_{f,A}. \quad (7)$$

Nimmt man eine kreisförmige Brandausbreitung an, die dem Ansatz zugrunde liegt, so ergibt sich der Durchmesser des Brandes direkt aus der Brandfläche.

Die Temperatur im aufsteigenden Heißgasstrom in der Flammenachse kann berechnet werden mit:

$$T(z) = 20 + 0,25 (0,8 Q)^{2/3} (z-z_0)^{-5/3} [^{\circ}\text{C}] \quad (8)$$

Der idealisierte Feuerplume setzt eine punktförmige Wärmequelle voraus. Um die Gleichungen für lokale Brände mit einer kreisförmigen Brandausbreitung anwenden zu können, definiert Heskestad einen virtuellen Brandursprung mit einem Abstand z_0 zum realen Brandherd (Bild 8).

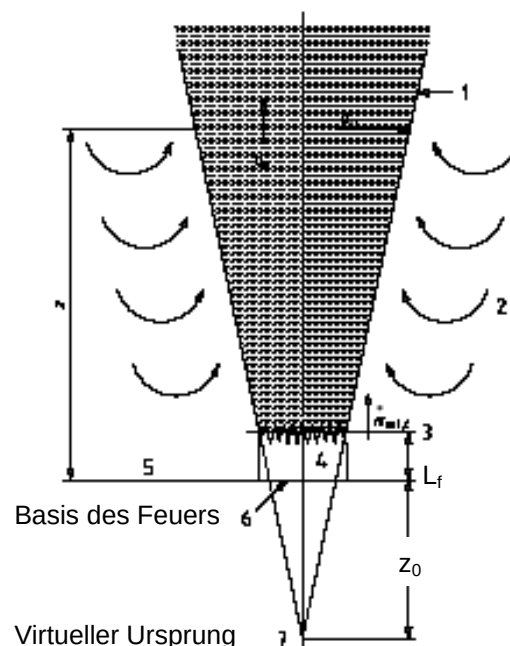


Bild 8 *Feuerplume nach Heskestad mit virtuellem Ursprung*

Der gedachte Ursprung z_0 der Achse wird bestimmt zu:

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5} \quad (9)$$

Ergänzt werden kann das Verfahren durch ein Modell von Heskestad-Delichatios, mit dem die Temperaturerhöhung in der Plume-Achse (plume centerline) sowie in einem radialen Abstand r von dieser Achse bestimmt werden kann:

$$\Delta T_p = T_0 (Q^*)^{2/3} (0,188 + 0,313 r / z)^{-4/3} \quad (10)$$

wobei

$$Q^* = Q_c / (\rho_0 c_p T_0 g^{1/2} z^{5/2}) \quad (11)$$

ρ_0 Dichte der Umgebungsluft [kg/m^3],

c_p spez. Wärmekapazität der Kaltgasschicht [$\text{kJ}/(\text{kgK})$],

T_0 Temperatur der Umgebungsluft [K],

ΔT_p Erhöhung der Plume-Temperatur [K],

g Erdbeschleunigung [m/s^2],

r radialer Abstand zur Plume-Achse [m].

BEISPIEL

Es soll die Beanspruchungstemperatur eines 7 m über dem Brandherd liegenden Stahlträgers einer Brücke in der Mall eines Einkaufszentrums berechnet werden.

Gemäß [2] beträgt die flächenbezogene Brandlastdichte bei Verkaufsnutzungen

$$Q_{f,A} = 500 \text{ kW/m}^2.$$

Die Brandentwicklungsdauer t_g wird zu 150 s bis 300 s angegeben. Setzt man für die Brandentwicklungsdauer unter Berücksichtigung der brandlastarmen Freiflächen (Verkehrsflächen) auf der sicheren Seite liegend mit

$$t_g = 200 \text{ s an,}$$

so errechnet sich bei ungestörter Brandausbreitung (ohne Ansatz einer Sprinklerung) bis zum Einsatz der Brandbekämpfung nach 10 min eine Wärme-freisetzungsrate von

$$Q_{\max} = (t / t_g)^2 = (600 / 200)^2 = 9,0 \text{ MW.}$$

Die maximale Brandfläche beträgt

$$A_f = \dot{Q}_{\max} / Q_{f,A} = 18,0 \text{ m}^2.$$

Der Durchmesser einer flächengleichen kreisförmigen Brandfläche ermittelt sich zu:

$$D = 4,79 \text{ m}.$$

$$z_0 = -102 \cdot 4,79 + 0,00524 \cdot 9000000^{2/5} = -1,72 \text{ m}.$$

Es ergibt sich für die Temperatur in der Plume-Achse (plume centerline) im Abstand z vom Brandherd:

$$T(z = 5 \text{ m}) = 410^\circ\text{C}, T(z = 7 \text{ m}) = 273^\circ\text{C}, T(z = 9 \text{ m}) = 199^\circ\text{C}.$$

Mit $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1,007 \text{ kJ/(kgK)}$ und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ermittelt sich für $z = 7 \text{ m}$ nach dem Heskestad-Delichatsios-Modell die Temperatur T in einem radialen Abstand von $r = 2,50 \text{ m}$ von der Plume-Achse 7 m über dem Brandherd zu:

$$T(r = 2,50, z = 7 \text{ m}) = 173^\circ\text{C}.$$

Damit ist nachgewiesen, dass die Tragfähigkeit des ungeschützt ausgeführten Stahlträgers der Brücke infolge des lokalen Brandes nicht gefährdet werden kann, weil die kritische Temperatur von Baustahl auch bei voller Lastausnutzung mindestens 500°C beträgt.

LITERATUR

- [1] DIN EN 1991-1-2; Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke. Berlin: Beuth Verlag, September 2003.
- [2] Hosser, D. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfdB TB 04/01, 1. Auflage, Mai 2006.
- [3] Feasey, R.; Buchanan, A.: Post-flashover fires for structural design. In: Fire Safety Journal 37. Kidlington, Oxford: Elsevier, (2002), S. 83-105.
- [4] Zehfuß, J.: Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung. Dissertation Technische Universität Braunschweig, Fachbereich Bauingenieurwesen, 2004.
- [5] Zehfuß, J.; Hosser, D.: Vereinfachtes Naturbrandmodell für die Brandschutzbemessung von Bauteilen und Tragwerken. In: Bauphysik 27, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2005.

- [6] Zehfuß, J.; Hosser, D.: A parametric natural fire model for the structural fire design of multi-storey buildings. In: Fire Safety Journal 42. Kidlington, Oxford: Elsevier, (2007), S. 115-126.
- [7] Hosser, D., Kampmeier, B., Zehfuß, J.: Überprüfung der Anwendbarkeit von alternativen Ansätzen nach Eurocode 1 Teil 1-2 zur Festlegung von Brandschutzanforderungen bei Gebäuden. Schlussbericht Forschungsvorhaben im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, 2004.
- [8] The Behaviour Of Multi-Storey Steel Framed Buildings In Fire. A European Joint Research Programme. Swinden: Technology Centre, 1998.
- [9] McGrattan, K. B. et al.: Fire Dynamics Simulator (Version 4), User's Guide: National Institute of Standards and Technology, U. S. Department of Commerce, 2006.
- [10] Hosser, D., Richter, E.: Brandschutzkonzepte für Lärmschutzeinhausungen am Beispiel der BAB A3 bei Hösbach. Braunschweiger Brandschutztage '01. 9. Fachseminar Brandschutz – Forschung und Praxis. 1. und 2. Oktober 2001 in Braunschweig.

BRANDRISIKOBEWERTUNG UND OPTIMIERUNG DES BRANDSCHUTZES BEI HISTORISCHEN GEBÄUDEN

Reinhold Dobbernack

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EINLEITUNG

In den Jahren 2002 bis 2005 wurde das europäischen Verbundprojekt FIRE-TECH "Fire Risk Evaluation to European Cultural Heritage" unter Beteiligung von Instituten aus elf Ländern durchgeführt. Ziel des Projektes war die Erarbeitung eines "User Guide" [1], mit dessen Hilfe für denkmalgeschützte Gebäude und die darin ggf. aufbewahrten Kulturgüter das Risiko einer Beschädigung oder eines Verlustes durch einen Brand beurteilt und reduziert werden kann. Die Vorgehensweise wurde für Kulturgüter erarbeitet, kann aber im Grundsatz auch auf andere Gebäude übertragen werden.

Die entwickelte Methode basiert auf einer Entscheidungsbaumanalyse, die in sechs aufeinander abgestimmten Schritten durchzuführen ist:

- a) Festlegen der Schutzziele,
- b) Analyse der Ausgangssituation,
- c) Überprüfen möglicher Brandschutzmaßnahmen,
- d) Optimierung der gewählten Maßnahmen,
- e) Kritische Analyse der Ergebnisse,
- f) Darstellung der Ergebnisse.

Mit dieser Vorgehensweise wird ein großes Maß an Objektivität und Flexibilität bei der meist sehr schwierigen Beurteilung erreicht. Dies wird anhand verschiedener Anwendungsbeispiele demonstriert. Die Aussagefähigkeit der Ergebnisse wird beeinflusst durch die Qualität der Eingangsgrößen. Es zeigt sich jedoch, dass bereits mit vereinfachten Annahmen für die Eingabegrößen und ggf. Parametervariationen belastbare Ergebnisse erzielt werden können, die sich durchaus als Grundlage für weitere Betrachtungen hinsichtlich einer brandschutztechnischen Ertüchtigung des zu beurteilenden Gebäudes eignen.

ZIELSETZUNG UND ORGANISATION

Brände in Einrichtungen, die unser kulturelles Erbe erhalten und sichern sollen, können sowohl die Bausubstanz nachhaltig schädigen als auch nicht ersetzbare Kulturgüter vernichten. Für großes Aufsehen in der Öffentlichkeit und Diskussionen unter Experten hatte der Brand in der Herzogin Anna Amalia Bibliothek in Weimar am 2. September 2004 gesorgt, bei dem neben dem Gebäudeschaden

(Bild 1) ein großer Teil der dort gelagerten Bücher zerstört wurde (Bild 2) und ein weiterer Teil mit erheblichem Kostenaufwand saniert werden musste.



Bild 1 Gebäudeschaden beim Brand in der Herzogin Anna Amalia-Bibliothek in Weimar



Bild 2 Rokokosaal der Herzogin Anna Amalia-Bibliothek in Weimar nach dem Brand

Bisher hat der Schutz von Kultureinrichtungen vor Bränden in Deutschland keinen sehr hohen Stellenwert in der Gesellschaft. Ähnlich verhält es sich in den übrigen europäischen Ländern. Das liegt einerseits daran, dass die vorhandenen Ressourcen zum Schutz der Kultureinrichtungen generell begrenzt sind und teilweise auch nicht optimal verwendet werden. Andererseits fehlt es den Verantwortlichen auf europäischer, nationaler und lokaler Ebene an geeigneten Entscheidungshilfen, um zu einer risiko- und sachgerechten, kosteneffizienten

Vorgehensweise zu kommen. Ein Problem liegt in der unterschiedlichen Betrachtungsweise beim Brandschutz in konventionellen Gebäuden auf der einen Seite und in Kultureinrichtungen auf der anderen Seite. In konventionellen Gebäuden sind aus brandschutztechnischer Sicht primär die Anforderungen an die Flucht und Rettung von Personen aus dem Gebäude zu erfüllen. Hingegen nimmt in Kultureinrichtungen neben dem Schutz der Personen im Gebäude der Schutz der Kulturgüter einen vergleichbaren Stellenwert ein. Hinzu kommt, dass es nur wenige bis keine Hinweise in nationalen Vorschriften und Richtlinien hinsichtlich der brandschutztechnischen Ertüchtigung von Kultureinrichtungen gibt.

Ziel des Verbundprojektes FIRE-TECH war es deshalb, eine auf Risikoanalysen basierende Vorgehensweise zu entwickeln und zu erproben, mit der erforderliche brandschutztechnische Ertüchtigungsmaßnahmen für Kultureinrichtungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik so festgelegt werden können, dass ein akzeptables Sicherheitsniveaus bei einem vertretbaren Kostenrahmen erreicht wird.

Um die Art und Bauweise der Gebäude und ebenso die unterschiedlichen Betrachtungsweisen zum Schutz von Kultureinrichtungen in Europa erfassen zu können, waren an dem Vorhaben Vertreter namhafter Institutionen auf dem Gebiet der Brandsicherheit aus neun europäischen Ländern - Belgien, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweden und Ungarn - beteiligt. Die nicht beteiligten EU-Staaten sollten über Fragebögen eingebunden werden, die den jeweiligen Denkmalschutzbehörden übersandt wurden.

Das Vorhaben wurde in drei Teilbereiche untergliedert:

- Erfassung von Richtlinien und Anforderungen zum Brandschutz in den einzelnen Mitgliedsländern der EU, Erfassung von Bränden in historischen Gebäuden
- Sichtung und Weiterentwicklung von geeigneten probabilistischen Verfahren zur Risikoermittlung
- Anwendung der Verfahren an unterschiedlichen Gebäuden

Folgende Arbeitsgruppen (WG) bearbeiteten die verschiedenen Aufgabenstellungen:

- WG 1: Aufstellen eines Fragebogens über die vorhandenen Gesetze, Richtlinien bzw. Verordnungen in den einzelnen Ländern, die sich mit brandschutztechnischen Anforderungen an Kultureinrichtungen befassen, Auswerten der Daten.
- WG 2: Aufstellen eines Fragebogens über die Randbedingungen und den detaillierten Ablauf von Bränden in historischen Gebäuden, Auswerten der Daten und Typisieren der Brände.
- WG 3: Aufstellen eines Fragebogens über die Klassifizierung und Prüfung von historischen Materialien in den einzelnen Ländern sowie Klären der

Übertragbarkeit auf das europäische Klassifizierungssystem, Einrichten einer Datenbank.

- WG 4: Zusammenstellen von aktiven und passiven Brandschutzsystemen (Produkte und Technologien) und Überprüfen ihrer Anwendbarkeit auf Kultureinrichtungen sowie Ermitteln der Zuverlässigkeit der Systeme und ihrer Kosten, Einrichten einer Datenbank.
- WG 6: Zusammenstellen vorhandener probabilistischer Methoden zur Risikoermittlung und ihrer Anwendung auf konkrete Beispiele, Prüfen der Übertragbarkeit auf Kultureinrichtungen.
- WG 7: Zusammenstellen und ggf. Entwickeln geeigneter quantitativer Verfahren zur Bewertung erforderlicher Ertüchtigungsmaßnahmen im Brandschutz unter Berücksichtigung der Arbeiten von WG 4 und 6.
- WG 8: Anwenden des entwickelten quantitativen Verfahrens aus WG 7 an ausgewählten Beispielen.
- WG 9: Erstellen einer Datenbank sowie eines Leitfadens einschließlich eines Abschlussberichtes.
- WG 10: Publikation der Ergebnisse auf einer internationalen Fachtagung und durch Veröffentlichungen.

Die Arbeiten zu WG 5 wurden nicht finanziert.

FESTLEGEN DER SCHUTZZIELE

Bei Überlegungen zur Ertüchtigung des Brandschutzes oder zur generellen Renovierung eines historischen Gebäudes sind zunächst Festlegungen über die zu erreichenden Schutzziele unter Einbeziehung aller Beteiligten zu treffen. Dabei sind Akzeptanzkriterien unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Finanzmittel für die einzelnen Schutzziele festzulegen. Bild 3 zeigt den generellen Ablaufplan der sechs Schritte zur Umsetzung der Entscheidungsbaumanalyse.

Folgende Schutzziele können berücksichtigt werden:

- Schutz der Nutzer,
- Schutz der Feuerwehrleute,
- Schutz des Gebäudes,
- Schutz des Gebäudeinhalts,
- Schutz vor Nutzungsunterbrechungen im Gebäude,
- Schutz der Umwelt.

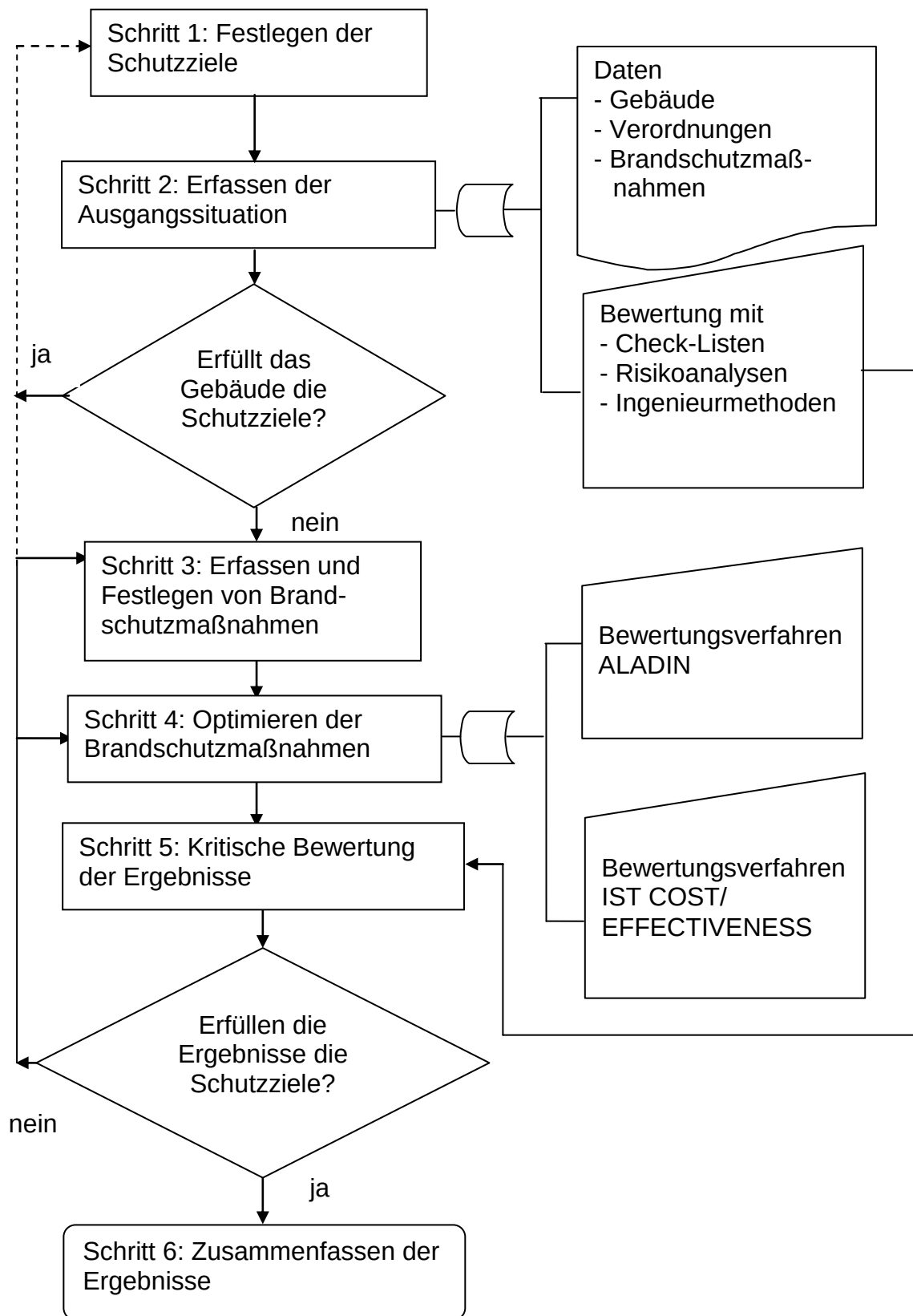


Bild 3 Vorgehensweise bei der Anwendung des „Users Guide“

Die einzuhaltenden Schutzziele und die damit verbundenen Akzeptanzkriterien werden von allen am Verfahren Beteiligten festgelegt. Je nach Lage und Anordnung des zu untersuchenden Objektes, z. B. in alten Stadtkernen, kann der „Schutz der Umwelt“ von vergleichbarer Bedeutung sein wie der „Schutz der Nutzer“. In einem Anhang des „Users Guide“ werden Empfehlungen gegeben, mit welchen Wichtungen die einzelnen Schutzziele und die einzuhaltenden Randbedingungen des Gebäudes für den Anwendungsfall zu versehen sind.

ANALYSE DER AUSGANGSSITUATION

Datenerfassung

Im folgenden Schritt (siehe Bild 4) sind alle Daten hinsichtlich des Gebäudes und seiner Nutzung zusammenzutragen sowie die Geschichte und die historischen Werte des Gebäudes und seines Inhalts zu bewerten. Weiterhin sind die Richtlinien/Gesetze des betreffenden Landes zu berücksichtigen. Für die Bewertung des aktuellen Sicherheitsniveaus kann entweder auf probabilistische Verfahren oder deterministische Rechenmodelle zurückgegriffen werden.

Die Vorgehensweise nach Bild 4 wird unterteilt in die Bereitstellung von erforderlichen Daten zum Gebäude und seiner Nutzung sowie eine Beurteilung des Istzustandes durch Vergleich mit Richtlinien oder eine Bewertung mit Hilfe von Risikoanalysemethoden oder ingenieurmäßigen Verfahren.

Die Datenerfassung wird in drei Teile untergliedert:

- Erfassung des Gebäudes in seiner aktuellen Situation unter Berücksichtigung der Art der Nutzung, der verwendeten Materialien und Bauweise, des Inhalts bzw. der Brandlast im Gebäude, der technischen Installationen, Art der Nutzer, Beschreibung des historischen Wertes von Gebäude und Inhalt. Hierbei ist auf die Bewertungen der WG 3 und WG 4 zu achten.
- Sammeln aller vorhandenen brandschutztechnischen Regelungen, die im nationalen Bereich Gültigkeit haben (WG 1).
- Zusammentragen aller Informationen über Brände in historischen Gebäuden, deren Nutzung oder Gebäudetyp vergleichbar sind (WG 2)

In einem Anhang des „Users Guide“ sind Tabellen dargestellt, mit denen eine Datenermittlung vorgenommen werden kann.

Nachweisverfahren

Für die Erfassung des aktuellen Sicherheitsniveaus eines Gebäudes sind drei unterschiedliche Vorgehensweisen denkbar:

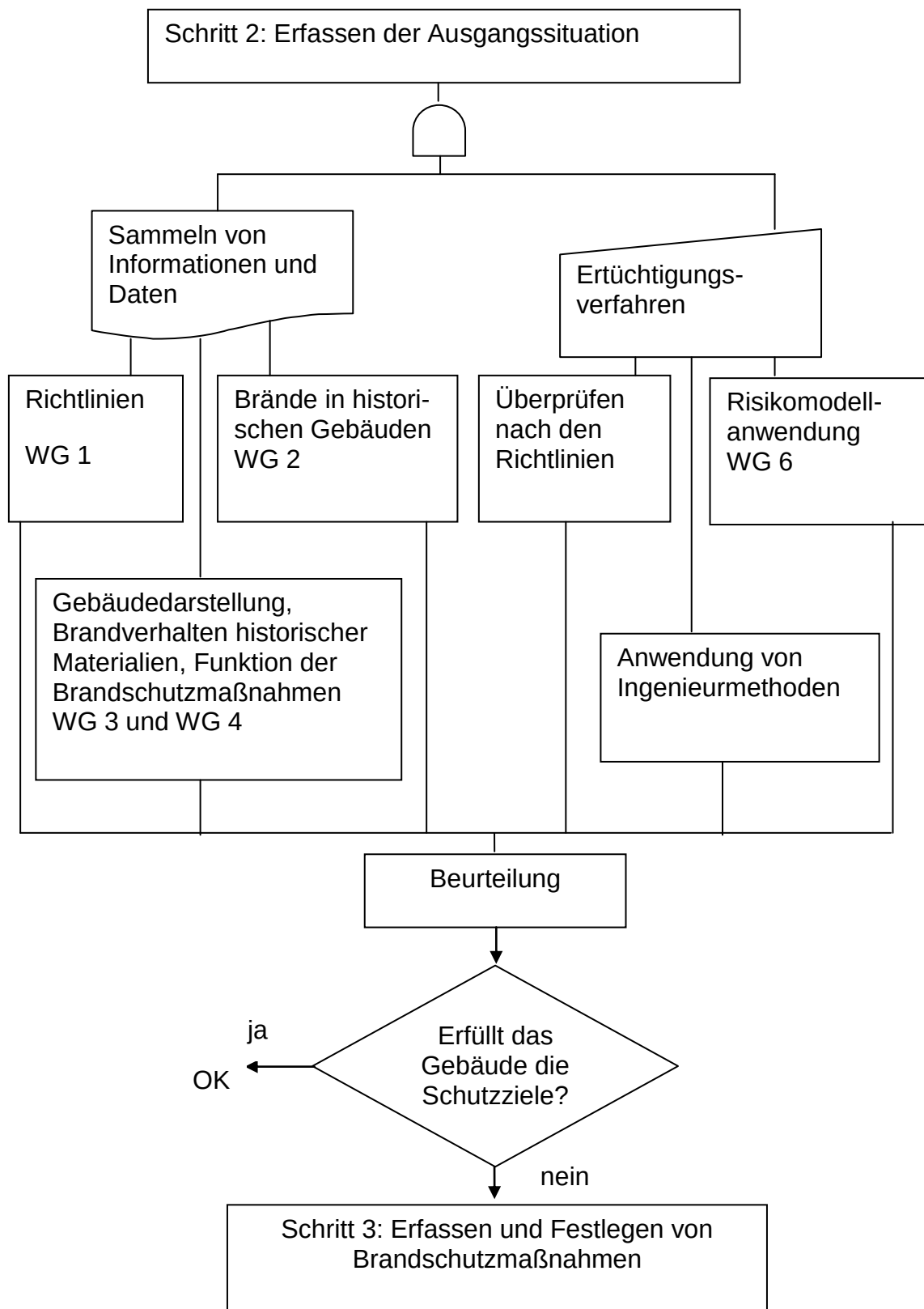


Bild 4 Schritt 2, Erfassen der Ausgangssituation

- Bewertung eines Gebäudes nach Richtlinien und bauaufsichtlichen Empfehlungen: Die Anforderungen werden in Checklisten übertragen und verglichen. Diese Vorgehensweise hat nichts mit einer risikoorientierten, quantitativen Bewertung zu tun, lässt aber auf einfachem Weg eine Einstufung in „hohes, mittleres oder geringes Risiko“ zu. Checklisten sind nur für den Gebäudetyp anwendbar, für den sie entwickelt wurden. Die Ergebnisse sind in der Regel nicht auf andere Gebäudetypen übertragbar. Als Beispiel wird eine Checkliste für die Verwendung in historischen Gebäuden angegeben.
- Anwendung von Risikoanalysemethoden: Es gibt eine Vielzahl sowohl qualitativer (Index-Verfahren) als auch quantitativer (probabilistischer) Methoden, die in [2] dargestellt werden. Grundsätzlich muss eine solche Methode folgenden Anforderungen genügen:
 - Die Sicherheit von Personen und der Schutz des Gebäudes erfassen,
 - Brandstiftung und andere möglichen Brandursachen berücksichtigen,
 - Eine Verknüpfung von risikogerechten Ertüchtigungsmaßnahmen mit den jeweiligen Kosten ermöglichen.
- Erfassung des Brandrisikos durch deterministische Verfahren: Hier stehen sowohl Zonen- als auch CFD Modelle zur Verfügung, mit denen die Temperaturentwicklung, die Rauchausbreitung oder der Einfluss der Ventilation in einem Gebäude erfasst werden kann. Weiterhin kann mit Finite-Element-Methoden die Standfestigkeit von Konstruktion beschrieben werden oder mit Evakuierungsmodellen das Verhalten von Personen im Brandfall untersucht werden.

Risikoanalyseverfahren

Index-Methoden

Index-Methoden oder Ranking-Methoden stellen vereinfachte Verfahren dar, mit denen das Brandrisiko in einer Vielzahl von Gebäuden grob abgeschätzt und verglichen werden kann. In den letzten Jahrzehnten wurden Index-Methoden für unterschiedliche Anwendungsbereiche entwickelt (Tabelle 1).

Als Ergebnis der Bewertung wird eine Zahl, der Risk-Index, ermittelt. Bei Änderungen in der baulichen Struktur oder bei den anlagentechnischen Maßnahmen wird mit dem Verfahren erneut der Risk-Index errechnet und mit dem vorherigen Wert verglichen wird. Auf diese Weise kann man sich iterativ einem Grenzwert annähern, der als Maß für das von der Gesellschaft (oder im Einzelfall) akzeptierte Risiko festzulegen ist. Beim Vergleich der Zahlenwerte für ein bestimmtes Gebäude oder für mehrere vergleichbare Gebäude lassen sich die günstigsten oder ungünstigsten Zustände hinsichtlich des Brandrisikos erkennen und Maßnahmen optimieren.

Tabelle 1 Anwendungsbereiche unterschiedlicher Index-Methoden

Methode	Anwendung	Entwickler
Fire Safety Evaluation System (FSES)	Gebäude für Büros, Laboratorien, Wohnungen	NIST, USA [3]
ISO Specific Commercial Property Evaluation Schedule (SCOPEs)	Handelshäuser	ISO standard [4]
Dow Fire and Explosion Index (FEI)	Prozessplanung, Schadensbeurteilung	Dow Chemical [4]
Expert system Fire Insurance Risk Evaluation (XPS FIRE)	industrielle Gebäude	Münchner Rück-Versicherung [5]
Hierarchical Approach	unterschiedliche Gebäude	University of Edinburgh [6]
Gretener Method (SIA 81)	industrielle Gebäude	Max Gretener, Schweiz [7]
Fire Risk Assessment Method for Engineering (FRAME)	unterschiedliche Gebäude	De Smet, Belgien [8, 9]
Fire Risk Index Method (FRIM)	mehrgeschossiges Wohngebäude	Lund University, Schweden [10, 11, 12]

Die Methode liefert jedoch keine quantitativen Angaben zum tatsächlichen Risiko, sondern lediglich Relativaussagen, wie sicher ein Gebäude im Vergleich zu einem anderen bzw. vor und nach einer Ertüchtigung ist. Index-Methoden sind halb-quantitative Methoden, die häufig mit dem Ziel einer vereinfachten, schematisierten Risikoeinstufung für bestimmte Gebäudearten entwickelt wurden. Dabei liegt ein großer Teil der Verantwortung für die Einstufung beim Entwickler, weil nur ihm bekannt ist, wie die Bewertungsfaktoren im Modell festgelegt und miteinander verknüpft wurden.

Nach [13] werden fünf hierarchische Ebenen wie Anforderungen, Schutzziele, Vorgehensweisen, brandschutztechnische Maßnahmen und technische Festlegungen zu den brandschutztechnischen Maßnahmen bei der Anwendung einer Index-Methode erforderlich. Jede Ebene ist mit Parametern belegt, die Wichtungen zwischen 0 und 5 erhalten (Wertigkeit: Minimum = 0 und Maximum = 5). Diese einzelnen hierarchischen Ebenen werden miteinander verknüpft und durch Matrix-Berechnungen wird ein Risiko-Index ermittelt.

Ereignisbaumanalysen

Mit quantitativen Risikomodellen können Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten einzelner Ereignisse in Gebäuden erfasst werden. Es gibt verschiedene Modelle (Tabelle 2), die sich in ihren Lösungsansätzen unterscheiden. Im Rahmen von FIRE-TECH wurde als quantitatives Risikomodell die Ereignisbaumanalyse gewählt, die im angelsächsischen Bereich als Event Tree Analysis (ETA) bezeichnet wird. Die ETA kann für Planungsprozesse individuell eingesetzt werden. Zusammen mit deterministischen Ingenieurmethoden können alle erforderlichen Informationen, die zur Bewertung eines Gebäudes herangezogen werden sollen, quantitativ dargestellt werden und auf ihre Übereinstimmung mit den Anforderungen, z. B. aufgrund gesetzlicher Vorgaben, überprüft werden.

Tabelle 2 Anwendung unterschiedlicher quantitativer Methoden

Methode	Verwendung	Entwickler
Computation of Risk Indices by Simulation Procedures (CRISP)	Schutz von Leben	National Research Council, Canada [14]
Fire Risk Evaluation and Cost Assessment Model (FiRECAM)	Bürogebäude	National Research Council, Canada [15]
Event Tree Analysis (ETA)	alle Gebäudearten	Verschiedene [16, 17]
Fire Risk Analysis with reliability Index β	alle Gebäudearten	Verschiedene [18, 19]

Bei der Anwendung der ETA ist es oft notwendig, eine große Anzahl Brandszenarien mit unterschiedlichen Randbedingungen zu berücksichtigen. Jedem Ereignis, Brandverlauf oder Szenario kann eine Auftretenswahrscheinlichkeit zugewiesen werden. Die ETA ermöglicht es, den zeitlichen Verlauf der untersuchten Ereignisse, ausgehend von einem Brandbeginn, zu bewerten und zu strukturieren. Bei der Entwicklung eines Ereignisbaums für das zu untersuchende Objekt können auch menschliches Verhalten und die Zuverlässigkeit eingebauter Brandschutzanlagen mit berücksichtigt werden. Ein weiterer Vorteil der ETA ist, dass sie leicht zu verstehen ist aufgrund ihres Binärsystems (ja/nein) und ihrer logischen graphischen Darstellung mit Symbolen. International wird die ETA als anerkanntes Nachweisverfahren für brandschutztechnische Bewertungen in unterschiedlichen Gebäudearten verwendet.

Das Verfahren der ETA kann in sechs Schritte gegliedert werden:

- Festlegungen zum Start des Feuers,
- Angaben zu den Sicherheitseinrichtungen und -funktionen (sowohl in technischer als auch menschlicher Sicht),
- Aufbau des Ereignisbaums (Event Tree),
- Einstufung der Resultate,
- Erfassen der bedingten Wahrscheinlichkeit für jeden Ast des Ereignisbaums,
- Quantifizierung der Ergebnisse.

Grundlage der Risikoanalyse ist die quantitative Bewertung der unterschiedlichen Brandszenarien anhand des Ereignisbaums, der auch zur Darstellung der zeitlichen Reihenfolge der Ereignisse geeignet ist. So können die Auswirkungen von der Brandentstehung, über die Brandentwicklung, die Kontrolle des Brandes sowie den Rettungsverlauf erfasst werden. Bild 5 zeigt als Beispiel einen Teil eines einfachen Ereignisbaums für einen Raumbrand. Jeder Ast des Baums stellt ein eigenes Szenario dar. Der Risikobeitrag eines jeden Szenarios wird berechnet, indem die Wahrscheinlichkeit einer speziellen Aktion (z. B. Brandausbruch) mit den Wahrscheinlichkeiten der folgenden Aktionen auf diesem Ast (z. B. Funktion der vorhandenen Löschanlagen bzw. des Feuerschutzabschlusses) multipliziert wird. Das Gesamtrisiko eines Gebäudes ergibt sich als Summe der Risikobeiträge aller Szenarien, d. h. aller Äste des Ereignisbaums.

Als mögliche Ergebnisse einer ETA kann ein individuelles Risiko oder ein durchschnittliches Risiko bestimmt werden, ebenso können Feststellungen zum Grad einer Risikogefährdung in einem Teilbereich getroffen oder im Extremfall die maximalen Konsequenzen für das ganze Gebäude ermittelt werden. Für eine Gesamtbeurteilung des Risikos mittels eines Ereignisbaums sind sowohl erfolgreiche als auch erfolglose Aktionen der Brandschutzmaßnahmen im Gebäude mit Wahrscheinlichkeiten zu bewerten.

Welche Ereignisse zu untersuchen sind, hängt davon ab, ob sich die Analyse primär auf den Personenschutz oder den Gebäudeschutz bezieht. In einer Personenschutzanalyse spielen der Brandverlauf und die Möglichkeiten zur Flucht eine Rolle. Daher sind die Entwicklungs- und Ausbreitungsphase des Brandes sowie die Verfügbarkeit von Ausgängen von größerem Interesse als der voll entwickelte Brand und die Unversehrtheit der Brandabschnitte. Es wird grundsätzlich unterstellt, dass ein Brand entsteht und sich entwickelt. Ereignisse wie Brandbeginn und Selbstverlöschten des Brandes werden nicht betrachtet. Folgende Ereignisse können untersucht werden:

Sich entwickelnder Brand → Brandort → Tageszeit → Branderkennung → Löschung durch Personal → Sprinkler kontrollieren den Brand → Feuerwehr kontrolliert den Brand → Abtrennung begrenzt die Brandausbreitung.

Um korrekte Daten über die Eintretenswahrscheinlichkeit der zu untersuchenden Ereignisse zu erhalten, kann der Anwender ggf. auf Datenbanken zurückgreifen oder sich auf Literaturangaben, Erfahrungswerte und sein eigenes technisches Urteil stützen.

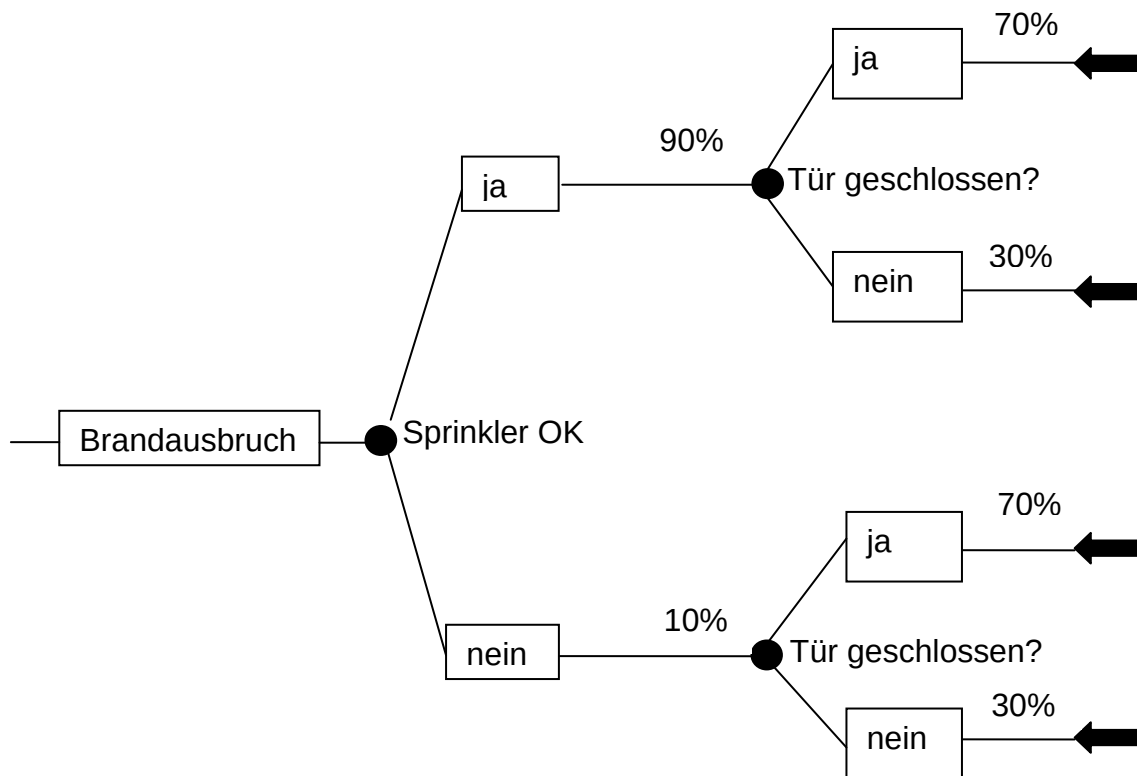


Bild 5 Teils eines einfachen Ereignisbaums (Beispiel)

ÜBERPRÜFEN MÖGLICHER BRANDSCHUTZMAßNAHMEN

In der WG 4 wurden alle vorhandenen Ertüchtigungsmaßnahmen zusammengetragen, welche die Brandsicherheit in einem Gebäude verbessern können. Für diese 19 Maßnahmen wurden

- die Verwendbarkeit anwendungsbezogen untersucht und Wertigkeiten zwischen 1 (nicht akzeptabel) und 5 (immer akzeptabel) zugeordnet,
- Angaben zur Zuverlässigkeit der Anlagen gemacht und mit Wertigkeiten zwischen 0 (keine Zuverlässigkeit) und 1 (100% Zuverlässigkeit) versehen. Sofern keine verlässlichen Daten über die Zuverlässigkeit vorliegen kann man qualitative Bewertungen von „nicht verlässlich“ bis „sehr verlässlich“ verwenden. Für den Bereich der denkmalgeschützten Gebäude liegen nur wenige Daten zur Zuverlässigkeit vor.
- Angaben über die Kosten gemacht. Diese werden unterteilt in Kapitalkosten zur Beschaffung der Anlagen und Produkte, Arbeitskosten zur Installation,

die jährlichen Betriebskosten sowie Kosten für den Austausch veralteter Systeme.

- Diese Informationen werden bei der Optimierung von gewählten Maßnahmen für ein zu untersuchendes Gebäude (Abschnitt 6) benötigt.

OPTIMIERUNG DER GEWÄHLTEN MAßNAHMEN

Für die Optimierung von Ertüchtigungsmaßnahmen wird die Methode des „Analytical Hierarchical Process (AHP)“ empfohlen. Mit ihr können unterschiedliche Entscheidungskriterien gemeinsam bewertet werden, indem hierarchische Strukturen für die komplexen Entscheidungen geschaffen werden. Die Anwendung der Methode erfordert folgende Vorgehensweise:

- Festlegen der erforderlichen Maßnahmen und
- Festlegen der Wichtungen für diese Maßnahmen, die auf den Erfahrungen der Beteiligten basieren, gemessene Werte darstellen oder aus Ergebnissen von Ingenieurmethoden abgeleitet werden können.

Die AHP Methode wird in vier hierarchische Ebenen unterteilt:

1. Übergeordnetes Schutzziel (Policy - PO), z. B.
 - Verringerung des Brandrisikos
2. Weitere Schutzziele (Objectives - OB), z. B.
 - OB1 Schutz der Nutzer
 - OB2 Schutz der Feuerwehrleute
 - OB3 Schutz des Gebäudes
 - OB4 Schutz des Inhalts
 - OB5 Ununterbrochener Schutz im Gebäude
 - OB6 Schutz der Umwelt
3. Strategien, um die Schutzziele zu erreichen (Strategies - ST), z. B.
 - ST1 Verringern der Wahrscheinlichkeit eines Brandausbruchs
 - ST2 Ermöglichen einer Brandbekämpfung
 - ST3 Ermöglichen von Flucht und Rettung
 - ST4 Begrenzen der Brandentwicklung und Ausbreitung
 - ST5 Begrenzen der Brandeinwirkungen
4. Ertüchtigungsmaßnahmen (Measures - M), z. B.
 - M1 Brandverhalten von Konstruktionsmaterialien und Bekleidungen
 - M2 Feuerwiderstand von Bauteilen unter Berücksichtigung nichtbrennbarer und brennbarer Bekleidungen
 - M3 Feuerwiderstand von Wandabschlüssen
 - M4 Größe und Anordnung des Brandraumes im Gebäude
 - M5 Anordnung von Öffnungen in der Fassade
 - M6 Abstand zwischen Gebäuden

- M7 Anordnung der Flucht und Rettungswege
- M8 Zugang der Feuerwehr für Rettungsmaßnahmen und wirksame Löscharbeiten
- M9 Einrichtungen zur Branddetektion
- M10 Einrichtungen zur Brandunterdrückung
- M11 Rauchableitung
- M12 Flucht- und Alarmhinweise
- M13 Hausfeuerwehr
- M14 öffentliche Feuerwehr
- M15 Wartung der Brandschutzeinrichtungen
- M16 Ausbildung der Nutzer
- M17 Einweisung und Training für die Flucht und Rettung
- M18 Organisatorische Maßnahmen zur Bergung
- M19 Regelmäßige Brandschau.

Der Abschlussbericht geht im Detail auf die Festlegungen und Maßnahmen der einzelnen Ebenen ein und gibt Hinweise, welche Wichtungen und Zuverlässigkeiten in bestimmten Gebäudeanordnungen zu verwenden sind. Die Wichtungen liegen dabei zwischen 0 (kein Einfluss) und 9 (sehr großer Einfluss). Aus diesen Vorgaben lässt sich über eine Matrizenberechnung ein „Effektivitäts-Index“ ermitteln, der zwischen 0 und 1 liegen kann. Bei Änderungen von brandschutztechnischen Maßnahmen kann ein anderer Effektivitäts-Index berechnet werden. Durch Vergleich der Ergebnisse können daraus für das Gebäude die Veränderungen des Sicherheitsniveaus beurteilt werden.

Zusätzlich können den Ertüchtigungsmaßnahmen Kosten zugeordnet werden, so dass eine unter Kosten-Nutzen-Aspekten optimale Ertüchtigungsstrategie ermittelt werden kann, so dass z. B. eine gewünschte Verbesserung beim Effektivitäts-Index mit den verfügbaren Mitteln erreicht wird.

Für die praktische Durchführung der Berechnungen stehen zwei entwickelte numerische Verfahren zur Verfügung [20]:

- ALADIN Rechenprogramm
- IST COST/EFFICTIVENESS Spreadsheet.

KRITISCHE ANALYSE UND DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Abschließend sind die Ergebnisse aus der Sicht des Brandschutzes und des Denkmalschutzes dahingehend zu überprüfen, ob unter den gegebenen Randbedingungen die Schutzziele erreicht werden oder ob die Berechnungen mit anderen Randbedingungen erneut durchzuführen sind. Im Einzelnen ist zu hinterfragen:

- Entsprechen die Maßnahmen den vorgegebenen Randbedingungen?
- Ist das erreichte Sicherheitsniveau mit dem nach bestehenden Richtlinien vergleichbar?

- Stehen die Ergebnisse im Einklang mit der herkömmlichen Betrachtungsweise im Brandschutz?
- Sind die Ergebnisse logisch?

Sofern sich Widersprüche in den Ergebnisse zeigen, ist ein erneuter Durchgang durch die Entscheidungsbaumanalyse mit den Schritten 3 „Überprüfen möglicher Brandschutzmaßnahmen“ und 4 „Optimierung der gewählten Maßnahmen“ vorzunehmen und zu diskutieren.

Abschließend sind die Ergebnisse mit konkreten Empfehlungen für die Umsetzung in einem Bericht darzustellen:

- Zusammenfassung der Ergebnisse für den Bauherrn,
- Darstellung der erforderlichen Ertüchtigungsmaßnahmen,
- Darstellung des erreichten „Effektivitäts-Index“,
- Angabe der Kosten und der Zuverlässigkeit der Maßnahmen.

ANWENDUNGSBEISPIELE

Die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Berechnungsverfahren wurde an unterschiedlichen Beispielen überprüft. Jede am Projekt beteiligte Institution wählte im nationalen Bereich geeignete Objekte aus, wobei nach Vorschlag der WG 2 vier Kategorien unterschieden wurden:

Kategorie A: Historisches Gebäude ohne kulturhistorischen Inhalt,

Kategorie B: Mehrere historische Gebäude,

Kategorie C: Gebäude ohne historische Bedeutung, aber ausgestattet mit hochwertigen künstlerischen und kulturhistorischen Gütern,

Kategorie D: Historisches Gebäude mit kulturhistorischen Gütern.

Es wurden elf unterschiedliche Objekte untersucht. In Tabelle 3 sind die ursprüngliche Nutzung, die gegenwärtige Nutzung sowie die Kategorie der Gebäude angegeben. Die Bilder 6 bis 8 zeigen drei bekannte Beispiele.

Die Auswahl der Wichtungen für die einzelnen Maßnahmen ist von großer Bedeutung für die Ergebnisse. In einigen Fällen wurden die Wichtungen durch mehrere Personen ausgewählt, die alle mit brandschutztechnischen Maßnahmen und der Ertüchtigung historischer Gebäude vertraut waren. Dabei kam es in Abhängigkeit von den Vorgaben des einzelnen Experten zu unterschiedlichen Bewertungen bei der Zuordnung der Schutzziele, der Vorgehensweise und den Ertüchtigungsmaßnahmen.

Tabelle 3: Untersuchte Gebäude

<i>Kategorie/Gebäude/Land</i>	Ursprüngliche Nutzung	Gegenwärtige Nutzung
D - Tower of London – White tower, London (UK)	Wohnsitz	Museum
D - Hofburg - Redoutensäle, Vienna (A)	Wohnsitz	Konferenzzentrum
D - Het Pand, Gent (B)	Kloster	Konferenzzentrum
D - Herzog August Bibliothek (D)	Bibliothek	Bibliothek
D - Casa Bianca, Thessaloniki (Gr)	Wohnsitz	Museum
C - Virtuelles Museum (F)	Museum	Museum
B - Grandella building, Chiado (P)	Warenhaus	Warenhaus
A -. De Nieuwe Kerk (NL)	Kirche	Kirche
A - St. Mary of Consolation Monastery, Este (I)	Kloster	Schule
A - Romanin Jacur Silk Factory (I)	Fabrik	Kommerzielles Zentrum
A - Gussoni Palace, Venice (I)	Wohnsitz	Gerichtsgebäude



Bild 6 Gussoni Palace, Venedig (I), früher Wohnsitz, jetzt Gerichtsgebäude



Bild 7 *Grandella Gebäude während des Chiado Brandes, Lissabon (P)*



Bild 8 *Bibliothek in Wolfenbüttel (D)*

Insgesamt haben die Anwendungsbeispiele gezeigt, dass mit der empfohlenen Vorgehensweise durch Kombination und Variation verschiedener Brandschutzmaßnahmen die Auswirkungen auf das brandschutztechnische Sicherheitsniveau direkt verfolgt und die wirksamsten Ertüchtigungsstrategien ermittelt werden können. Interessant ist auch die Möglichkeit der Kosten-Nutzen-Optimierung, wenn der finanzielle Aufwand der verschiedenen Ertüchtigungsmaßnahmen mit betrachtet wird. Vielfach lässt sich bereits mit einfachen, kostengünstigen Maßnahmen eine deutliche Steigerung der Brandsicherheit in einem Gebäude erreichen, z. B. durch Wartung von Brandschutzanlagen, Vermeidung von Zündquellen bei Renovierungsarbeiten, Reduzierung brennbarer Gegenstände sowie Training des Personals für den Gefahrenfall.

ZUSAMMENFASSUNG

Das europäische Verbundprojekt FIRE-TECH "Fire Risk Evaluation to European Cultural Heritage" wurde in der Zeit von 2002 bis 2005 durchgeführt, wobei Institute aus elf Ländern beteiligt waren. Es wurde ein "User Guide" erarbeitet, mit dem unter Denkmalschutz stehende Gebäude und die dort gelagerten Kulturgüter hinsichtlich des Brandrisikos bewertet und optimale Maßnahmen zur brandschutztechnischen Ertüchtigung ausgewählt werden können.

Im mehreren Arbeitsgruppen (WGs) wurde eine Bestandsanalyse über bestehende Gesetze und Richtlinien zum Brandschutz in historischen Gebäuden, über Bände in historischen Gebäuden sowie über historische Materialien und deren Brandverhalten zusammengetragen. Weiterhin wurden die nach dem Stand der Technik verfügbaren aktiven und passiven Brandschutzsysteme (Produkte und Technologien) zusammengestellt, auf ihre Anwendbarkeit in Kultureinrichtungen überprüft und hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit und Kosten bewertet. Die Ergebnisse wurden in einer Datenbank erfasst und bereitgestellt.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt bestand in der Zusammenstellung vorhandener probabilistischer Methoden für die Risikoanalyse und deren Anwendung auf konkrete Beispiele. Dabei wurden qualitativen und quantitativen Risikomodelle ausgewertet und für die Beurteilung des Brandschutzes bei Kultureinrichtungen weiterentwickelt. Die empfohlenen Vorgehensweisen wurden exemplarisch auf elf kulturhistorische Gebäude aus unterschiedlichen Ländern angewendet zwecks Überprüfung, ob sich anhand eines „Effektivitäts-Index“ Schwachstellen beim Brandschutz identifizieren und Ertüchtigungsstrategien unter Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsaspekten optimieren lassen.

Die Ergebnisse der Bewertung und Optimierung werden durch die vom Nutzer vorzugebenden Wichtungen für die einzelnen Ertüchtigungsmaßnahmen beeinflusst, so dass ausreichende Kenntnisse und Erfahrungen erforderlich sind. Zusammenfassend kann aber festgestellt werden, dass mit der vorgeschlagenen Vorgehensweise durchweg konsistente und den international vorliegenden Erkenntnissen entsprechende Ergebnisse erzielt werden können.

LITERATUR

- [1] Fire Risk Evaluation To European Cultural Heritage, Decision Supporting Procedure, Users Guide, Fifth Framework Programme, Editor P. Vandeveld, ISBN 908098521X, 2005
- [2] *DOBBERNACK, R.; KLINGENBERG, M.*: Fire Risk Assessment Methods, WG 6 in Fire Risk Evaluation To European Cultural Heritage, Fifth Framework Programme, 2005
- [3] *NELSON, H. E.; SHIBE, A. J.*: A System for Fire Safety Evaluation of Health Care Facilities, NBSIR 78-1555, NIST, Washington DC, 1980.
- [4] *WATTS, J. M.*: The SFPE Handbook, Fire Protection Engineering, section five, chapter 10, 3rd edition, 2002.
- [5] XPS FIRE, manual Version 3.0, Munich Re, 9/96.
- [6] *BUDNICK, E. K.; MCKENNA, L. A. Jr., WATTS, J. M. Jr.*: Quantifying Fire Risk for Telecommunications Network Integrity, in Fire Safety Science – Proceedings of the Fifth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, pp. 691 – 700, 1997.
- [7] *FONTANA, M.*: SIA 81 – A Swiss Risk Assessment Method, VTT Symposium 179, pp 59-69, Institute of Structural Engineering, ETH, Zurich, Switzerland
- [8] *DE SMET, F.R.A.M.E*: Fire Risk Assessment Method for Engineering; <http://www.framemethod.be/proefen.html>
- [9] *DE SMET*; Is F.R.A.M.E Mathematically and Scientifically Reliable? <http://www.framemethod.be/webengels.html>
- [10] *LARSSON, D.*: Developing the Structure of a Fire Risk Index Method for Timber-frame Multi-storey Apartment Buildings, Report 5062, Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, 2000.
- [11] *HULTQUIST, H., KARLSSON, B.*: Evaluation of a Fire Risk Index Method for Multi Storey Apartment Buildings, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, Report 3088, Lund, 2000.
- [12] *KARLSSON, B.*: Fire Risk Index Method-Multi Storey Apartment Buildings, FRIM-MAB, Version 1.2, Trätek Report I 0009025, Sweden, 2000.
- [13] *WATTS, J. M. Jr.*: Fire Risk Ranking, Section 5, Chapter 2, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition, USA, 1995.
- [14] ISO/TC92/SC4/WG10 N24 Rev: Draft Material submitted describing Fire Risk Assessment Methods, 2001.
- [15] *MEACHAM, B. J.*: The SFPE Handbook, Fire Protection Engineering, section five, chapter 12, 3rd edition, 2002.
- [16] ISO/TC/SC4/WG10 N34 Rev1: Fire Safety Engineering, WG10: Fire Risk Assessment; Draft document on fire risk Assessment guidance, 09/2001.

- [17] *RANTANTALO, T.; NYSTEDT, F.:* Use of Fire Safety Engineering and Risk Analysis in Cultural Heritage Buildings, Fire Risk Evaluation To European Cultural Heritage (FIRE TECH), European study into the Fire Risk to European Cultural Heritage, WG6, Fire Risk Assessment Methods, Example of Application (Appendix 4), 2005.
- [18] *MAGNUSSON, S. E.; FRANTZICH, H.; HARADA, K.:* Fire Safety Design Based on Calculations, Uncertainty Analysis and Safety Verification, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Report 3078, Sweden, 1995.
- [19] *HOSSEY, D.; SPREY, W.:* A Probabilistic Method for Optimisation of Fire Safety in Nuclear Power Plants, First International Symposium on Fire Safety Science, Gaithersburg, Maryland, USA, 1985.
- [20] Curtat, M.; Vandeveld, P.; De Neayer, A.; Streuwe, E. ; Twilt, L. ; Breunese, A.; Neves, C.; Valente, J.; Ventura, J.: Fire Risk Define, apply and document a quantitative method to help decision making, WG 7 in Fire Risk Evaluation To European Cultural Heritage, Fifth Framework Programme, 2005

BRANDGEFAHR IM KINDERZIMMER – NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG VON VERSCHIEDENEN SZENARIEN

Anja Hofmann

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin

EINLEITUNG

In Europa sind etwa 80 % aller Brandtoten in Wohnungen zu beklagen [1], [2], [3]. Wohnungsbrände entwickeln sich sehr schnell. Die Feuerwehr geht davon aus, dass im Falle eines Brandes nur 2 bis 4 Minuten zum Verlassen eines Raumes bleiben. Studien aus den USA und Finnland [4], [5] geben ähnlich kurze Zeiten an. Ältere Studien aus den 1970er Jahren sprechen noch von Fluchtzeiten, die bei bis zu 17 Minuten liegen [6]. Die enorm gestiegene Verbreitung von Kunststoffen ist wahrscheinlich ein Grund für die schnellere Ausbreitung von Bränden heutzutage.

Statistiken aus Großbritannien und den USA zeigen, dass insbesondere Wohn- und Schlafzimmerbrände sehr gefährlich sind, da es dort sehr viel häufiger zu Todesfällen kommt als z. B. bei Küchenbränden, obwohl diese öfter auftreten. Einzelne Objekte wie Polstermöbel, Matratzen und Fernseher stellen eine besondere Gefahr da. Prinzipiell gibt es zwei Ansätze, die Zahl der Brandtoten in Wohnungen zu verringern: den Einsatz von Rauchmeldern und strengere Anforderungen an die Brandsicherheit von z. B. Polstermöbeln oder Elektrogeräten.

Der bauliche Brandschutz hat in Deutschland ein sehr hohes Niveau, gerade bei Wohnungsbränden stellen die größte Brandlast aber meist Gebrauchsgegenstände, Möbel und elektrische Geräte dar. Besonders Polstermöbel, Matratzen, Plastikspielzeug und Fernseher lassen sich sehr leicht entzünden und brennen mit enormer Hitze- und Rauchentwicklung. In Deutschland und in vielen anderen europäischen Ländern gibt es für diese Objekte jedoch kaum Brandschutzvorschriften. Eine Ausnahme bildet Großbritannien.

In einem Großversuch, den die BAM zusammen mit der Berliner Feuerwehr in einem Kinderzimmer durchgeführt hat, wurde die schnelle Brandausbreitung deutlich. Eine Schaumstoffmatratze wurde mit einem Teelicht in Brand gesetzt, bereits nach 4 Minuten trat der Flashover im Raum ein. Vorversuche an Spielzeug aus Kunststoff zeigten, dass diese sich ebenfalls sehr leicht entzünden lassen und mit großer Wärme- und Rauchentwicklung abbrennen.

Zur numerischen Untersuchung wurden CFD (Computational Fluid Dynamics) Modelle eingesetzt. Diese numerischen Modelle wurden anhand von Großversuchen validiert. Die Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Werten ist zufriedenstellend. Der Einfluss einer Matratze, die höhere Brandschutzanforderungen erfüllt (britische Matratze), auf die Brandsicherheit wurde numerisch untersucht. Es wurden Rauchmelder in den Modellen berücksichtigt.

Die numerischen Berechnungen zeigen, dass durch Rauchmelder in Kombination mit der Ausstattung einzelner Einrichtungsgegenstände - wie Sofas oder Fernseher - mit Flammenschutzmitteln die Brandsicherheit signifikant erhöht werden kann. Der Temperaturanstieg im Brandraum ist geringer und die Zeit bis zum Flashover verlängert sich deutlich.

WOHNUNGSBRÄNDE - KINDERZIMMER

Eine detaillierte britische Statistik zeigt, dass ca. 50 % aller Brände, die nicht durch Brandstiftung entstanden sind, in Wohngebäuden auftreten, aber 80 % der Brandtoten bei diesen Bränden zu beklagen sind [3], [7], [8]. Von allen Bränden in Wohnungen beginnen 64 % in der Küche, aber nur 20 % der Brandtoten treten bei diesen Bränden auf. Im Vergleich dazu entstehen 21 % der Brände im Schlafzimmer oder Wohnzimmer, aber mit 72 % der Brandtoten. Brände in Wohn- und Schlafzimmern stellen offenbar ein größeres Risiko dar als Küchenbrände, obwohl diese sehr viel öfter auftreten. Kinderzimmer werden in der britischen Brandstatistik nicht gesondert aufgeführt, sondern zählen zu den Schlafzimmern.

Besonders in Kinderzimmern kommt es oft zu einer Häufung von besonders kritischen Gegenständen wie Matratzen, elektrischen Geräten (Fernseher, Spielkonsolen) und gegebenenfalls Polstermöbeln. Zusätzlich verhalten Kinder sich gegenüber der Brandgefahr oft falsch: sie gehen z. B. unachtsam mit offenem Feuer um oder verstecken sich im Brandfall, anstatt das Zimmer zu verlassen.

Die BAM hat mit der Berliner Feuerwehr im April 2006 in einem Großversuch die besondere Gefährdung im Kinderzimmer untersucht. Dazu wurde ein möbliertes Kinderzimmer abgebrannt, der Versuchsaufbau ist in Bild 1 dargestellt. Als Zündquelle wurde ein Teelicht verwendet, mit dem die Matratze in Brand gesetzt wurde. Ein Kontakt von 1 s reichte aus, um die Matratze in Brand zu setzen, bereits nach 4 Minuten kam es zum Flashover.

Als Kriterium für den Flashover wurde das Erreichen von 600 °C unter der Decke [13] und die Beobachtung durch eine im Raum installierte Kamera, dass sich die Flammen unter der gesamten Decke ausgebreitet hatten, verwendet. Schon innerhalb der ersten fünf Minuten stieg die Temperatur unter der Decke auf über 1000 °C. Messwerte für die Raummitte in verschiedenen Höhen sind exemplarisch in Bild 8 dargestellt.

Bei den Vorbereitungen zu dem Großversuch hatte sich herausgestellt, dass sich Spielzeuge aus Kunststoff sehr leicht (innerhalb von 1 bis 3 s) mit einer kleinen Zündquelle (Feuerzeug) entzünden lassen. Sie brennen mit starker Wärme- und Rauchfreisetzung. Dies bestätigte sich auch im Großversuch.



Bild 1 Großbrandversuch in einem Kinderzimmer

Bild 2 zeigt den Testraum nach dem Versuch und im Vergleich dazu ein Kinderzimmer nach einem Brand in München 2006. In beiden Fällen ist zu sehen, dass der Kunststoff schmilzt und beim Brand im Gegensatz zu den Einrichtungsgegenständen aus Holz zu großen Teilen konsumiert wird.



Bild 2 a) Testraum nach dem Versuch b) Kinderzimmer nach einem Brand in München 2006 (Bild: Feuerwehr München)

Bei den Vorbereitungen zu dem Großversuch hatte sich herausgestellt, dass sich Spielzeuge aus Kunststoff sehr leicht (innerhalb von 1 bis 3 s) mit einer kleinen Zündquelle (Feuerzeug) entzünden lassen. Sie brennen mit starker Wärme- und Rauchfreisetzung. Dies bestätigte sich auch im Großversuch.

WÄRMEFREISETZUNG UND RAUCHENTWICKLUNG

Um die Gefährlichkeit eines Brandes abzuschätzen, ist die Wärmefreisetzungsrate die bestimmende Größe [9], [10]. Die Variation der verschiedenen Parameter Belüftung, Geometrie und Wärmefreisetzungsrate in den numerischen Berechnungen zeigt, dass eine Reduzierung der Wärmefreisetzungsrate den größten Gewinn für die Brandsicherheit bringt [19].

Obwohl es eine europäische Norm für die Sicherheit von Spielzeug gibt (EN 71) und dort auch auf die Entflammbarkeit von Spielzeug eingegangen wird, gibt es für Spielzeuge aus Hartkunststoff wie Bausteine, Schiffe oder Autos keine Vorschriften hinsichtlich der Brandsicherheit. Die Vorversuche an unterschiedlichen Spielzeugen aus Kunststoff zeigten, dass sich diese sehr leicht (innerhalb von 1 bis 3 s) mit einem Feuerzeug anzünden lassen. In Bild 3 ist exemplarisch der Abbrand von zwei verschiedenen Spielzeugen aus Kunststoff dargestellt.



Bild 3 Abbrand von Kunststoffspielzeug

Die leichte Entflammbarkeit der Spielzeuge ist besonders auch in Hinblick auf mit Feuer spielende Kinder sehr kritisch. Die starke Wärmeentwicklung und das brennende Abtropfen führen zu einer schnellen Brandausbreitung, die starke Rauchentwicklung ist für Personen im Raum der Brandentstehung und in angrenzenden Räumen extrem gefährlich. Kinder sind besonders gefährdet, weil sie dazu neigen, sich im Brandfall zu verstecken anstatt zu fliehen.

In Bild 4 ist der Versuchsaufbau dargestellt, mit dem während des Abbrands einer Spielzeugbauplate aus Kunststoff der Masseverlust gemessen wurde. Gleichzeitig wurde die Single Burning Item Apparatur zur Gasanalyse und zur Rauchdichtemessung verwendet, so dass die Wärme- und Rauchfreisetzungsrate bestimmt werden konnte (Bild 5). Zusätzlich wurde die Gesamtwärmefreisetzungsrate ermittelt (Bild 6).



Bild 4 Abbrand von Plastikspielzeugplatte mit Aufzeichnung des Masseverlustes und Verwendung der Analytik der Single Burning Item Messapparatur

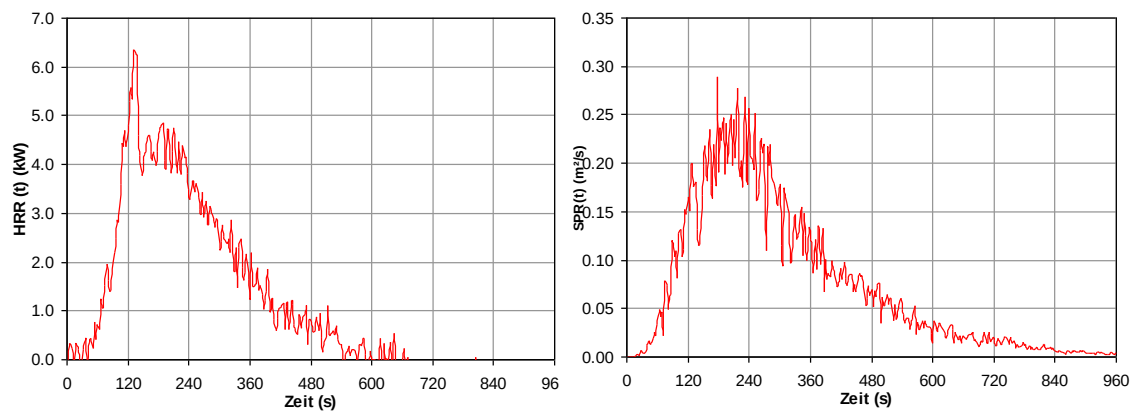


Bild 5 Gemessene Wärmefreisetzungsrate und Rauchproduktion einer Plastikspielzeugplatte

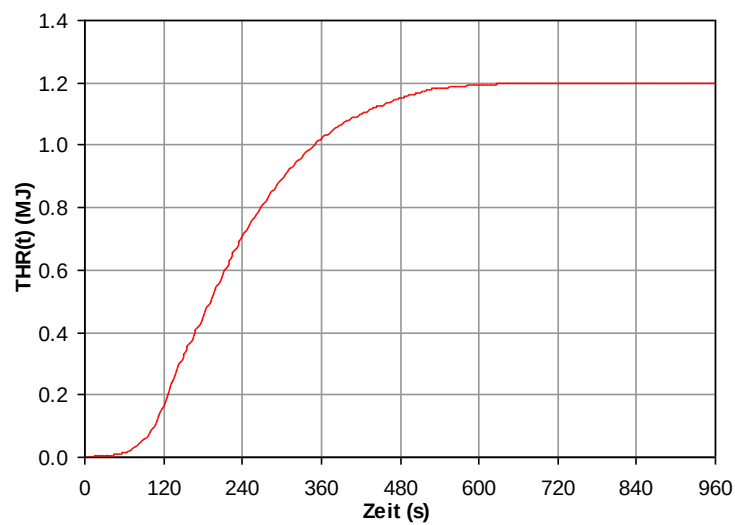


Bild 6 Gesamtwärmefreisetzungsrate der Plastikspielzeugplatte

Obwohl die Spielzeugplatte nur ein Gewicht von 60 g hatte, brannte sie ca. 15 Minuten lang und wurde dabei nahezu vollständig verbraucht. Der Peak der Wärmefreisetzungsrate lag bei ca. 6 kW und die gesamte Wärmefreisetzungsrate bei 1,2 MJ.

NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die numerischen Untersuchungen wurden mit dem Fire Dynamics Simulator (FDS) vom NIST, Version 4.05, durchgeführt. FDS ist ein Computational Fluid Dynamics (CFD) Programm. Das numerische Modell wurde anhand einer experimentellen Studie vom NIST [4] und anhand der im Großversuchs im Kinderzimmer gemessenen Daten validiert. Für die Turbulenzmodellierung wurde das Large Eddy Simulation (LES) Modell verwendet, die Strahlung wurde mit dem Six Flux Modell von FDS berechnet und für die Verbrennung wurde das Mischungsfraktionsmodell verwendet [11], [12]. Das numerische Modell des Großbrandversuchs im Kinderzimmer ist in Bild 7 dargestellt.

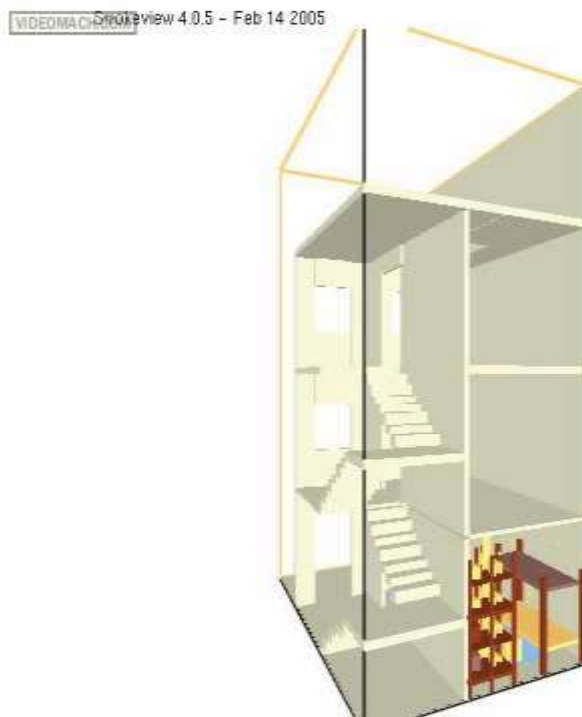


Bild 7 Numerisches Modell des Kinderzimmers in FDS

Während des Großversuchs wurden Temperaturen an 37 Stellen im Testraum gemessen. Zusätzlich waren mehrere Kameras innerhalb und außerhalb des Testraums und eine Infrarotkamera außerhalb des Testraums angebracht.

Bild 8 zeigt exemplarisch die gemessenen und berechneten Temperaturen in der Raummitte in verschiedenen Höhen. Die Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Temperaturen ist gut.

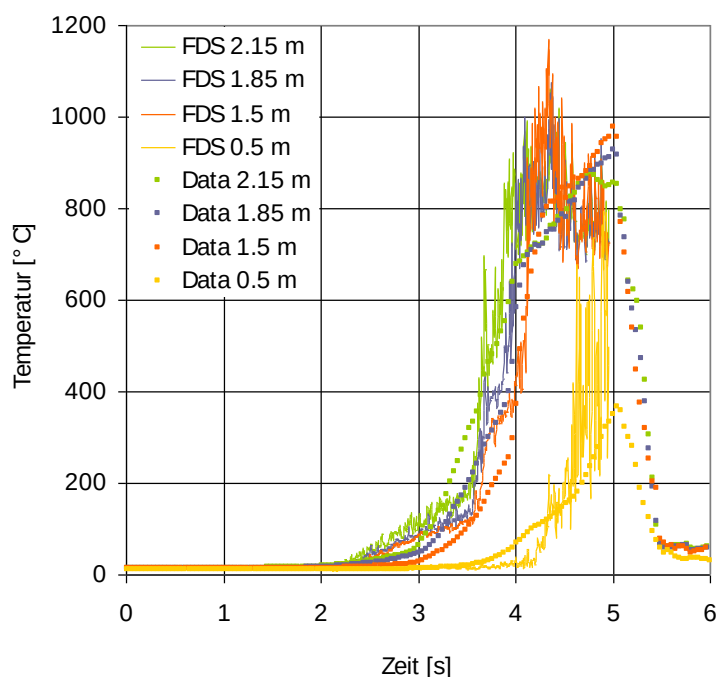


Bild 8 Berechnete und gemessene Temperaturen in der Raummitte des Kinderzimmers (Großbrandversuch)

Während des Großversuchs wurden die Temperaturen im Brandraum mit einer Infrarotkamera aufgezeichnet. Die gemessene und die berechnete Temperaturverteilung sind in Bild 9 dargestellt; die Übereinstimmung ist gut.

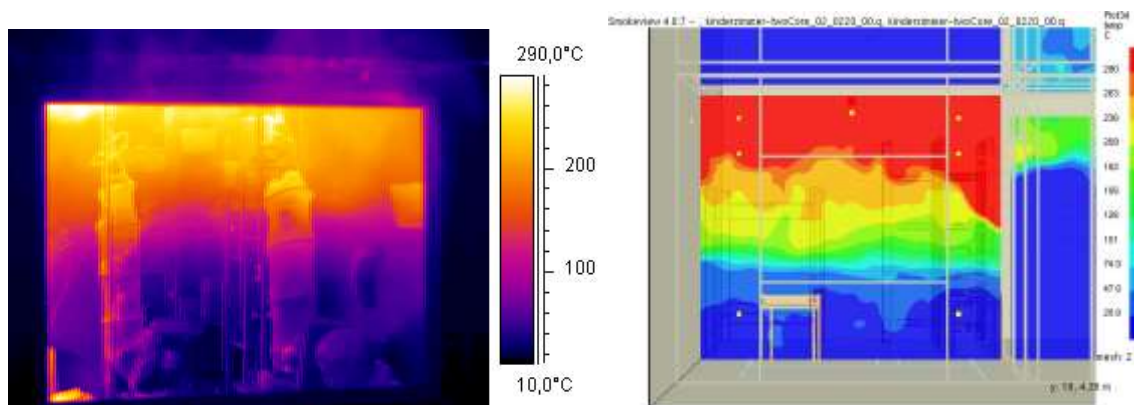


Bild 9 Gemessene und berechnete Temperaturverteilung im Kinderzimmer (Großversuch)

Der Nutzen für die Brandsicherheit bei Einsatz einer flammgeschützten Matratze wurde numerisch untersucht. Auch experimentell wurde der Unterschied zwischen der deutschen Matratze (keine Vorschriften) und einer britischen Matratze (flammgeschützt) deutlich: Die deutsche Matratze ließ sich mit dem Teelicht innerhalb einer Sekunde entzünden, die britische Matratze konnte auch mit einem Bunsenbrenner nicht entzündet werden.

Ein Vergleich der berechneten Temperaturen im Brandraum für die nicht flammgeschützte und die flammgeschützte Matratze ist in Bild 10 gegeben. Während für die nicht flammgeschützte Matratze der Flashover bereits nach knapp 4 Minuten auftritt (wie im Experiment), bleiben die Temperaturen im Fall der flammgeschützten Matratze weit unter den kritischen Werten.

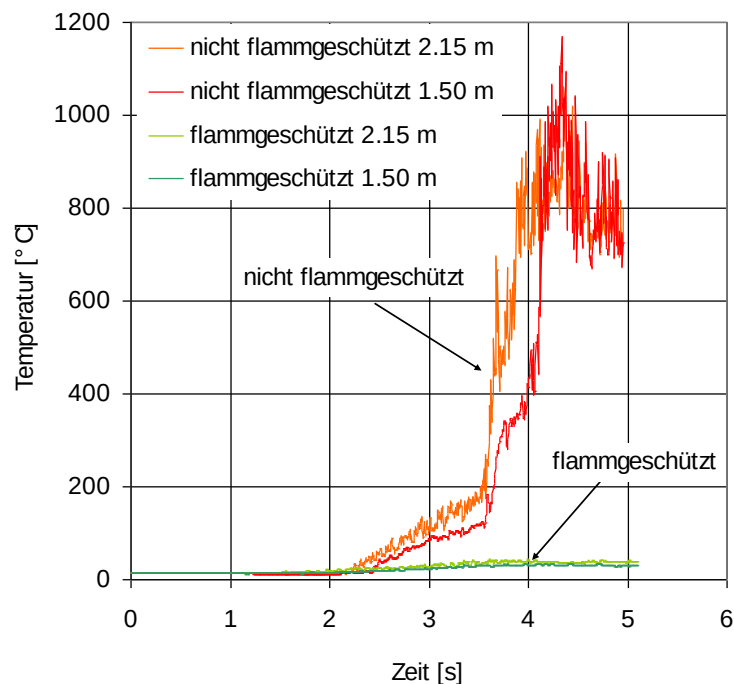


Bild 10 Vergleich der Raumtemperaturen in Raummitte in den Höhen 1,50 m und 2,15 m für die flammgeschützte und die nicht-flammgeschützte Matratze

Die Herabsetzung der Wärmefreisetzungsrate durch Flammenschutz in einzelnen Objekten wie Fernsehern, Polstermöbeln oder Matratzen wird auch anhand von Messungen im Furniture Kalorimeter deutlich [14], [15], [16]. In einem experimentellen Vergleich von flammgeschützten und nicht flammgeschützten Objekten zeigte sich in Großversuchen in einem ISO 9705 Raum und einem Wohnzimmer der positive Einfluss auf die Brandsicherheit: Die Zeit bis zum Flashover im Raum war im Fall der flammgeschützten Objekte deutlich länger [17], [18].

ZUSAMMENFASSUNG

In Deutschland und Europa kommen 80 % der Brandtoten bei Wohnungsbränden ums Leben. Anhand einer detaillierten britischen Brandstatistik wird deutlich, dass Brände in Wohnzimmern und Schlafzimmern für Personen besonders gefährlich sind. Insbesondere in Kinderzimmern, die statistisch zu den Schlafzimmern zählen, liegt oft eine starke Häufung von Objekten mit hohem Brandrisiko wie Polstermöbel, Matratzen und elektrische Geräte wie Fernseher vor. Diese stellen im Brandfall eine besonders große Gefahr dar, da sie sich schon durch kleine Zündquellen wie Feuerzeug oder Kerze leicht entzünden lassen, eine hohe Wärmefreisetzungsrate haben und viel Rauch produzieren. Schon

ein einzelnes Sofa oder eine Matratze kann in einem Raum einen Flashover erzeugen. Große Mengen von Kunststoff-Spielzeug im Kinderzimmer können ebenfalls eine signifikante Brandlast darstellen.

Es wurden numerische Computational Fluid Dynamics (CFD) Modelle für verschiedene Brandszenarien in Wohnungen erstellt und mit dem Fire Dynamics Simulator (FDS, NIST), Version 4.05, berechnet, der anhand von experimentellen Daten validiert wurde. Es wurden Szenarien mit flammgeschützten und nicht flammgeschützten Objekten verglichen. Für das erste brennende Objekt wurde in den numerischen Modellen die Wärmefreisetzungsrate aus Experimenten (Literatur) vorgegeben. Es wurden Rauchmelder in die numerischen Modelle integriert.

Bei einem Großversuchs in einem Kinderzimmer wurde die besondere Brandgefahr anhand der schnellen Brand- und Rauchentwicklung und der hohen Temperaturen deutlich.

Rauchmelder sind nützlich, um schlafende Personen zu wecken und auf den Brand aufmerksam zu machen. Sie können allerdings den Brandverlauf nicht beeinflussen. Da sich Wohnungsbrände sehr schnell ausbreiten, bleiben nur ca. 2 bis 4 Minuten zum Verlassen des Raumes. Besonders für Kinder, ältere und behinderte Personen ist diese Zeit sehr kurz. Flammenschutzmittel können die Entzündung durch eine kleine Zündquelle ganz verhindern, verzögern ansonsten die Entzündung und können die Wärmefreisetzungsrate eines Objekts herabsetzen.

Die numerischen Ergebnisse zeigen einen signifikanten Gewinn für die Brandsicherheit in Wohnungen durch den Einsatz von Flammenschutzmitteln in einzelnen, besonders gefährlichen Objekten: die Temperaturen im Raum sind niedriger, die Zeit bis zum Flashover wird deutlich verlängert. Der flächendeckende Einsatz von Rauchmeldern in Wohnungen in Kombination mit erhöhten Anforderungen hinsichtlich der Entflammbarkeit von einzelnen Objekten mit besonders hohem Brandrisiko ist daher zu empfehlen.

LITERATUR

- [1] Feuerwehr-Jahrbuch 2005/06 Das Feuerwehrwesen in der Bundesrepublik Deutschland. Deutscher Feuerwehrverband e.V., DFV Medien GmbH (2005)
- [2] World Fire Statistics. Information Bulletin of the World Fire Statistics. Geneva Association Information Newsletter.
<http://www.genevaassociation.org/FIRE%20N%20B019%20-%20October%202003.pdf>
- [3] Fires in the Home: findings from the 2002/3 British Crime Survey. Office of the Deputy Prime Minister. London 2004

- [4] Bukowski, R.W., Peacock, R.D., Averill, J.D., Cleary, T.G., Bryner, N.P., Walton, W.D., Reneke, P.A., Kuligowski, E.D.: Performance of Home Smoke Alarms, Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings. NIST Technical Note 1455, July 2004
- [5] Hietaniemi, J., Mäntsä, J., Hakkarainen, T.: Burning of Electrical Household Appliances, An Experimental Study. VTT Research Notes 2084, Finland 2001
- [6] Bukowski, R.W., Waterman, T.E., and Christian, W.J.: Detector Sensitivity and Siting Requirements for Dwellings: A Report of the NBS "Indiana Dunes Tests". NFPA No. SPP-43. Nat. Fire Prot. Assn., Quincy, MA, 1975
- [7] Home Office. Fire Statistics United Kingdom 1993. Home Office, London. September 1995
- [8] Office of the Deputy Prime Minister. Fire Statistics United Kingdom 2002. April 2004
- [9] Hirschler, M. M.: Use of heat release rate to predict whether individual furnishings would cause self propagating fires. Fire Safety Journal 32 (1999) 273-296
- [10] Babrauskas, V., Peacock, R.D.: Heat Release Rate. The Single Most Important Variable in Fire Hazard. Fire Safety Journal 18, 255-272, 1992
- [11] McGrattan, K. Forney, G. NIST Special Publication 1019. Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide. February 2005
- [12] McGrattan, K. (Editor): NIST Special Publication 1018. Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide, February 2005
- [13] Karlsson, B., Quintiere, J.G.: Enclosure Fire Dynamics. CRC Press 1999
- [14] Fire-LCA Model: Furniture Study. SP Report 2003:22
- [15] Simonson, M., Blomqvist P., Boldizar A., Möller K., Rosell L., Tullin C., Strippel H. and Sundqvist J.O.: Fire LCA Model: TV Case Study. SP Report 2000:13
- [16] CBUF, Fire Safety of Upholstered Furniture – the final report of the CBUF research programme. Edited by Björn Sundström. Report EUR 16477 EN
- [17] Babrauskas, V. et al.: Fire Hazard Comparison of Fire-Retarded and Non-Fire-Retarded Products. NBS Special Publication 749. July 1988
- [18] Troitzsch, J.H., Flammability and Fire Behaviour of TV Sets, Sixth International Symposium of Fire Safety Science, 5 – 9 July, 1999, Poitiers, France
- [19] Hofmann, A., Knaust, C., Beard, A.: Modelling fire scenarios in residential buildings with respect to the benefit of smoke detectors and flame retardants. In: Conference Proceedings Flame Retardants 2006, London, UK, 13th – 15th February 2006

SITZUNG 2

NORMEN, RICHTLINIEN, VERORDNUNGEN

Sitzungsleitung: K.-D. Wathling, Berlin

PERSPEKTIVEN DER BRANDSCHUTZBEMESSUNG NACH DIN 4102 TEIL 4, TEIL 22 UND EUROCODE

Thomas Sommer
Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

GRUNDLAGEN

Bauproduktenrichtlinie – Bauproduktengesetz/Landesbauordnungen

Nach Artikel 22 der Bauproduktenrichtlinie hatten sich die Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft (EG) verpflichtet, diese bis Mitte Juni 1991 in nationales Recht umzusetzen.

Bedingt durch die Bund-Länder-Struktur der Bundesrepublik Deutschland und die damit verbundene Trennung der Verantwortlichkeit für Fragen der EG-Gesetzgebung und inneren Gesetzgebung für den Baubereich, ist dies in Deutschland durch Bekanntmachung „des Bauproduktengesetzes“ im Bundesgesetzblatt erst im August 1992 erfolgt.

Die Anwendung des Bauproduktengesetzes wird durch die Musterbauordnung auf Länderebene geregelt.

Ziel der Bauproduktenrichtlinie ist es, durch Vereinheitlichung (Harmonisierung) der insbesondere technischen Spezifikationen der Mitgliedsländer wie Normen und Zulassungen, etwaige Handelsbarrieren zwischen den Mitgliedsländern zu beseitigen und damit einen einheitlichen Binnenmarkt zu fördern.

Grundlagen der europäischen Harmonisierung im Bereich Brandschutz

Für den baulichen Brandschutz wurde das Grundlagendokument Brandschutz (GD2) im Februar 1994 veröffentlicht. Auf der Basis dieses Grundlagendokumentes wurden von der Europäischen Kommission (EK) nach Zustimmung des "Ständigen Ausschusses für das Bauwesen" (StAB) bei der damaligen Generaldirektion III Aufträge (Mandate) an das Europäische Komitee für Normung (CEN) und an das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) zur Ausarbeitung von Europäischen Normen für die Prüfung, Bewertung und Klassifizierung von Bauprodukten erteilt. Diese Normen sind die Grundlage für die brandschutztechnischen Leistungsanforderungen an Bauprodukte und Bauarten in den harmonisierten Europäischen Normen (EN) bzw. in den Leitlinien für europäische technische Zulassungen (ETAG), die von der Europäischen Organisation für technische Zulassungen (EOTA) ausgearbeitet werden. Diese Arbeiten dienen dem Inverkehrbringen von Bauprodukten und dem freien Warenverkehr im europäischen Binnenmarkt.

Nach der Bauproduktenrichtlinie (BPR) wurde festgelegt, dass Bauwerke so entworfen und errichtet werden müssen, dass bei einem Brand

- die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt werden,
- die Tragfähigkeit des Bauwerks während einer bestimmten Zeit erhalten bleibt,
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Gebäude begrenzt wird,
- die Bewohner des Gebäudes unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können,
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.

Für diese Grundanforderungen enthält das GD2 die Vorgaben für die Bauprodukte oder Bauproduktfamilien sowie Merkmale, die sich auf das Leistungsverhalten hinsichtlich des Brandschutzes und ihrer Erfüllung beziehen. Dazu werden die Angaben zu den Bauwerksteilen bzw. Bauprodukten nach folgendem Schema gegliedert:

- Beschreibung der Brandschutzfunktion,
- Angabe der Beanspruchungen, vor allem der thermischen Einwirkungen,
- Leistungskriterien, denen das Bauprodukt genügen muss,
- Prüfungs- und Klassifizierungsgrundsätze.

Europäische Normen

Die Umsetzung von Europäischen Normen (EN) in nationale Normen ist durch die Übernahmeverpflichtung nach Abschnitt 3.2 der Geschäftsordnung von CEN/CENELEC, Teil 2: „Gemeinsame Regeln für die Normungsarbeit“ geregelt. Bei der Annahme einer Norm im Abstimmungsverfahren durch eine entsprechende Mehrheit der CEN-Mitgliedsstaaten ist eine Übernahme in die nationalen Normenwerke der Mitglieder bei gleichzeitigem Zurückziehen entgegengesetzender nationaler Normen verpflichtend. Die Umsetzung dieser Verpflichtung hat sechs Monate nach Veröffentlichung durch das CEN/CMS zu erfolgen.

Bei Europäischen Vornormen (ENV¹), wie in den Fällen der derzeit noch gültigen „heißen Eurocodes“, ist eine zwangsläufige Übernahme der betreffenden Vornorm nicht vorgesehen; die Dokumente mussten nur in geeigneter Weise verfügbar gemacht werden.

Harmonisierte Normen (Produktnormen) beziehen sich aufgrund der für sie erteilten Mandate auf Bauprodukte (z. B. Gipsplatten) und führen zur Erteilung des CE-Zeichens für diese Produkte. Ihre Einführung in das nationale Nor-

¹ Europäische Vornormen wurden zu jener Zeit noch veröffentlicht. Heute werden für Projekte mit vornormativem Charakter z. B. CEN/TS „Technische Spezifikation“ veröffentlicht.

menwerk ist verpflichtend und durch entsprechende Angaben im betreffenden Mandat geregelt. Durch Übergangsregeln von den alten nationalen Spezifikationen auf die europäischen Spezifikationen soll das geregelte „Inverkehrbringen“ sichergestellt werden.

EUROCODES UND NATIONALE ANWENDUNGSDOKUMENTE (NAD) BZW. NATIONALE ANHÄNGE (NA) FÜR DIE BRANDSCHUTZBEMESSUNG

Gegenwärtig anwendbare Eurocodes als Vornormen

Folgende Eurocodes wurden vom DIN als Vornormen (DIN V ENV) veröffentlicht und sind derzeit noch anwendbar (die zwischenzeitlich überarbeiteten Vornormen sind nunmehr zwar alle als DIN EN-Normen veröffentlicht, sind jedoch noch nicht anwendbar und deshalb auch nicht in Tabelle 1 aufgeführt – siehe hierzu auch den Folgetext):

Tabelle 1 Veröffentlichte Eurocodes und NAD's - Bemessung zum Brandschutz

Normbezeichnung	Titel
DIN V ENV 1991-2-2:1997-05	Eurocode 1 - Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2-2: Einwirkungen auf Tragwerke; Einwirkungen im Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1991-2-2:1995
DIN V ENV 1992-1-2:1997-05	Eurocode 2 - Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1992-1-2:1995
DIN V ENV 1993-1-2:1997-05	Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1993-1-2:1995
DIN V ENV 1994-1-2:1997-06	Eurocode 4 - Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 1-2: Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1994-1-2:1994
DIN V ENV 1995-1-2:1997-05	Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1995-1-2:1994
DIN V ENV 1996-1-2:1997-05	Eurocode 6 - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1996-1-2:1995
DIN V ENV 1999-1-2:1999-10	Eurocode 9 - Entwurf, Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen - Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung ENV 1999-1-2:1998

Diese Vornormen wurden von CEN zwecks Überführung in Europäische Normen überarbeitet.

Mit Ausnahme von Eurocode 9 („Aluminium“) wurden für alle vorgenannten Europäischen Vornormen Nationale Anwendungsdokumente (NAD) zu den in den Vornormen enthaltenen Festlegungen zum Anwendungsbereich der Vornormen, zu den indikativen Werten (sog. „boxed values“), zu weiteren technischen Detailregelungen, erstellt. Diese Festlegungen dienen insbesondere zur Sicherstellung des gegenwärtigen deutschen Sicherheitsniveaus.

Um zu gewährleisten, dass die Anwendung der „heißen Eurocodes“ das bisherige Sicherheitsniveau nicht in Frage stellt, hatte die Bauaufsicht eine Arbeitsgruppe gegründet, die diesen Nachweis zur Aufgabe hatte. Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) hatte hierzu ein Forschungsvorhaben bewilligt. Der Forschungsbericht hat grundsätzlich die Gleichwertigkeit der Bemessungen mit Hilfe der „heißen Eurocodes“ mit dem gegenwärtigen deutschen Sicherheitsniveau bestätigt. Hierdurch wurde eine Anwendung dieser Europäischen Vornormen in Deutschland ermöglicht.

Um den Anwendern einen Überblick zur Bemessung nach Eurocode zu geben, wurde ein Beuth-Kommentar [1] mit Erläuterungen und Anwendungen zu den Eurocodes 1 bis 6 veröffentlicht. Weiterhin wurde ein Taschenbuch [2], das die Eurocode Vornormen zusammen mit den Nationalen Anhängen beinhaltet, veröffentlicht. Die Materialsammlung Vorbeugender Brandschutz [3] beinhaltet alle wesentlichen Normen im Bereich des insbesondere vorbeugenden Brandschutzes einschließlich der Bemessungsnormen in den jeweils aktuellen Fassungen, die zeitnah aktualisiert werden, sowie den o. g. Beuth-Kommentar.

Eurocodes als Europäische Normen (derzeit noch nicht anwendbar)

Die überarbeiteten Fassungen der Vornormen wurden inzwischen als DIN EN 199X-1-2 vom DIN veröffentlicht. Da zu ihrer Anwendbarkeit jeweils ein Nationaler Anhang erforderlich ist und auch alle anderen zur Bemessung erforderlichen Europäischen Normen (Eurocodes) einschließlich der zugehörigen Nationalen Anhänge vorliegen müssen, finden diese Normen gegenwärtig noch keine Verwendung.

Zu jedem Eurocodes ist ein Nationaler Anhang (NA) zu erstellen. Dieser enthält, ähnlich wie die früher zu den Vornormen veröffentlichten NADs (s. o.), zusätzliche Festlegungen, um u. a. das deutsche Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Die Nationalen Anhänge zu den einzelnen brandschutzrelevanten Eurocodes werden gegenwärtig in den entsprechenden Gremien erstellt. Es ist nicht davon auszugehen, dass diese vor Mitte 2008 vorliegen werden. Die Nationalen Anhänge sollen dann als DIN-Normen veröffentlicht werden.

Zur Erarbeitung der Grundlagen für die Nationalen Anhänge wurden vom DIBt wiederum Forschungsvorhaben bewilligt, die auch den erforderlichen Nachweis

zur Gleichwertigkeit mit dem gegenwärtigen deutschen Sicherheitsniveau liefern sollen. Die Anzahl der national veränderbaren Werte (NDP - Nationally Determined Parameter) in den als DIN-EN-Normen neu veröffentlichten „heißen Eurocodes“ wurde zwar (auftragsgemäß) im Vergleich zu den alten Vornormen reduziert, trotzdem gibt es noch eine Reihe von national festzulegenden Parametern (Werte, für die auf europäischer Ebene noch keine Harmonisierung möglich oder erwünscht war). Diese sind neben anderen Festlegungen (z. B. zur möglichen nationalen Anwendung von informativen Anhängen) im Zuge der Bearbeitung in Abstimmung mit den Gremien der Bauaufsicht festzulegen. Erst wenn die Nationalen Anhänge vorliegen, können die neuen Eurocodes als DIN EN in Deutschland benutzt werden, sofern die weiteren, zur Bemessung erforderlichen Normen ebenfalls vorliegen.

Es ist vorgesehen, den o. g. Beuth-Kommentar [1] mit Erläuterungen und Anwendungsbeispielen zu den Eurocodes 1 bis 6 an die neu veröffentlichten Eurocode-Normen und die zugehörigen Nationalen Anhänge zu überarbeiten. Das o. g. Taschenbuch [2], das die Eurocode-Normen zusammen mit den Nationalen Anhängen beinhalten wird, wird ebenfalls überarbeitet.

Hintergrund zu den Eurocodes

Die „heißen Eurocodes“ erlauben brandschutztechnische Bewertungen zum Tragverhalten von Bauteilen und Bauwerken für die unterschiedlichen Baustoffe auf Basis zum Teil von Tabellenachweisverfahren (in Analogie zu DIN 4102-4 [4]), vereinfachten Rechenverfahren sowie allgemeinen Rechenverfahren.

Durch Anwendung der allgemeinen Rechenverfahren, für die in Deutschland insbesondere ein erhöhtes Maß an Erfahrungen erforderlich ist, besteht die Möglichkeit, auch Gesamttragwerke für den Lastfall Brand zu untersuchen und zu bewerten und so die Brandschutzbemessung zu optimieren.

Weiterhin ermöglicht die Anwendung der Eurocodes die Berücksichtigung von parametrischen Temperaturzeitkurven bzw. Naturbrandkurven zur realistischeren, „situationsabhängigen“ Darstellung möglicher Brandszenarien als Alternative zur genormten Einheitstemperaturzeitkurve (die Grundlage der bauaufsichtlichen Festlegungen zur Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen ist). Dies kann insbesondere auch im Bereich der Nutzungsänderung im Bestand sinnvoll sein und wenn vorhandene Bauteile, unter Umständen im Bereich des Denkmalschutzes, die geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit ohne weitere aktive oder passive Maßnahmen nicht erbringen. Die Nutzung dieser Möglichkeiten erfordert naturgemäß ein erhöhtes Maß an Fachkompetenz der Anwender.

Mittelfristig (siehe auch [5]) sollen in Deutschland und auch in den andern Mitgliedsländern der Europäischen Gemeinschaft die Eurocodes die Nationalen Bemessungsnormen vollständig ersetzen.

Allerdings wird DIN 4102-4 insbesondere den Bereich des brandschutztechnischen Nachweises zum Raumabschluss für Bauteile auch zukünftig abdecken müssen. Für diesen Nachweis sind die Eurocodes nicht geeignet, weil es rechnerisch nicht möglich ist, Abplatzverhalten, Rissbildungen bzw. Abfallen von Schutzbauteilen usw. in/an entsprechenden raumabschließenden Bauteilen, die Einhaltung insbesondere prüftechnisch festgelegter Kriterien zum Raumabschluss (d. h. Schutz gegen den Übertritt eines Feuers von einem Brandabschnitt auf einen anderen), nachzuweisen. Hieraus leiten sich entsprechend auch die Probleme zur rechnerischen Erfassung von tragenden Bauteilen aus „filigranen“ Produkten wie Mauersteinen mit entsprechendem Lochbild ab.

Die Eurocodes legen im Gegensatz zu DIN 4102-4 in der Regel keine klassifizierten Konstruktionen fest.

ANWENDBARKEIT VON DIN 4102-4

Allgemeines - Hintergrund zu DIN 4102-4

DIN 4102-4 existiert in der prinzipiellen Form als Auflistung von klassifizierten Baustoffen und Bauteilen (bzw. Bauarten) in Form eines Kataloges seit dem Beginn der dreißiger Jahre des letzten Jahrhunderts in unterschiedlicher Bezeichnung.

Die Aussagen zur konstruktiven Gestaltung bzw. Bemessung von Bauteilen bezogen auf den Brandfall, aber auch zum Brandverhalten von Baustoffen basieren im Wesentlichen auf langjährigen Erfahrungen aus Prüfungen an Baustoffen und Bauteilen nach der Normenreihe DIN 4102 als Grundlage für bauaufsichtliche Nachweisverfahren. Grundlagen dieser Aussagen waren selbstverständlich rein nationale Produktnormen (wie z. B. DIN 18180 „Gipsplatten“ [6]). In der derzeit gültigen Ausgabe von DIN 4102-4 vom März 1994 (vor Veröffentlichung der Änderung A1) wurden in etwa 160 im Wesentlichen Produktnormen undatiert zitiert.

Normungstechnisch betrachtet bedeutet dies, dass etwaige Folgeausgaben zu den zitierten Normen direkt in DIN 4102-4 einfließen würden. Dies ist sicherlich ein sinnvolles Vorgehen unter besonderer Berücksichtigung der Tatsache, dass DIN 4102-4 ein sehr umfangreiches Dokument ist, das zu überarbeiten entsprechend aufwändig wäre. Weiterhin gilt dies insbesondere unter Berücksichtigung der derzeitigen nationalen Produktnormen, die im Wesentlichen auf Festlegungen basieren und nicht auf Anforderungen.

Die letzte, von der europäischen Harmonisierung noch unbeeinflusste Fassung zu DIN 4102-4 wurde im Jahre 1994 veröffentlicht. DIN 4102-4 beinhaltet in sehr geringem Maße Aussagen zum Brandverhalten von Baustoffen zu geregelten Bauprodukten. Mehr als 95 % der Angaben bezieht sich auf das Brandverhalten von Bauteilen (Aussagen zur Feuerwiderstandsfähigkeit von

Bauteilen). Hierzu zählen im Wesentlichen tragenden und z. T. auch nichttragende Bauteile, wobei einige Angaben zu Sonderbauteilen (Lüftungsleitungen usw.) gemacht werden.

Die Fassung von 1994 wies einen hohen Grad an Anwenderfreundlichkeit auf und war deshalb auch von Planern mit eher geringeren Kenntnissen im Brandschutz relativ leicht anwendbar.

Um bauaufsichtliche Anforderungen zum Brandschutz für ein Bauvorhaben im Regelfall umsetzen und erfüllen zu können, konnte der Planer aus dieser Norm entsprechende technische Lösungen zur Dimensionierung und konstruktiven Ausbildung von Bauteilen entnehmen. Die Norm kann also als umfangreiches Dokument mit Zusammenstellungen von konstruktiven Lösungen zur brandschutztechnischen Ausbildung von ansonsten geregelten Bauprodukten angesehen werden („Katalog“).

DIN 4102-4 ist aufgrund ihrer Bedeutung in allen Bundesländern als technische Baubestimmung eingeführt.

Einfluss der europäischen Harmonisierung auf DIN 4102-4

Augenblicklich befinden wir uns in Europa mitten in einem Prozess der Harmonisierung im Normungsbereich. Die Europäischen Produktnormen sind im Gegensatz zu den nationalen Normen in der Regel Anforderungsnormen. Das Spektrum unterschiedlicher, jedoch ähnlicher Produkte (CE-gekennzeichnet) wird entsprechend größer sein. Ob die Aussagen für Produkte auf der Basis von nationalen Produktnormen, die in DIN 4102-4 zitiert und bezüglich des Brandverhaltens klassifiziert sind, auch auf die neuen CE-gekennzeichneten Produkte zutreffen, ist nicht gewiss. Diese Problematik ist sicherlich von größerer Bedeutung für die Aussagen zum Brandverhalten von Baustoffen für die Aussagen zur Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen.

Relativiert werden obige Aussagen dadurch, dass die Europäischen Produktnormen sich selbstverständlich auf die neuen Europäischen Klassifizierungen zum Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen beziehen. In einigen Europäischen Produktnormen werden Aussagen zum Brandverhalten des Bauproduktes direkt aufgenommen, d. h. dem Produkt wird eine bestimmte europäische Brandschutzklasse zugeordnet (ähnlich dem Vorgehen in DIN 4102-4). Entsprechend sind die Aussagen der DIN 4102-4 zu diesen Produkten nicht mehr erforderlich. Bei anderen Europäischen Produktnormen ist das Brandverhalten nach Europäischen Klassifizierungsnormen nachzuweisen und entsprechend zu deklarieren.

Es sind im Wesentlichen drei Bereiche für DIN 4102-4 zu unterscheiden, die in diesem Zusammenhang von Interesse sind:

- a) Für in DIN 4102-4 zitierte Produkte sind keine europäischen Produktspezifikationen (Europäische Produktnormen oder europäisch technische Zulassungsrichtlinien) in Vorbereitung.

Dieser Fall ist unproblematisch, da die Aussagen von DIN 4102-4 weiterhin uneingeschränkt gültig bleiben. Diese Aussagen beziehen sich selbstverständlich auf das nationale Klassifizierungssystem der Normenreihe DIN 4102, das im Übrigen weiterhin bestehen bleiben wird (parallel zum europäischen Klassifizierungssystem).

- b) Es liegen Europäische Produktnormen vor oder sind in Vorbereitung.

Auch dieser Fall ist eher von geringer Problematik, da in der ersten Phase der Vorbereitung Europäischer Produktnormen die Aussagen in DIN 4102-4 zur nationalen Klassifizierung vollständig gültig bleiben und nach der Übergangsfrist (national klassifizierte Bauprodukte dürfen nicht mehr in Verkehr gebracht werden) die Aussagen von DIN 4102-4 nur noch hypothetischen Charakter behalten. Während der Übergangsfrist (sowohl Bauprodukte auf der Basis von rein nationalen Produktnormen als auch auf der Basis von Europäischen Produktnormen dürfen, in der Regel während einer Dauer von ca. 21 Monaten, nebeneinander in Verkehr gebracht werden) bleiben die Aussagen von DIN 4102-4 ebenfalls vollständig gültig (bezogen auf die nationalen Produktnormen).

- c) Es handelt sich um Bauarten.

Festlegungen für Bauarten sind Hauptbestandteil von DIN 4102-4. Mit Ausnahme von Europäischen Normen zu „Bausätzen“ („Kit“-Normen) werden Bauarten europäisch nicht genormt (die Bauproduktenrichtlinie bezieht sich lediglich auf Bauprodukte und nicht auf Bauarten, also dem Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen).

Dieser Fall c) ist also am kritischsten und entsprechend genauer zu betrachten.

Bauarten werden z. B. aus unterschiedlichen Bauprodukten wie Bewehrungsstahl und Beton (dieser wiederum aus Zement, Zuschlag usw.) zu Stahlbeton oder aber auch Stahlprofilen zusammen mit Brandschutzmaßnahmen wie Bekleidungen oder Beschichtungen jeweils unter Berücksichtigung von Lagerungsbedingungen und äußeren und inneren Belastungen erstellt. Genau für diese Fälle ist DIN 4102-4 die Grundlage des Brandschutznachweises.

Die Aussagen von DIN 4102-4 sind nicht ohne weiteres direkt auf die neuen europäischen Produkte übertragbar. In vielen Fällen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die möglichen Änderungen auf Grund der Europäischen Produktnormen in ihren Auswirkungen eher gering sein werden. Allerdings sollten zur Absicherung Vergleichsversuche durchgeführt werden (siehe auch unten).

Bemessungen nach den neuen rein nationalen Bemessungsnormen im „kalten“ Zustand (wie DIN 1045-1 [7]) basieren auf dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte in Anlehnung an die Prinzipien der Eurocodes (semi-probabilistischer Ansatz). Dies bedeutet, dass eine unreflektierte Benutzung von DIN 4102-4 bei Bauteilbemessungen, die von der Lastausnutzung abhängig sind, zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann. Um die Anwendbarkeit von DIN 4102-4 für die Fälle sicherzustellen, bei denen der Nachweis bei Normaltemperatur nach den neuen baustoffspezifischen Bemessungsnormen erfolgte, sind alternative bzw. zusätzliche Nachweise erforderlich.

Auf Grundlage der europäischen Harmonisierung entstehen also Probleme aus zumindest zwei wesentlichen Richtungen:

- zum einen ist das europäische Klassifizierungssystem zum Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (Bauprodukten) nicht eins zu eins national übertragbar und beinhaltet auch unterschiedliche Bezeichnungen;
- zum anderen sind die europäischen Produktnormen, die entsprechend die Nationalen Produktnormen ersetzen bzw. ersetzt haben, unterschiedlich.

Problemlösungen als ersten Schritt - umgesetzt im Jahre 2004

Allgemeines - Änderung A1 zu DIN 4102-4

Auch wenn es für den Anwender von DIN 4102-4 unerfreulich ist, dass nunmehr zusätzliche Überlegungen erforderlich sind und auch eine Anwendungsnorm (s. u.) zu berücksichtigen ist, so hat es doch zu diesem Vorgehen keine vernünftige Alternative gegeben. Dies lag und liegt im Wesentlichen darin begründet, dass die große Zahl der Europäischen Produktnormen über einen längeren Zeitraum veröffentlicht werden. DIN 4102-4 müsste genau genommen während dieser Zeit ständig überarbeitet und entsprechend angepasst werden, was normungstechnisch nicht sinnvoll machbar ist. Weiterhin wären, wie oben ausgeführt, u. U. prüftechnische Nachweise erforderlich, um sicherzustellen, dass die Europäischen Produktnormen Ergebnisse mit vergleichbarem Sicherheitsniveau bezüglich der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen ergeben.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Varianten aufgeführt, die zum Zeitpunkt der Überarbeitung und Erstellung der Anwendungsnorm DIN 4102-22 [8] zusammen mit der Änderung A1 zu DIN 4102-4 diskutiert wurden.

Die einfachste Möglichkeit wäre gewesen, die Aussagen zur Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen mit Bezug auf nationale Produktnormen undatiert zu belassen und entsprechend bei automatischem Ersatz durch die Europäischen Produktnormen davon auszugehen, dass sich hierdurch keine Änderungen bezüglich der Feuerwiderstandsfähigkeit ergeben. Auf Grund der hiermit verbundenen Ungewissheiten wurde diese Möglichkeit jedoch nicht weiter verfolgt.

Die genaueste Variante wäre gewesen, zum Beispiel in der Muster-Liste der technischen Baubestimmungen in der Anlage zu DIN 4102-4 eine Liste aller relevanten nationalen Produktnormen, die entweder europäisch als europäische technische Spezifikationen in Erarbeitung sind oder erarbeitet werden sollen, zu datieren. Dies hätte die Konsequenz gehabt, dass die entsprechenden Aussagen der DIN 4102-4 bei Ersatz durch die Europäischen Produktnormen außer Kraft gesetzt würden. Für die herausfallenden Aussagen in DIN 4102-4 wären dann im Regelfall allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bzw. allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse erforderlich, sofern nicht rechnerische Nachweise über die Eurocodes erbracht werden können. Diese erforderlichen Nachweise würden in Zukunft neue Aussagen zum Feuerwiderstandsverhalten, abweichend von bisherigen Angaben in DIN 4102-4, ergeben und es erlauben, die Europäischen Produktnormen in die Liste der für DIN 4102-4 relevanten Produktnormen aufzunehmen. Dieses Verfahren erschien sehr unhandlich und zeitaufwändig und wurde deshalb ebenfalls nicht weiter verfolgt.

Nach eingehenden Beratungen wurde vom zuständigen Arbeitsausschuss beschlossen, eine Zwischenlösung dahingehend zu wählen, dass alle relevanten normativen Verweisungen auf die letzten gültigen rein nationalen Normen datiert wurden. Wenn die mit diesen Normen in Übereinstimmung stehenden Produkte nicht mehr auf dem Markt erhältlich sind, weil diese nach der Übergangsfrist durch Produkte auf der Basis von neuen europäischen Produktspezifikationen abgelöst werden, fallen die entsprechenden Aussagen nach DIN 4102-4 für Bauarten mit diesen Produkten weg. Es wären dann für diese Bauarten Verwendbarkeitsnachweise nach Bauregelliste erforderlich.

Interessierte Kreise werden jedoch die Möglichkeit haben, im Zuge von Nachweisen feststellen zu lassen, dass auch die Produkte nach einer neuen europäischen Produktspezifikation mit den alten Aussagen von DIN 4102-4:1994-03 in Übereinstimmung stehen, unter Umständen unter Angabe festzulegender Parameter. Der für DIN 4102-4 zuständige Arbeitsausschuss wird die Nachweise dann begutachten und bei positiver Aussage den zuständigen Gremien der Obersten Bauaufsichtsbehörden zur Veröffentlichung in der Muster-Liste der technischen Baubestimmungen in der Anlage zu DIN 4102-4 empfehlen. Es ist vorgesehen, in unbestimmten Abständen die neuen normativen Verweisungen über Änderungen in DIN 4102-4 zu berücksichtigen.

Insbesondere für das Brandverhalten von Baustoffen wurden auf europäischer Ebene eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, die zum Teil die oben genannten Probleme mit DIN 4102-4 relativieren. Für die Klassifizierung zum Brandverhalten von Baustoffen wurde schon im Jahre 1996 eine Liste derjenigen Baustoffe veröffentlicht, die ohne Prüfung als nichtbrennbar (Euroklasse A1) einzustufen sind.

Weiterhin besteht für Bauprodukte die Möglichkeit, eine europäische Klassifizierung zum Brandverhalten über ein Prozedere zu erlangen, das über entsprechende Stellen auf Kommissionsebene durchgeführt wird (CWFT: **classification without further testing**).

Ziel sollte es sein, europäisch einen entsprechenden „Teil 4“ zu erstellen, der zumindest so anwenderfreundlich ist wie DIN 4102-4 (in ihrem ursprünglich angedachten Konzept).

Eine Zuordnung der Feuerwiderstandsklassen und der Baustoffklassen zu den verbalen bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen der Landesbauordnungen erfolgt in der Bauregelliste A Teil 1 in den Anlagen 01 bzw. 02.

DIN 4102-4 verbleibt im Übrigen auf der Basis der bekannten Klassifizierung nach der Normenreihe DIN 4102-4.

Erfordernis der Erarbeitung von DIN 4102-22 für DIN 4102-4

Die Eurocodes zur Bemessung im Brandfall werden langfristig wesentliche Teile von DIN 4102-4 ersetzen können. Da in Deutschland die nationalen Bemessungsnormen für den „kalten Zustand“ entsprechend den Eurocodes überarbeitet wurden und veröffentlicht sind (Bemessung auf der Basis von Teilsicherheitsbeiwerten (Teilsicherheitskonzept)), musste DIN 4102-4:1994 auch entsprechend überarbeitet werden.

In dieser ersten Phase der „Überarbeitung“ von DIN 4102-4 wurde zum einen eine Änderung A1 zu DIN 4102-4 2004 veröffentlicht (im Wesentlichen zur Berücksichtigung der europäischen Harmonisierung von Bauprodukten und dem daraus resultierenden Ersetzen von nationalen Produktnormen - siehe oben). Zum anderen wurde DIN 4102-22:2004 zur Anpassung an das Teilsicherheitskonzept in den nationalen Bemessungsnormen wie DIN 1045-1 veröffentlicht.

Durch diese erste Phase der „Überarbeitung“ von DIN 4102-4 wurde zwar die Anwendbarkeit insbesondere normungstechnisch wieder hergestellt, jedoch hat sich mit den zusätzlich zu berücksichtigenden Dokumenten die Anwenderfreundlichkeit verschlechtert. Dies war bekannt, jedoch nicht anders zu lösen (u. a. weil noch nicht alle Bauarten/Baustoffe auf das neue Teilsicherheitskonzept in der Kaltbemessung umgestellt waren (Mauerwerksbau)).

Wenn der rechnerische Nachweis im kalten Zustand nach den neuen nationalen Bemessungsnormen geführt wird und wenn der Lastausnutzungsgrad nach DIN 4102-4 von Bedeutung ist, dann ist DIN 4102-22:2004 zusammen mit der Änderung DIN 4102-4/A1:2004, die in jedem Fall mit DIN 4102-4:1994 zu berücksichtigen ist, anzuwenden.

Da DIN 4102-4 insbesondere auch für raumabschließende tragende Bauteile gilt, wird DIN 4102-4 auch weiterhin von nationaler Bedeutung sein (neben vielen anderen Bauteilen/Bauarten, die von den Eurocodes nicht abgedeckt werden). Dies liegt darin begründet, dass über die „heißen Eurocodes“ eine vollständige Beurteilung für raumabschließende tragende Bauteile nicht möglich ist, da wie oben schon beschrieben das Leistungsverhalten zum Raumab-

schlusskriterium, das durch die europäische E-Klassifizierung angegeben wird, nicht rechnerisch bestimmt werden kann.

Problemlösungen als zweiten Schritt - Wiederherstellung der Anwenderfreundlichkeit

Um nunmehr die Anwendbarkeit von DIN 4102-4 in Verbindung mit der Änderung A1 und der DIN 4102-22 zu verbessern und die Bemessung wieder auf eine Norm zu reduzieren, ist folgendes Vorgehen mit dem Ziel der Veröffentlichung einer konsolidierten Fassung vorgesehen:

- a) Um geringfügige Änderungen zur Anpassung an den Stand der Technik von DIN 4102-4:1994 zu ermöglichen, soll eine zweite Änderung A2 als Entwurf veröffentlicht werden.
- b) Zur Überarbeitung und Korrektur (insbesondere zur Stützenbemessung für Betonbauteile und zum Mauerwerk) soll eine Änderung A1 zu DIN 4102-22 als Entwurf veröffentlicht werden.
- c) In beiden Entwürfen wird angekündigt, dass deren endgültiges Ergebnis im Zuge der Einspruchsberatungen direkt in eine konsolidierte Fassung von DIN 4102-4 einfließen wird, bestehend aus
 - 1) DIN 4102-4:1994 und Änderung A1,
 - 2) DIN 4102-22:2004 sowie
 - 3) dem zu veröffentlichenden Ergebnis aus den Entwürfen zu E DIN 4102-4/A2 und E DIN 4102-22/A1.
- d) Bei Veröffentlichung der konsolidierten Fassung von DIN 4102-4 (dann auf der Basis des Teilsicherheitskonzepts) wird DIN 4102-22:2004 zurückgezogen.

Dieses Vorhaben ist auf Grund der Komplexität sehr ambitioniert. Es liegen alleine ca. 160 normative, nunmehr datierte Verweise auf nationale Normen vor, die zu überprüfen und eventuell durch Verweise auf entsprechende Europäische Normen (in der Regel Produktnormen) zu ersetzen sind. Dabei sind für die Bauarten nach DIN 4102-4 i. d. R. zusätzliche Aussagen zu den Europäischen Produktnormen erforderlich, um die mit diesen Produktnormen in Konformität stehenden Produkte (z. B. Gipsplatten) im Wesentlichen auf die alten nationalen Produktnormen (hier von DIN EN 520 [9] auf DIN 18180) zurückzuführen und damit das „alte“ Brandverhalten der neuen Produkte auf Basis von EN-Normen sicherzustellen.

Unabhängig von diesen Schwierigkeiten ist angestrebt, die Bearbeitungsdauer auf ein Minimum zu reduzieren unter Beibehaltung eines hohen Qualitätsanspruchs.

ZUSAMMENFASSUNG

Bis die Eurocodes als Gesamtpaket abschließend in Deutschland anwendbar sein werden (dazu müssen alle europäischen Bemessungsnormen einschließlich der zitierten Normen und der nationalen Anhänge vorliegen), kann in Deutschland im Regelfall die Bemessung nur nach den rein nationalen Bemessungsnormen zusammen mit DIN 4102-4 erfolgen.

Auch heute ist es in Sonderfällen schon möglich, eine Gesamtbemessung auf Basis der Eurocode-Vornormen (zusammen mit den veröffentlichten nationalen Anwendungsdokumenten) vorzunehmen. Die „heißen Eurocodes“ (als Vornormen) wurden alle in die Musterliste der technischen Baubestimmungen aufgenommen.

Nach einer festzulegenden Übergangszeit, während der sowohl nach den dann vorliegenden Eurocode-Normen (im Gesamtpaket) als auch nach dem rein nationalen Bemessungspaket (zusammen mit DIN 4102-4) in Deutschland bemessen werden darf, soll die Bemessung in Deutschland (und entsprechend in den anderen Mitgliedsländern der EU) nur noch auf Basis der Eurocode-Normen erlaubt werden.

DIN 4102-4 wird auch weiterhin erforderlich sein, da die „heißen Eurocodes“ insbesondere für raumabschließende tragende Bauteile kein abschließendes Bewertungskonzept enthalten.

DIN 4102-4 ist in unterschiedlicher Benennung seit ca. 70 Jahren in Deutschland anwendbar und hat weit über die nationalen Grenzen hinaus einen hohen Grad an Anerkennung gefunden. Dies lag nicht zuletzt an ihrer besonderen Anwenderfreundlichkeit, die eine Benutzung ohne vertiefte Ingenieurkenntnisse ermöglicht.

Nur die Eurocodes erlauben jedoch genauere und damit aufwändigere rechnerische Nachweise für Bauteile und Gesamttragwerke bei standardisierter oder natürlicher Brandbeanspruchung.

LITERATUR

- [1] Hosser, D. (Hrsg.): Brandschutz in Europa – Bemessung nach Eurocodes; Erläuterungen und Anwendungen zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 1 bis 6, Beuth Verlag (Beuth-Kommentare)
- [2] DIN-Taschenbuch „Bauen in Europa“ – Brandschutzbemessung – Eurocode 1 bis 6 und 9; Normen und Nationale Anwendungsdokumente (NAD), Beuth Verlag GmbH • Berlin • Wien • Zürich
- [3] Materialsammlung Vorbeugender Brandschutz – Bemessung, Planung, Prüfverfahren und Rechtsvorschriften (Loseblattwerk), Beuth Verlag GmbH • Berlin • Wien • Zürich ISBN 3-410-15459-0

- [4] DIN 4102-4, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4
Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und
Sonderbauteile
- [5] Leitpapier L: Anwendung der Eurocodes (betreffend die Bauproduktenricht-
linie – 89/106/EWG) siehe:
<http://europa.eu.int/comm/enterprise/construction/internal/guidpap/l.htm>
- [6] DIN 18180, Gipsplatten - Arten und Anforderungen
- [7] DIN 1045-1, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1:
Bemessung und Konstruktion
- [8] DIN 4102-22, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 22:
Anwendungsnorm zu DIN 4102-4
- [9] DIN EN 520, Gipsplatten - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren;
Deutsche Fassung EN 520:2004

BRANDSCHUTZBEMESSUNG VON SCHLANKEN STAHLBETONSTÜTZEN – VERGLEICH DIN 4102 TEIL 4 UND TEIL 22 MIT EUROCODE 2-1-2

Ekkehard Richter

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig

EINLEITUNG

Für die brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonstützen werden in DIN 4102 Teil 4 und Teil 22 [1] sowie im Eurocode 2 Teil 1-2 (EN 1992-1-2) [2] sehr ähnliche Bemessungshilfen zur Verfügung gestellt. In beiden Normen ist eine Tabelle vorhanden, in der die Mindestquerschnittsabmessungen und der erforderliche Achsabstand der Längsbewehrung in Abhängigkeit von der Feuerwiderstandsdauer und der Lastausnutzung angegeben sind. Im Eurocode 2-1-2 wird zusätzlich eine Gleichung zur Berechnung der Feuerwiderstandsdauer bereitgestellt. Die Randbedingungen für die Anwendung der Tabellen und der Gleichung sind in der DIN- und der EC-Norm identisch, wobei für den Eurocode die Angaben im Nationalen Anhang zu EN 1992-1-2 beachtet werden müssen. Bei der tabellarischen Bemessung nach DIN ist im Folgenden die gegenüber DIN 4102 Teil 4 überarbeitete Tabelle 31 aus der Musterliste der Technischen Baubestimmungen, Fassung 2006 [3] in der erweiterten Form aus der Veröffentlichung [4] gemeint. Sie wurde von der zuständigen Fachkommission Bautechnik geprüft und wird in Kürze in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen werden. In diesem Beitrag wird die erweiterte Tabelle 31 vereinfachend als Tabelle 31 (DIN 4102-22) bezeichnet.

Die Umstellung von der DIN auf den Eurocode wird bei der tabellarischen brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen keine Schwierigkeiten bereiten. Interessant ist aber die Frage, ob die „neuen“ Bemessungsverfahren der EN 1992-1-2, das vereinfachte und das allgemeine Rechenverfahren zu ähnlichen Ergebnissen wie bei der Bemessung mit der Tabelle bzw. der Gleichung führen. Für die beiden Nachweisverfahren sind in der EN 1992-1-2 im Wesentlichen die Grundlagen zusammengestellt.

In diesem Beitrag wird die brandschutztechnische Bemessung einer hochbautypischen Stahlbetonstütze mit der erweiterten Tabelle der DIN 4102-22 sowie der Tabelle und der Bemessungsgleichung aus der EN 1992-1-2 gezeigt. Anschließend wird die Anwendung der beiden rechnerischen Nachweisverfahren aus der EN 1992-1-2 demonstriert. Im Zusammenhang mit der EN 1992-1-2 werden die national festzulegenden Parameter (National Determined Parameter NDP) aus dem Entwurf des Nationalen Anhangs zu EN 1992-1-2 berücksichtigt. Über die Vorgehensweise bei der Festlegung der nationalen Parameter sowie den Zeitplan zur Verabschiedung des Nationalen Anhangs berichtet Hosser in [5].

VEREINFACHTES RECHENVERFAHREN NACH EN 1992-1-2

Das vereinfachte Rechenverfahren wird in der EN 1992-1-2, Abschnitt 4.2.1 für den brandschutztechnischen Nachweis von schlanken Stützen unter Normbrandbeanspruchung empfohlen. Das Rechenverfahren basiert auf einem von der Branddauer abhängig verkleinerten Betonquerschnitt und auf temperaturabhängig reduzierten Baustoffeigenschaften. Durch die Verkleinerung des Betonquerschnitts werden die äußeren, dem Brand direkt ausgesetzten und im Wesentlichen zermürbten Betonbereiche von der Tragfähigkeitsermittlung ausgeschlossen, während die reduzierten Baustoffeigenschaften die temperaturabhängige Trag- und Verformungsfähigkeit des Restquerschnitts berücksichtigt.

Im Einzelnen müssen folgende Bemessungsschritte durchgeführt werden:

- Berechnung der temperaturabhängigen Verkleinerung des Betonquerschnitts um das Maß a_z mit Hilfe der im EN 1992-1-2 angegebenen Gleichungen oder mit Hilfe von Diagrammen (Bild 1).
- Ermittlung der temperaturabhängigen Reduktionsfaktoren für Beton $k_c(\Theta)$ (Bild 2) und Bewehrung $k_s(\Theta)$ (Bild 3).
- Nachweis der Tragfähigkeit des Bauteils $R_{fi,d,t}$ mit dem Restquerschnitt analog zum Nachweis für Normaltemperatur nach EN 1992-1-1 [6] für die maßgebenden Lasteinwirkungen $E_{fi,d,t}$ nach Eurocode 1 Teil 1-2.

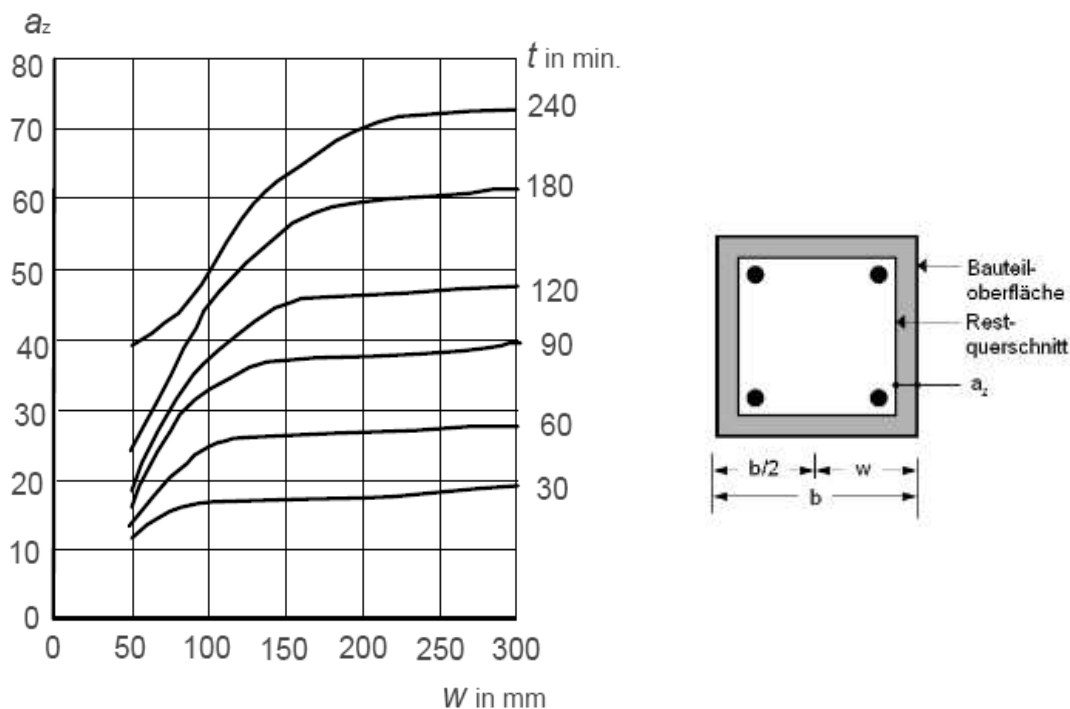


Bild 1 Verkleinerung des Betonquerschnitts von Stützen um das Maß a_z und Restquerschnitt einer 4-seitig brandbeanspruchten Stahlbetonstütze

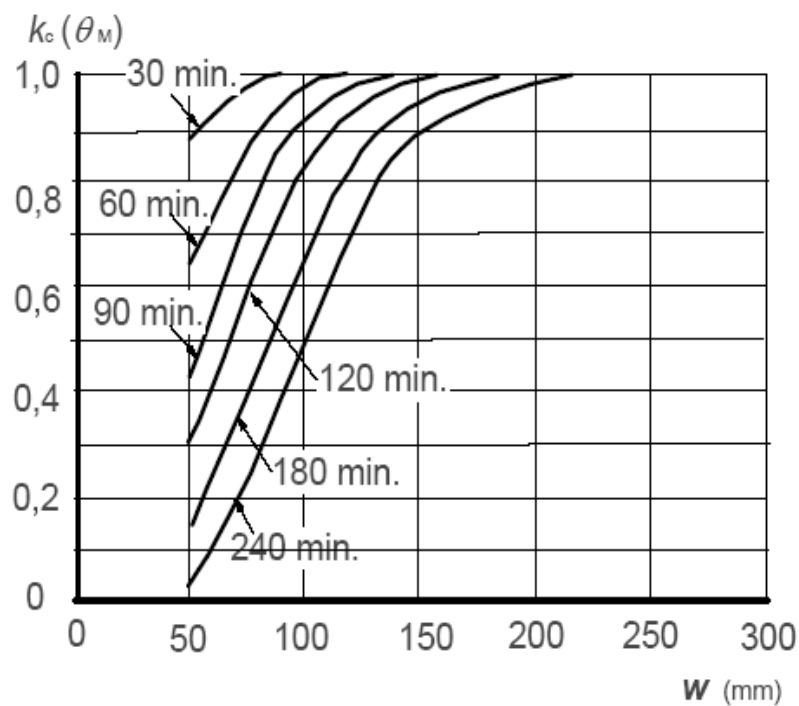


Bild 2 Temperaturabhängige Reduktionsfaktoren für die charakteristische Druckfestigkeit von Beton $k_c(\theta)$

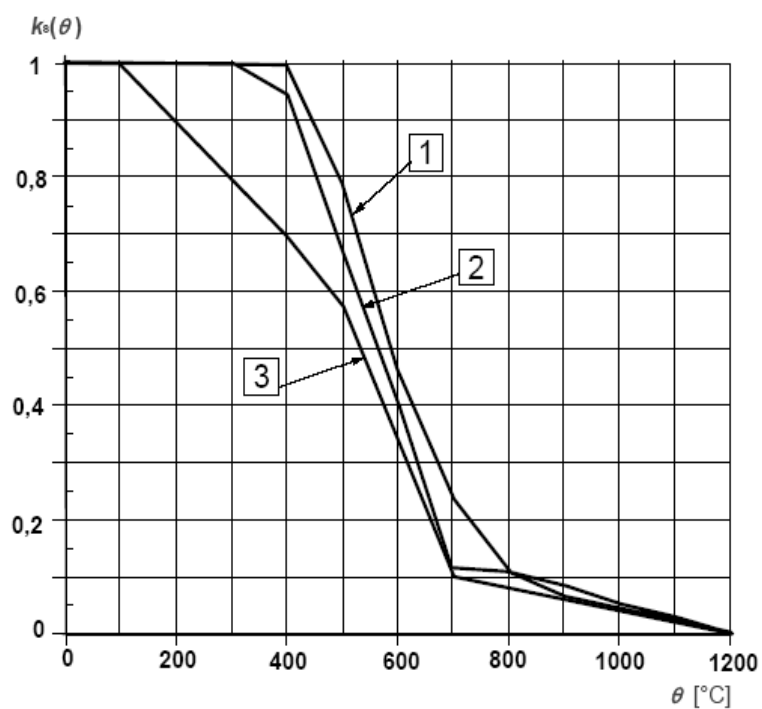


Bild 3 Temperaturabhängige Reduktionsfaktoren für die charakteristische Festigkeit von Zug- und Druckbewehrung $k_s(\theta)$ (naturharter (Kurve 1) und kalt verformter (Kurve 2) Betonstahl mit $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$ und mit $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ (Kurve 3))

ALLGEMEINES RECHENVERFAHREN NACH EN 1992-1-2

Allgemeines

Die allgemeinen Rechenverfahren dienen zur numerischen Simulation des Trag- und Verformungsverhalten brandbeanspruchter Einzelbauteile, Teil- und Gesamttragwerke mit beliebiger Querschnittsart und -form bei voller oder lokaler Temperaturbeanspruchung. Sie erfordern im Vergleich zum tabellari-schen Nachweis und zum vereinfachten Rechenverfahren den größten Auf-wand, da in der Regel eine thermische Analyse zur Ermittlung der Bauteiltem-peraturen und anschließend eine mechanische Analyse zur Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens durchgeführt werden muss. Für den Nach-weis werden Rechengrundlagen zur Ermittlung der Temperatur- und Lasteinwir-kungen benötigt, die in EN 1991-1-2 [7] geregelt sind. Weiterhin werden An-gaben über die temperaturabhängige Veränderung der thermo-mechanischen Eigenschaften der Baustoffe (Wärmeleitfähigkeit, Festigkeit, thermische Deh-nung, usw.) benötigt. Für Stahlbetonbauteile sind dazu detaillierte Angaben in EN 1992-1-2 enthalten, die im vorliegenden Beitrag nur verkürzt dargestellt werden.

Der brandschutztechnische Nachweis wird in der Regel unterteilt in eine thermi-sche und eine mechanische Analyse.

- Im Rahmen der thermischen Analyse werden die Temperaturen im Bauteil-querschnitt berechnet. Dabei wird von den Heißgastemperaturen im Brand-raum ausgegangen, die als thermische Einwirkungen nach EN 1991-1-2 vor-gegeben werden. Bei der Berechnung der Temperaturen im Bauteilquer-schnitt müssen die temperaturabhängigen thermischen Materialkennwerte des Bauteilquerschnitts und – sofern vorhanden – der Schutzschichten be-rücksichtigt werden.
- Im Rahmen der mechanischen Analyse werden das Trag- und ggf. auch das Verformungsverhalten der brandbeanspruchten Bauteile oder Tragwerke be-rechnet. Dabei müssen auf der Einwirkungsseite die Einflüsse aus der Be-lastung, behinderten thermischen Verformungen (Zwangkräfte und –mo-mente) sowie gegebenenfalls aus nichtlinearen geometrischen Einflüssen berücksichtigt werden. Auf der Widerstandsseite gehen die temperaturab-hängigen thermo-mechanischen Eigenschaften der Baustoffe und die ther-mischen Dehnungen ein. Das Tragverhalten nach dem Abkühlen des Trag-werks, die sog. Resttragfähigkeit im wieder erkalteten Zustand wird in der Regel nicht betrachtet.

Thermische Analyse

Ausgehend von dem nach EN 1991-1-2 ermittelten Zeitverlauf der Heißgastem-peraturen werden die thermischen Einwirkungen auf Bauteile ermittelt (siehe hierzu auch [5]). In diesem Beitrag wird als Heißgastemperaturverlauf nur die Einheitstemperaturzeitkurve betrachtet. Hierfür wird der Netto-Wärmestrom in

die Bauteiloberfläche mit dem Wärmeübergangskoeffizienten für Konvektion $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ aus EN 1991-1-2 und der Emissivität $\varepsilon_m = 0,7$ aus EN 1992-1-2 berechnet.

Grundlage für die Berechnung der Temperaturverteilung in Bauteilen ist die Differentialgleichung von Fourier (Gl. (1)) zur Beschreibung der instationären Wärmeleitung in Festkörpern. Dabei wird vorausgesetzt, dass keine Wärmequellen oder -senken im Körperinneren vorhanden sind.

$$\frac{\delta T}{\delta t} = a \cdot \left(\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \right) \quad (1)$$

mit

T	Temperatur [K]
t	Zeit [s]
a	$= \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ Temperaturleitzahl [m^2/s]
λ	Wärmeleitfähigkeit [$\text{W}/(\text{mK})$]
ρ	Rohdichte [kg/m^3]
c_p	spezifische Wärme [$\text{J}/(\text{kgK})$]
x, y, z	Raumkoordinaten [m].

Eine analytische Lösung für Gl. (1) lässt sich nur für den Sonderfall eines homogenen und isotropen Körpers mit eindimensionalem Wärmestrom und temperaturunabhängigen thermischen Materialeigenschaften finden. Zur Berechnung der Temperaturverteilung innerhalb brandbeanspruchter Bauteile aus Beton und Stahl müssen die temperaturabhängigen thermischen Materialeigenschaften Wärmeleitfähigkeit λ , spezifische Wärme c_p und Rohdichte ρ berücksichtigt werden. Damit ist die Zielgröße der Berechnung, die Temperatur, von temperaturabhängigen Eingangsparametern abhängig. Zur Lösung werden numerische Methoden wie die Finite Element Methode (FEM) oder die Methode der Finiten Differenzen mit Integrationsverfahren über die Zeitschritte eingesetzt. Für baupraktische Fälle werden dabei folgende Vereinfachungen getroffen:

- Die Temperaturousbreitung in Bauteillängsrichtung wird vernachlässigt. In stabförmigen Bauteilen wird die Temperaturousbreitung nur in der Querschnittsfläche (zweidimensional) und in flächigen Bauteilen nur über die Querschnittsdicke (eindimensional) berechnet.
- Wasserdampfbewegungen werden nicht erfasst.
- Beim Beton wird der Energieverbrauch für das Verdampfen von Wasser und sonstige Energie verzehrende Vorgänge über die Wahl des Rechenwerts für

die spezifische Wärmekapazität des Betons im Temperaturbereich 100 - 200 °C berücksichtigt (Bild 4).

- Beton wird bezüglich seiner thermischen Materialeigenschaften als homogener Baustoff angesehen. Das heterogene Gefüge, Kapillarporen und Risse werden pauschal in den thermischen Materialgesetzen erfasst.

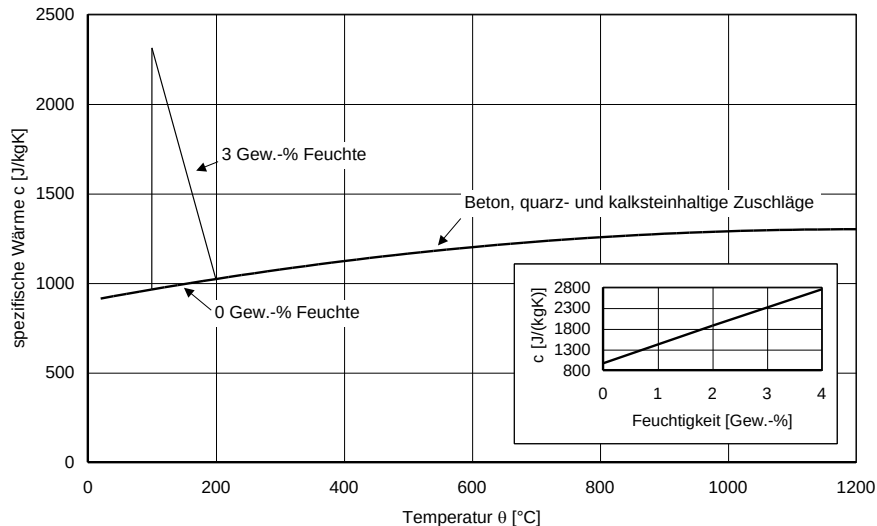


Bild 4 Rechenwerte der temperaturabhängigen spezifischen Wärmekapazität von Beton

Mechanische Analyse

Die Einwirkungen im Brandfall ergeben sich nach den Kombinationsregeln in EN 1990 [8] zu

$$E_{d,fi,t} = \sum \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \sum A_d(t) \quad (2)$$

mit

G_k	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
$Q_{k,1}$	charakteristischer Wert der dominierenden veränderlichen Einwirkung
$Q_{k,i}$	charakteristischer Wert weiterer veränderlicher Einwirkungen
$A_d(t)$	Bemessungswert der indirekten Einwirkungen
γ_{GA}	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen (= 1,0)
$\psi_{1,1}, \psi_{2,i}$	Kombinationsbeiwerte nach EN 1990 bzw. dem zugehörigen Nationalen Anhang

oder direkt aus den Einwirkungen bei Normaltemperatur nach Gl. (3):

$$E_{d,fi,t} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (3)$$

mit

E_d Bemessungswert der Einwirkungen nach EN 1991-1-1 mit Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_G für ständige und γ_Q für veränderliche Einwirkungen

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \cdot \xi}{\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi} \quad (4)$$

Reduktionsfaktor, abhängig vom Verhältnis der dominierenden veränderlichen Einwirkung zur ständigen Einwirkung $\xi = Q_{k,1}/G_k$.

Ohne genauen Nachweis darf für Betonbauteile der Reduktionsfaktor $\eta_{fi} = 0,7$ genommen werden.

Grundlage der brandschutztechnischen Bauteil- und Tragwerksanalyse sind die temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungslinien und thermischen Dehnungen der Baustoffe. Exemplarisch sind in Bild 5 temperaturabhängige Spannungs-Dehnungslinien für Beton mit überwiegend quarzhaltigen Zuschlägen und in Bild 6 für kalt verformten Betonstahl (BSt 500 S) wiedergegeben. Bild 7 zeigt die thermischen Dehnungen für Beton, Betonstahl, Spannstahl und Bau-
stahl.

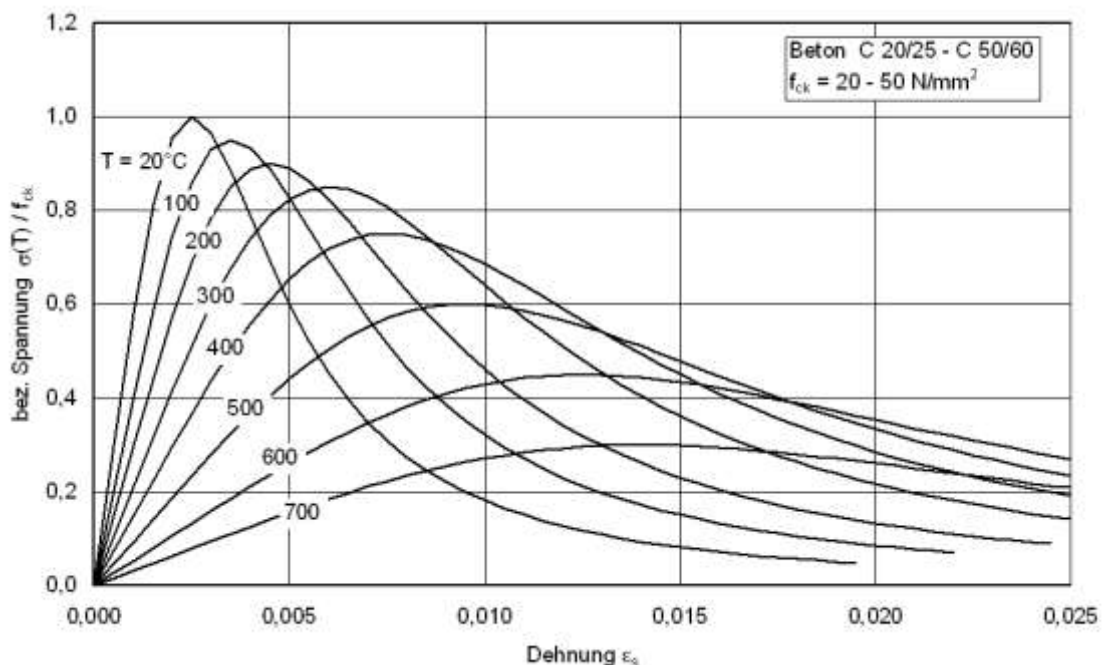


Bild 5 Temperaturabhängige Spannungs-Dehnungslinien von Beton mit überwiegend quarzhaltigen Zuschlägen

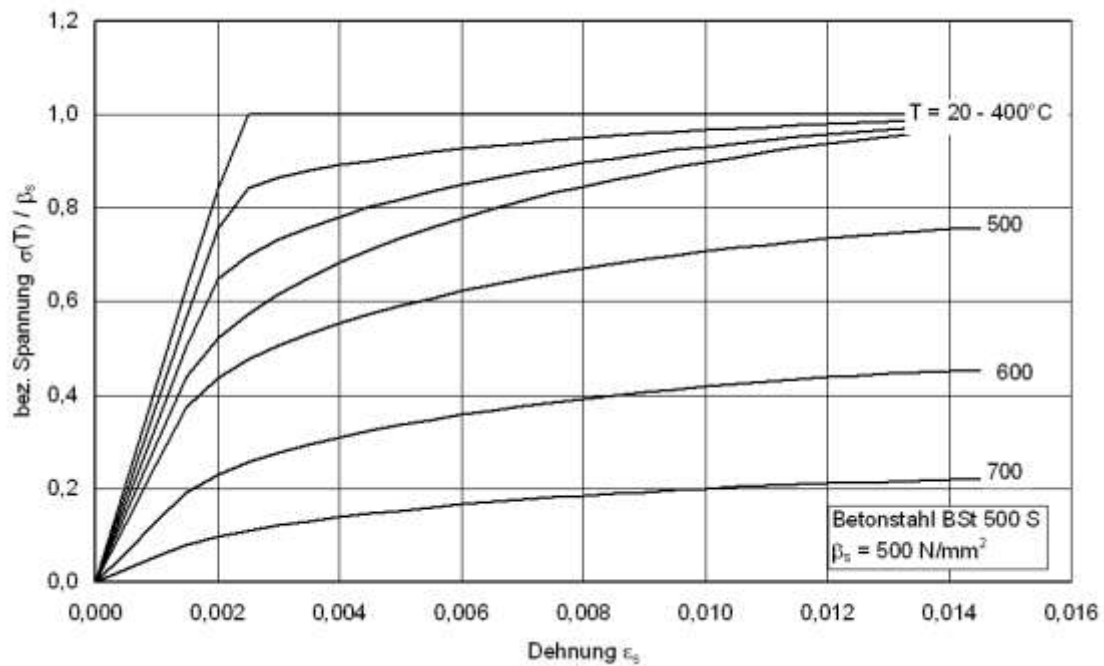


Bild 6 Temperaturabhängige Spannungs-Dehnungslinien von kalt verformten Betonstahl (BSt 500 S)

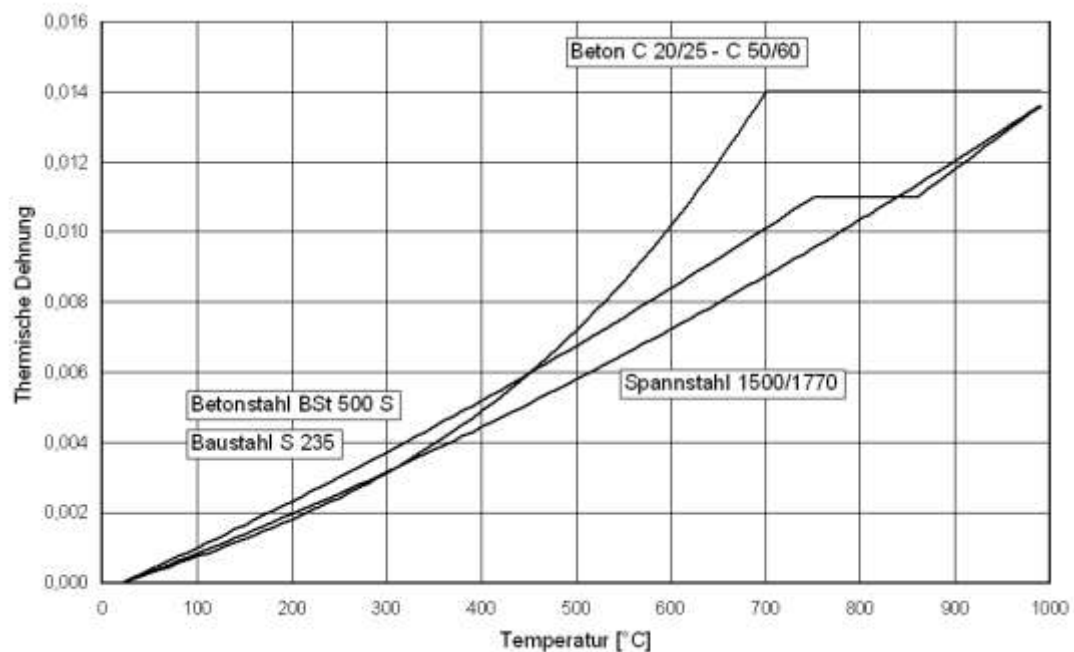


Bild 7 Thermische Dehnungen von Beton, Betonstahl, Spannstahl und Baustahl

In EN 1992-1-2, Abschnitt 3 sind alle wesentlichen Informationen zur temperaturabhängigen Veränderung der mechanischen Baustoffwerte enthalten. Zur numerischen Beschreibung temperaturabhängiger Spannungs-Dehnungslinien und der thermischen Dehnungen sind Gleichungen angegeben. Eingangswerte

für die Berechnung der temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungslinien sind die charakteristischen Werte der maßgebenden Festigkeiten f_{ck} und f_{yk} , beim Spannstahl wegen des Fehlens einer ausgeprägten Streckgrenze der Wert $0,9 \cdot f_{pk}$.

BEISPIEL HOCHBAU-INNENSTÜTZE

Bemessung nach DIN 4102 Teil 22

In [4] wird die brandschutztechnische Bemessung einer unbekleideten Hochbau-Innenstütze im Zwischengeschoss eines durch Wand- und Deckenscheiben ausgesteiften, dreigeschossigen Skelettbaus gezeigt (Bild 8). Das Gebäude wird als Bürogebäude (Kombinationsbeiwert für Nutzlasten $\psi_{1,1} = 0,5$) genutzt. Weitere Einzelheiten zur Bemessung und Konstruktion können [9] entnommen werden.

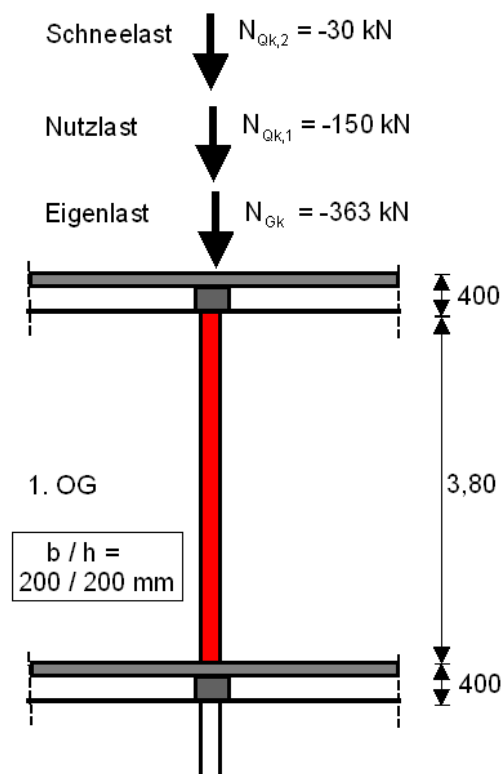


Bild 8 Statisches System und Belastung der Hochbau-Innenstütze

Die Stütze mit der Ersatzlänge $l_{col} = 4,2$ m und den Querschnittsabmessungen $h = b = 200$ mm soll aus Beton der Festigkeitsklasse C 30/37 und Betonstahl BSt 500 S (A) hergestellt werden. Im Kaltzustand wurde die Stütze für die Einwirkungskombination

$$N_{Ed} = -[1,35 \cdot 363 + 1,5 \cdot (150 + 0,5 \cdot 30)] = -738 \text{ kN}$$

mit der Bewehrung 4 $\varnothing$ 20 mm ($A_s = 12,57 \text{ cm}^2$) und dem Achsabstand $u = 40 \text{ mm}$ bemessen.

Mit der Kombinationsregel für die außergewöhnliche Bemessungssituation, Gl. (2), werden die mechanischen Einwirkungen im Brandfall

$$N_{fi,d,t} = -[1,0 \cdot 363 + 0,5 \cdot 150 + 0] = -438 \text{ kN}$$

Der Ausnutzungsfaktor α_1 ergibt sich

- beim Nachweis mit dem e/h -Diagramm aus [10] für $A_s = 12,57 \text{ cm}^2$ und $e_1/h = 0,05$ durch Ablesen von $\nu_{Rd} \approx -0,96$, Berechnen von $N_{Rd} \approx -0,96 \cdot 0,20^2 \cdot 20 = -768 \text{ kN}$ zu $\alpha_1 = N_{fi,d,t} / N_{Rd} = -438 / -768 \approx 0,6$,
- beim Nachweis nach DIN 1045-1, Abs. 8.6.1 [11] durch Berechnung des Bemessungswertes des Bauteilwiderstandes N_{Rd} mit nichtlinearen Verfahren und Berücksichtigung unterschiedlicher Werkstoffgesetze für die Querschnittsbemessung und die Verformungsberechnung mit $N_{Rd} = -884 \text{ kN}$ zu $\alpha_1 = -438 / -884 = 0,5$.

Für den Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,5$ und die Feuerwiderstandsklasse R 60 werden die Mindestquerschnittsabmessungen aus Tabelle 1 für die Stützenlänge $l_{col} = 4,2 \text{ m}$ durch lineare Interpolation ermittelt:

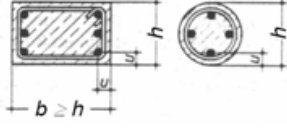
min $l_{col} = 2 \text{ m}$	erf $h_{min} = 160 \text{ mm}$	↓	erf $u_{min} = 34 \text{ mm}$	↓
vorh $l_{col} = 4,2 \text{ m}$	erf $h_{min} = 171 \text{ mm}$		erf $u_{min} = 36 \text{ mm}$	
max $l_{col} = 6 \text{ m}$	erf $h_{min} = 180 \text{ mm}$	↑	erf $u_{min} = 37 \text{ mm}$	↑

Mit

$$\text{erf } h_{min} = 171 \text{ mm} < \text{vorh } h = 200 \text{ mm} \text{ und } \text{erf } u_{min} = 36 \text{ mm} < \text{vorh } u = 40 \text{ mm}$$

kann die Hochbau-Innenstütze ohne Zusatzmaßnahmen in die Feuerwiderstandsklasse R 60 eingestuft werden.

Tabelle 1 *Erweiterte Tabelle 31 zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen nach DIN 4102 Teil 22 (aus [4])*

Zeile	Konstruktionsmerkmale 	Feuerwiderstandsklasse – Benennung				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
1	Mindestquerschnittsabmessungen unbeladeter Stahlbetonstützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung					
1.1	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,2$ Länge der Stütze min l_{col}					
1.1.1	Mindestdicke h in mm	120	120	150	180	240
1.1.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	34	37	34
1.1.3	Länge der Stütze max l_{col}					
1.1.3.1	Mindestdicke h in mm	120	120	180	240	290
1.1.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	37	34	40
1.2	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,5$ Länge der Stütze min l_{col}					
1.2.1	Mindestdicke h in mm	120	160	200	260	350
1.2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	34	46	40
1.2.3	Länge der Stütze max l_{col}					
1.2.3.1	Mindestdicke h in mm	120	180	270	300	400
1.2.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	34	40	46
1.3	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$ Länge der Stütze min l_{col}					
1.3.1	Mindestdicke h in mm	120	190	250	320	440
1.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	37	40	46
1.3.3	Länge der Stütze max l_{col}					
1.3.3.1	Mindestdicke h in mm	120	250	320	360	490
1.3.3.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	37	40	46	46
2	Mindestquerschnittsabmessungen unbeladeter Stahlbetonstützen bei 1-seitiger Brandbeanspruchung					
2.1	Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$ Mindestdicke h in mm	120	120	190	200	220
2.2	zugehöriger Mindestachsabstand u in mm	34	34	34	34	37

Bemessung nach EN 1992-1-2

Die brandschutztechnische Bemessung der Hochbau-Innenstütze wird nach EN 1992-1-2 vereinfachend mit den gleichen Einwirkungen wie beim Nachweis nach DIN 4102 Teil 22 geführt. In der Praxis muss darauf geachtet werden, dass die Bemessungsregeln für die Gebrauchslastfälle und für den Brandfall aus der gleichen Normenfamilie (DIN oder Eurocode) stammen (Mischungsverbot).

Die EN 1992-1-2, Abschnitt 5.3.2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang wird für die brandschutztechnische Bemessung von Stahlbetonsstützen zwei Verfahren anbieten:

- tabellarische Ermittlung der Mindestquerschnittsabmessungen und Achsabstände von Stützen mit Rechteck- oder Kreisquerschnitt (Tabelle 3)
- Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer mit Hilfe einer Gleichung (Gl. (5)).

Die beiden Nachweisverfahren basieren auf der Auswertung von annähernd 100 Brandversuchen in Belgien, Kanada und Deutschland. Aus den Brandversuchen ergeben sich die in Tabelle 2 zusammengestellten Randbedingungen und Anwendungsbereiche der beiden Nachweisverfahren.

Tabelle 2 Randbedingungen und Anwendungsbereich der Nachweisverfahren für Stahlbetonsstützen in EN 1992-1-2

	Anwendungsbereich
Gebäudeart	ausgesteift
Lastausnutzungsfaktor	$0,2 \leq \mu_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd} \leq 0,7$
Abmessung b_{min} [mm]	$200 \leq b_{min}^{1)} \leq 450$
Achsabstand a [mm]	$25 \leq a \leq 75 (80)^{2)}$
Lastausmitte	$e_1 \leq e_{max} = 0,15 \cdot h$
Ersatzlänge im Brand	$l_{0,fi} \leq 3,0 \text{ m}$
Bewehrungsgrad	$\rho < 0,04$

¹⁾ Gl. (5): $b_{min} = b' = 2 \cdot A_c / (b + h)$ ²⁾ (..) – Wert für Gl. (5)

Für das Beispiel der Hallen-Innenstütze sind die Randbedingungen der Tabelle 2 erfüllt, so dass die Stütze nach beiden Verfahren der EN 1992-1-2 brandschutztechnisch bemessen werden kann.

Aus der Tabelle 3 werden für den Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,5$ und die Feuerwiderstandsklasse R 60 die Mindestquerschnittsabmessungen durch Interpolation ermittelt:

erf $h_{min} = 200 \text{ mm} = \text{vorh } h = 200 \text{ mm}$ und erf $a_{min} = 36 \text{ mm} < \text{vorh } a = 40 \text{ mm}$.

Die Hochbau-Innenstütze kann ohne Zusatzmaßnahmen in die Feuerwiderstandsklasse R 60 eingestuft werden. Die tabellarische Bemessung der Hochbau-Innenstütze nach DIN 4102 Teil 22 und nach EN 1992-1-2 bringt das gleiche Ergebnis, in beiden Fällen kann die Stütze in die Feuerwiderstandsklasse R 60 eingestuft werden.

Tabelle 3 Tabelle 5.2a aus EN 1992-1-2 zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen mit Rechteck- und Kreisquerschnitt

Feuerwiderstands- klasse	Mindestmaße [mm]			
	Stützenbreite $b_{\min}$ / Achsabstand a			
	brandbeansprucht auf mehr als einer Seite			brandbean- sprucht auf einer Seite
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70
** mindestens 8 Stäbe				

Mit der empirischen Gleichung (5) wird die Feuerwiderstandsdauer R der Stahlbetonstütze in Abhängigkeit von der Lastausnutzung ($R_{\eta fi}$), des Achsabstandes (R_a), der Ersatzlänge im Brandfall (R_l), der Abmessungen des Betonquerschnitts (R_b) und der Bewehrungsmenge (R_n) ermittelt:

$$R = 120 \cdot [(R_{\eta fi} + R_a + R_l + R_b + R_n) / 120]^{1,8} \quad (5)$$

mit

$$R_{\eta fi} = 83 \cdot [1,0 - \mu_{fi} \cdot (1 + \omega) / (0,85 / \alpha_{cc} + \omega)] \quad \text{mit } \alpha_{cc} = 1,0$$

$$\omega = (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd}) = (1257 \cdot 500 / 1,15) / (200^2 \cdot 1,0 \cdot 30 / 1,5) = 0,683$$

$$R_{\eta fi} = 83 \cdot [1,0 - 0,5 \cdot (1 + 0,683) / (0,85 + 0,683)] = 37,4$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30) = 1,60 \cdot (40 - 30) = 16$$

$$R_l = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}) = 9,60 \cdot (5 - 0,5 \cdot 4,20) = 27,84$$

In ausgesteiften Gebäuden darf für Stützen in innenliegenden Geschossen die Ersatzlänge im Brand $l_{0,fi} = 0,5 \cdot l$ gesetzt werden

$$R_b = 0,09 \cdot b' = 0,09 \cdot (2 \cdot 200^2) / (200 + 200) = 18$$

$R_n = 0$ für $n = 4$ Bewehrungsstäbe

$$R = 120 \cdot [(37,4 + 16 + 27,84 + 18 + 0)/120]^{1,8} = 85,2 \text{ min}$$

Die mit Gl. (5) berechnete Feuerwiderstandsdauer bestätigt die Ergebnisse der tabellarischen Bemessungen der Hochbau-Innenstütze nach DIN 4102 Teil 22 und EN 1992-1-2: für $h = 200 \text{ mm}$ und $a = 40 \text{ mm}$ sowie dem Lastausnutzungsfaktor $\mu_{fi} = 0,5$ ergibt sich die Feuerwiderstandsdauer $t = 85 \text{ min}$ und somit eine Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse R 60.

Nachweis mit dem vereinfachten Rechenverfahren der EN 1992-1-2

Die Hochbau-Innenstütze soll für die Feuerwiderstandsdauer R 60 nachgewiesen werden. Für den Querschnittsparameter

$$w = h / 2 = 200 / 2 = 100 \text{ mm}$$

wird aus Bild 1 die Dicke des geschädigten Betonquerschnitts

$$a_z = 26 \text{ mm}$$

und aus Bild 2 der Reduktionsfaktor für die Betondruckfestigkeit

$$k_c(\Theta_M) = 0,98$$

abgelesen. Die Temperatur in der Bewehrung kann aus der Literatur entnommen werden. In [12] wird im Diagramm 8.3.1.1 für einen vierseitig brandbeanspruchten Stahlbetonquerschnitt mit den Abmessungen $h = b = 200 \text{ mm}$ und dem Achsabstand $a = 40 \text{ mm}$ nach 60 Minuten Brandbeanspruchung die Temperatur mit $\Theta_s \approx 495 \text{ °C}$ angegeben; dafür wird nach Bild 3, Kurve 3 der Reduktionsfaktor für die Festigkeit der Bewehrung

$$k_s(495\text{°C}) = 0,58.$$

Für den verkleinerten Betonquerschnitt

$$h' = b' = 200 - 2 \cdot 26 = 148 \text{ mm}$$

und die reduzierten Festigkeiten von Beton und Bewehrung

$$f_{c,fi,d} = k_c(\Theta_M) \cdot f_{ck} + 8 = 0,98 \cdot 30 + 8 = 37,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (Verformungsberechnung)}$$

$$f_{c,fi,d} = k_c(\Theta_M) \cdot f_{ck} = 0,98 \cdot 30 = 29,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (Querschnittsberechnung)}$$

$$f_{y,fi,d} = k_s(\Theta_s) \cdot f_{yk} = 0,58 \cdot 500 = 290 \text{ N/mm}^2$$

wird in Anlehnung an DIN 1045-1, Abs. 8.6.1 der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes $N_{R,fi,d,t} = -550 \text{ kN}$ berechnet (Bild 9). Für die Berechnung der Querschnittstragfähigkeit und der Einwirkungen nach Theorie 2. Ordnung wurde

ein praxisübliches Rechenprogramm verwendet, in das die temperaturabhängig reduzierten Festigkeiten der Baustoffe eingelesen wurden. Mit dem Bemessungswert des Bauteilwiderstandes $N_{R,fi,d,t} = -550 \text{ kN}$ ist der Nachweis

$$|N_{R,fi,d,t} = -550 \text{ kN}| > |N_{E,fi,d,t} = -438 \text{ kN}|$$

für die Einstufung der Hochbau-Innenstütze in die Feuerwiderstandsklasse R 60 erfüllt.

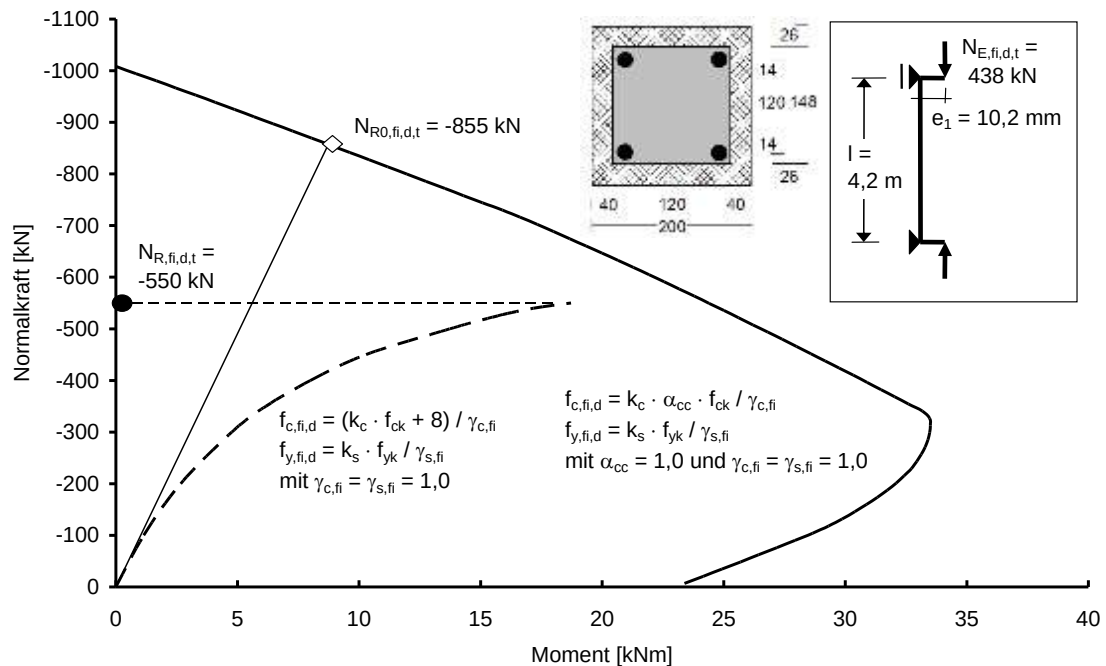


Bild 9 Nachweis der Feuerwiderstandsklasse R 60 für die Hochbau-Innenstütze durch Berechnung des Bauteilwiderstandes $N_{R,fi,d,t}$ mit dem vereinfachten Rechenverfahren der EN 1992-1-2

Bild 9 zeigt die Vergrößerung der Einwirkungen infolge der Verformungen nach Theorie 2. Ordnung. Diese ist vergleichsweise groß und dementsprechend ist auch die durch die Verformungsmomente bedingte Tragfähigkeitsminderung gegenüber der Querschnittstragfähigkeit groß, sie beträgt $(-855 + 550)/(-855) \approx 36 \%$.

Alternativ kann der Nachweis der Feuerwiderstandsklasse R 60 für die Hochbau-Innenstütze auch nach dem Verfahren mit Nenn-Krümmungen der EN 1992-1-1, Abs. 5.8.8 (Modellstützenverfahren) durch Vergleich der Moment/Krümmungslinie und des einwirkenden Momentes (Bild 10) geführt werden.

Das einwirkende Moment

$$M_{E,fi,d,t} = M_{0E,fi,d,t} + M_{2,fi}$$

ist die Summe aus dem Moment nach Theorie 1. Ordnung

$$M_{0E,fi,d,t} = N_{E,fi,d,t} \cdot e_1 = |-438| \cdot 0,0102 = 4,47 \text{ kNm}$$

und dem Zusatzmoment nach Theorie 2. Ordnung

$$M_{2,fi} = N_{E,fi,d,t} \cdot (1/r) \cdot (1/c) \cdot l_0^2$$

Die Gleichung für das einwirkende Moment $M_{E,fi,d,t}$ stellt eine Gerade mit dem Abszissenabschnitt $M_{0E,fi,d,t}$ und dem Anstieg $M_{2,fi}$ im Moment/Krümmungsdiagramm (Bild 10) dar.

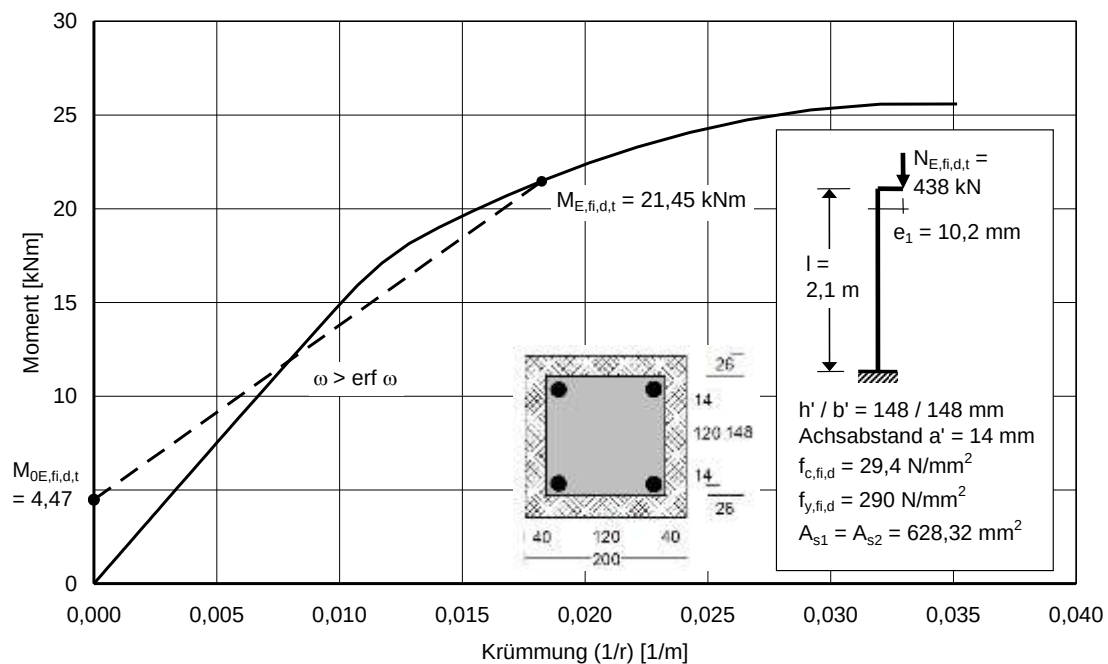


Bild 10 Nachweis der Feuerwiderstandsklasse R 60 für die Hochbau-Innenstütze mit dem vereinfachten Rechenverfahren der EN 1992-1-2 und dem Modellstützenverfahren

Die Größe des Beiwertes c hängt vom Krümmungsverlauf entlang der Stabachse ab. Bei der Bemessung für Normaltemperatur wird häufig ein parabelförmiger ($c = 48/5 \approx 10$) oder sinusförmiger Krümmungsverlauf ($c = \pi^2 \approx 10$) angenommen. Wenn das Moment nach Theorie 1. Ordnung konstant ist, soll nach [6] ein niedrigerer Wert geprüft werden. In einem Forschungsvorhaben des iBMB [13] wird der Krümmungsverlauf von brandbeanspruchten schlanken Stahlbetonstützen untersucht. Erste Ergebnisse für vier- und dreiseitig brandbeanspruchte Stahlbetonstützen mit der Schlankheit $\lambda = 50$ und $\lambda = 100$ sowie der Ausmitte $0,1 \leq e_1/h \leq 1,0$ deuten auf Werte $9 < c < 10$, für die vorliegende Stütze wurde $c = 9,67$ ermittelt. Damit schneidet die Gerade des einwirkenden Momentes die Moment/Krümmungslinie, die das innere Moment wiedergibt. Dieser Fall bedeutet, dass das einwirkende Moment langsamer anwächst als das innere Moment oder anders ausgedrückt, die vorhandene Bewehrung

größer ist als der erforderliche Bewehrung. Mit $\omega > \omega_{\text{erf}}$ ist der Nachweis für die Einstufung der Innenstütze in die Feuerwiderstandsklasse R 60 erfüllt.

Nachweis mit dem allgemeinen Rechenverfahren der EN 1992-1-2

In der thermischen Analyse werden die Temperaturen im Betonquerschnitt und in der Bewehrung berechnet. Dafür können die folgenden Hinweise nützlich sein, zusätzlich sind die Angaben in den Handbüchern der benutzten Programme zu beachten.

- Bei der Diskretisierung der Bauteilquerschnitte sollte die Größe der finiten Elemente der Temperaturverteilung angepasst werden. Im Bereich großer Temperaturgradienten – z. B. an den beflamten Querschnittsrändern – sollte eine feinere Diskretisierung als im Querschnittsinneren vorgenommen werden.
- Elementgrößen mit maximal 2 – 3 cm Kantenlänge sollten nicht überschritten werden.
- Die Länge der Elementseiten sollten im Verhältnis kleiner oder gleich 1:2 gewählt werden.
- Symmetriebedingungen hinsichtlich der Beflammung sollten ausgenutzt werden, um die Anzahl der Elemente zu begrenzen.
- Die Diskretisierung der thermischen und mechanischen Analyse sollten aufeinander abgestimmt sein.
- Das Zeitintervall zur Berechnung der Temperaturverteilung sollte ca. 2 – 5 Minuten betragen.
- Für Stahlbetonquerschnitte mit praxisüblichem Bewehrungsgehalt darf die Bewehrung bei der thermischen Analyse vernachlässigt werden. Die Temperatur in der Achse des Bewehrungsstabes entspricht in etwa der Temperatur im ungestörten Beton.

Nach 60 Minuten Normbrandbeanspruchung wurde im Mittelpunkt des Betonquerschnitts $\Theta_M = 237^\circ \text{C}$ und in der Bewehrung $\Theta_s = 513^\circ \text{C}$ ermittelt. Die Bewehrungstemperatur stimmt mit der für den vereinfachten Nachweis aus [12] entnommenen Temperatur von $\Theta_s = 495^\circ \text{C}$ gut überein.

In der mechanischen Analyse wurde das Trag- und Verformungsverhalten der Stahlbetonstütze unter Berücksichtigung der thermo-mechanischen Baustoffeigenschaften der Bilder 5 - 7 und der im Brandfall vorhandenen Auflagerbedingungen berechnet. Bei einem Brand in einem ausgesteiften Gebäude werden die Stützen in dem vom Brand betroffenen Geschoss überwiegend durch horizontale Verschiebungen des Stützenkopfs beansprucht, die Verdrehung an den beiden Stützenenden ist vernachlässigbar. Durch die im Brandfall entstehenden Verformungen ergibt sich für Stützen in innen liegenden Geschossen die Er-

satzlänge im Brandfall $l_{0,fi} = 0,5 \cdot l$ und für Stützen im obersten Geschoss und am Rand die Ersatzlänge im Brandfall $0,5 \cdot l \leq l_{0,fi} \leq 0,7 \cdot l$.

Um die Verdrehung am Fuß- und Kopfpunkt der Innenstütze im Brandfall vernachlässigen zu können, muss die Stütze an beiden Enden rotationsbehindert gelagert sein. Das ist in der Regel bei Stützen in gut konstruierten Stahlbetontragwerken erfüllt, da die Stützen für Normaltemperatur mit der Ersatzlänge $l_0 = l$ bemessen werden und die Stützenanschlüsse, welche rechnerisch keine Biegemomente aufnehmen, eine Bewehrungsführung zeigen, die eine elastische Einspannung der Stützenenden sichert [14].

Die Ergebnisse der mechanischen Analyse sind im Bild 11 zusammengefasst, das die Zustandsgrößen nach 60 Minuten Normbrandbeanspruchung zeigt. Durch die rotationsbehinderte Lagerung wird die Innenstütze im Brandfall beidseitig eingespannt, das bedeutet statisch gesehen Euler-Fall 4, wobei die bei der Bemessung für Normaltemperatur anzusetzende Ersatzausmitte e_a zur Berücksichtigung von Imperfektionen durch eine Vorverformung in Stützenmitte von $l/2000$ ersetzt wurde, um damit in der Berechnung die Abweichungen zwischen den Ist-Werten und den Nenngößen der Stütze zu berücksichtigen.

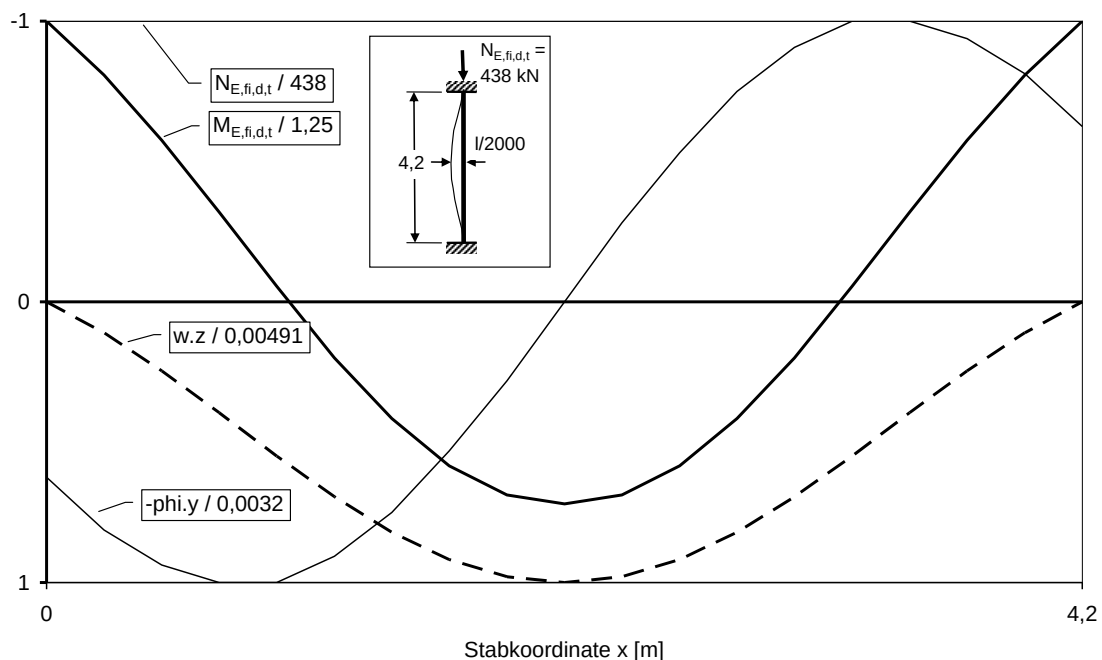


Bild 11 Zustandsgrößen für die Hochbau-Innenstütze nach 60 Minuten Normbrandbeanspruchung

Um die vorhandenen Tragreserven nach 60 Minuten Branddauer abzuschätzen, wurde die Belastung bis zum Versagen auf $N_{E,fi,d,t} = -544$ kN gesteigert, was einer Sicherheit von $-544 / (-438) = 1,24$ nach 60 Minuten Branddauer entspricht. Mit dem vereinfachten Rechenverfahren wurde der Bemessungswert des Bauteilwiderstandes $N_{R,fi,d,t} = -550$ kN berechnet (Bild 9).

Bei einer Einwirkung von $N_{E,fi,d,t} = -438$ kN wurde das Versagen der Stütze nach 69 Minuten Branddauer berechnet.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird die brandschutztechnische Bemessung einer hochbautypischen Stahlbetonstütze mit der erweiterten Tabelle der DIN 4102-22 sowie der Tabelle und der Bemessungsgleichung aus der EN 1992-1-2 erläutert. Anschließend wird die Anwendung der beiden rechnerischen Nachweisverfahren aus der EN 1992-1-2 demonstriert. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Bemessungsverfahren zeigen eine weitgehende Übereinstimmung. Eine systematische Untersuchung der Abweichungen zwischen den Ergebnissen der einzelnen Bemessungsverfahren wurde bislang wegen des erheblichen Aufwandes nicht durchgeführt. Sie wäre aber dringend erforderlich, insbesondere im Hinblick auf die Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens bei Stützen, die mit ihrer Schlankheit und/oder den statisch-konstruktiven Randbedingungen (deutlich) außerhalb des Anwendungsbereichs der Bemessungstabellen liegen, beispielsweise schlanke Stahlbeton-Kragstützen.

Das vereinfachte und das allgemeine Rechenverfahren der EN 1992-1-2 wurde bisher überwiegend von qualifizierten Fachleuten angewendet. Der Beitrag zeigt, dass sich die rechnerischen Brandschutznachweise weitgehend an die Tragwerksnachweise für die Gebrauchslastfälle bei Normaltemperatur anlehnen und damit für Tragwerksplaner prinzipiell nichts Neues darstellen. Allerdings müssen die speziellen brandschutztechnischen und physikalischen Grundlagen berücksichtigt werden und entsprechende Erfahrungen bei deren Anwendung vorhanden sein [15].

LITERATURHINWEISE

- [1] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen;
 Teil 2: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen von Bauteilen. Ausgabe September 1977.
 Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Ausgabe März 1994.
 Teil 22: Anwendungsnorm zur DIN 4102-4. Ausgabe November 2004
- [2] DIN EN 1992-1-2: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004. Ausgabe April 2006.
- [3] Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen, Anlage 3-1/10, Fassung Februar 2006.

- [4] Fingerloos, F.; Richter, E: Nachweis des konstruktiven Brandschutzes bei Stahlbetonstützen. Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007), Heft 4. Berlin: Verlag Ernst & Sohn.
- [5] Hosser, D.: Rahmenbedingungen für die Anwendung der Eurocode-Brandschutzteile in Deutschland. In: Braunschweiger Brandschutz-Tage '07, 26. und 27. September 2007 in Braunschweig; Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 199, Braunschweig, 2007
- [6] EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau. Dezember 2004.
- [7] EN 1991-1-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkungen auf Tragwerke. September 2003.
- [8] EN 1990: Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung. April 2002.
- [9] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V.: Beispiele zur Bemessung nach DIN 1045-1. Band 1: Hochbau. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 2. überarbeitete Auflage 2005.
- [10] Kordina, K.; Quast, U.: Bemessung von schlanken Bauteilen für den durch Tragwerksverformungen beeinflussten Grenzzustand der Tragfähigkeit – Stabilitätsnachweis. Beton-Kalender 2001/1, Berlin: Ernst & Sohn.
- [11] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Ausgabe Juli 2001.
- [12] Model Code for Fire Design of Concrete Structures / Design of Concrete Structures for Fire Resistance. Bulletin d'Information No. 145 / No. 174, Comité Euro-International du Béton. Paris 01/1982 / 02/1987.
- [13] Hosser, D.; Richter, E.: Entwicklung eines vereinfachten Rechenverfahrens zum Nachweis des konstruktiven Brandschutzes bei Stahlbeton-Kragstützen. Forschungsarbeit im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, 2007 (unveröffentlicht).
- [14] Kordina, K.; Quast, U.: Bemessung von schlanken Bauteilen für den durch Tragwerksverformungen beeinflussten Grenzzustand der Tragfähigkeit – Stabilitätsnachweis. Betonkalender 1995, Teil 1. Verlag Ernst & Sohn, Berlin. 1995.
- [15] Hosser, D.; Richter, E.: Rechnerische Nachweise im Brandschutz – Zukunftsaufgabe für Prüfeningenieure. Der Prüfeningenieur, Oktober 2007.

RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE ANWENDUNG DER EUROCODE-BRANDSCHUTZTEILE IN DEUTSCHLAND

Dietmar Hosser

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EINFÜHRUNG

Für die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Bauwerken des konstruktiven Ingenieurbaus werden künftig als europäisch harmonisierte technische Regeln die konstruktiven Eurocodes zur Verfügung stehen. Neben dem übergeordneten Eurocode - EN 1990 - wurden dazu spezielle Brandschutzteile (Teile 1-2) zu den übrigen Eurocodes 1 bis 6 und 9 erstellt, die inzwischen auch als DIN EN-Normen erschienen sind. Tabelle 1 zeigt die von CEN herausgegebenen EN-Fassungen und die zugehörigen DIN EN-Fassungen mit dem jeweiligen Erscheinungsdatum und dem deutschen Titel. Im Folgenden werden diese Normen entweder kurz als Eurocode 1 usw. oder als EN 1991-1-2 usw. zitiert (ohne Literaturverweis).

Tabelle 1 Übersicht über die Originalfassungen und die deutschen Ausgaben der Eurocode-Brandschutzteile

CEN-Norm	DIN-Norm	Deutscher Titel
EN 1991-1-2 November 2002	DIN EN 1991-1-2 September 2003	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke
EN 1992-1-2 Dezember 2004	DIN EN 1992-1-2 Oktober 2006	Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
EN 1993-1-2 April 2005	DIN EN 1993-1-2 Oktober 2006	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
EN 1994-1-2 August 2004	DIN EN 1994-1-2 November 2006	Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton - Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
EN 1995-1-2 November 2004	DIN EN 1995-1-2 Oktober 2006	Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Bemessung für den Brandfall
EN 1996-1-2 Mai 2005	DIN EN 1996-1-2 Oktober 2006	Eurocode 6 - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Allgemeine Regeln - Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall
EN 1999-1-2 Februar 2007	DIN EN 1999-1-2 Mai 2007	Eurocode 9 - Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall

Die Brandschutzteile der Eurocodes dienen der allgemeinen Zielsetzung des vorbeugenden baulichen Brandschutzes, im Brandfall die Risiken für direkt betroffene Einzelpersonen und die Gesellschaft, für benachbarte Bauwerke und, falls erforderlich, für die Umgebung zu begrenzen. Sie definieren die Einwirkungen im Brandfall und regeln die Berechnung und Bemessung von brandbeanspruchten Bauteilen und Tragwerken. Dabei dürfen nach dem Eurocode 1 Teil 1-2 als Brandbeanspruchung entweder nominelle Temperaturzeitkurven analog zu DIN 4102-2 [1] oder berechnete Temperatur-Zeitverläufe von Naturbränden zugrunde gelegt werden.

In den baustoffbezogenen Eurocodes 2 bis 6 und 9 sind neben Nachweisen mittels tabellarischer Daten - die in Deutschland bisher überwiegend angewendet werden - auch allgemeine und vereinfachte Rechenverfahren geregelt, die sich eng an die Bemessung für die Gebrauchslastfälle bei Normaltemperatur anlehnen. Mit Hilfe der allgemeinen Rechenverfahren wird über eine vorgegebene Branddauer das tatsächliche Trag- und Verformungsverhalten brandbeanspruchter Bauteile und Tragwerke ermittelt, quasi als numerische Simulation von Realbrandversuchen. Mit den vereinfachten Rechenverfahren wird nachgewiesen, dass Einzelbauteile den im Brandfall vorhandenen Lasteinwirkungen bei gleichzeitiger Brandbeanspruchung durch einen Normbrand vorgegebener Dauer standhalten. Dafür werden u. a. vereinfachte Annahmen für die Erwärmung der Bauteile und für die Beschreibung des Versagenszustandes im Brandfall getroffen.

Der vorliegende Beitrag will auf die Möglichkeiten, aber auch die Probleme der Brandschutznachweise nach den Eurocodes einstimmen. Die brandschutztechnischen und physikalischen Grundlagen werden dabei nur soweit angesprochen, wie zum Verständnis der Zusammenhänge notwendig ist. Wer die Nachweise für die praktische Bemessung nutzen will, muss sich zuvor anhand der weiterführenden Literatur eingehender mit diesen Grundlagen auseinandersetzen.

TRAGWERKSEINWIRKUNGEN IM BRANDFALL

Allgemeines

EN 1991-1-2 regelt die Rechengrundlagen zur Ermittlung der Temperatur- und Lasteinwirkungen. Der Brandfall wird dabei als ein außergewöhnliches Ereignis (accidental situation) angesehen, das nicht mit anderen, davon unabhängigen außergewöhnlichen Ereignissen zu überlagern ist. Auch zeit- und lastabhängige Einflüsse auf das Tragverhalten, die vor Auftreten des Brandfalls wirksam werden, müssen nicht berücksichtigt werden. Beispielsweise darf das Trag- und Verformungsverhalten von Betonstützen im Brandfall ohne Berücksichtigung von Kriech- und Schwindinflüssen, die bis zum Zeitpunkt der Brandbeanspruchung aufgetreten sind, ermittelt werden. Bei der brandschutztechnischen Bemessung ist es in der Regel nicht erforderlich, die Abkühlphase des Brandes zu berücksichtigen.

Thermische Einwirkungen

Die thermischen Einwirkungen auf Bauteile werden in Abhängigkeit von der (Heißgas-) Temperatur Θ_g in der Bauteilumgebung als Netto-Wärmestrom $\dot{h}_{net}$ vorgegeben, der aus einem konvektiven Anteil und einem radiativen Anteil besteht:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad (1)$$

mit

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) \quad (2)$$

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad (3)$$

Darin bedeuten:

$\dot{h}_{net,c}$	konvektiver Anteil des Netto-Wärmestrom [W/m ²]
$\dot{h}_{net,r}$	radiativer Anteil des Netto-Wärmestroms [W/m ²]
α_c	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion [W/m ² K]
Θ_g	Heißgastemperatur in der Umgebung des Bauteils [°C]
Θ_m	Oberflächentemperatur des Bauteils [°C].
Φ	Konfigurationsfaktor (zur Berücksichtigung von Abschattungen) [-]
ε_m	Emissivität der Bauteiloberfläche [-]
ε_f	Emissivität des Feuers [-]
Θ_r	Strahlungstemperatur der Umgebung [°C]
σ	Stefan Boltzmann Konstante (= $5,67 \cdot 10^{-8}$) [W/m ² K ⁴].

Vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend dürfen der Konfigurationsfaktor $\Phi = 1,0$ und die Strahlungstemperatur Θ_r gleich der Heißgastemperatur Θ_g gesetzt werden. Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion darf auf der feuerabgekehrten Bauteilseite mit $\alpha_c = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen werden. Mit $\alpha_c = 9 \text{ W/m}^2\text{K}$ kann gerechnet werden, wenn die Wärmeübertragung durch Strahlung mit abgedeckt werden soll. Falls in den baustoffbezogenen Eurocodes keine anderen Angaben gemacht werden, darf $\varepsilon_m = 0,8$ gesetzt werden; für die Emissivität der Flamme gilt im Allgemeinen $\varepsilon_f = 1,0$.

Für die brandschutztechnische Bemessung werden verschiedene nominelle Temperaturzeitkurven zur Beschreibung der Heißgastemperatur Θ_g in Abhängigkeit der Branddauer t [min] mit dem jeweils zugehörigen Wärmeübergangskoeffizienten für Konvektion α_c vorgegeben.

Für die Heißgastemperatur Θ_g ist im Regelfall die Einheitstemperaturzeitkurve, die der ETK nach DIN 4102-2 [1] entspricht, anzunehmen:

$$\Theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) \quad [^\circ\text{C}] \quad (4)$$

Dabei bedeutet t die Branddauer in Minuten. Für den konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten gilt $\alpha_c = 25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Unter bestimmten Randbedingungen, z. B. bei außerhalb eines Brandraumes liegenden Bauteilen bzw. Bauteiloberflächen, kann die Außenbrandkurve, die auch in DIN 4102-3 [2] für Brüstungen und nichttragende Außenwände vorgegeben wird, verwendet werden mit konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha_c = 25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$..:

$$\Theta_g = 660 \cdot [1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}] + 20 \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

Für Flüssigkeitsbrände kann die sog. Hydrocarbon-Brandkurve verwendet werden, mit dem konvektiven Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_c = 50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$:

$$\Theta_g = 1080 \cdot [1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t}] + 20 \quad [^\circ\text{C}] \quad (6)$$

Die drei nominellen Temperaturzeitkurven sind in Bild 1 dargestellt.

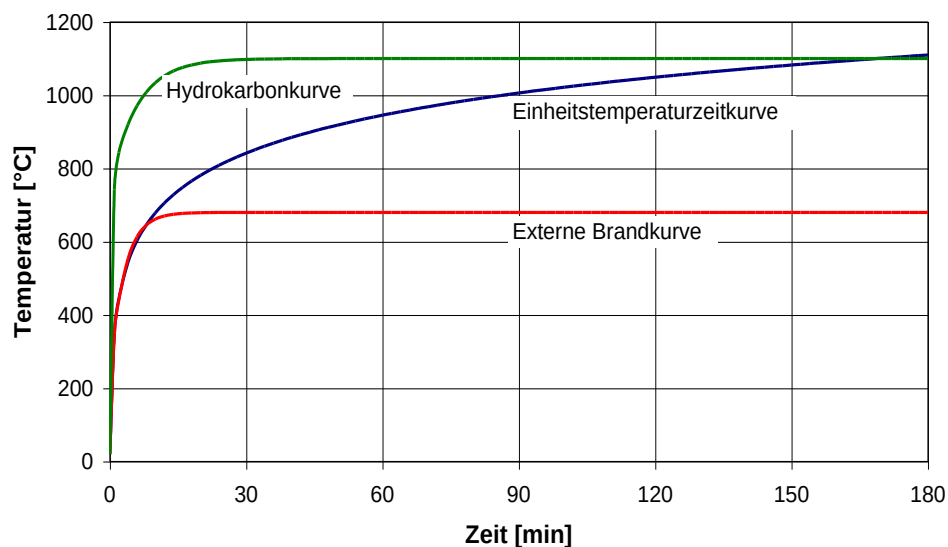


Bild 1 Nominelle Temperaturzeitkurven nach Eurocode 1 Teil 1-2

Neben der Möglichkeit, die thermische Beanspruchung der Bauteile im Brandraum durch nominelle Temperaturzeitkurven zu beschreiben, bietet EN 1991-1-2 verschiedene Naturbrandmodelle an. Diese werden in informativen Anhängen näher beschrieben:

a) Vereinfachte Brandmodelle

- für Vollbrände,
Beschreibung auf der Grundlage physikalischer Parameter
 - für innenliegende Bauteile (Anhang A) bzw.
 - für außenliegende Bauteile (Anhang B)
- für lokale Brände,
Beschreibung mit Hilfe von Plume-Modellen (Anhang C)

b) Allgemeine Brandmodelle (Anhang D)

- Ein-Zonen-Modelle
- Zwei-Zonen-Modelle
- Feldmodelle.

Auf die Naturbrandmodelle zur realistischeren Beschreibung der Brandbeanspruchung kann hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden; nähere Informationen finden sich z. B. in [4].

Mechanische Einwirkungen

EN 1991-1-2 unterscheidet zwischen direkten und indirekten Einwirkungen. Indirekte Einwirkungen infolge Brandbeanspruchung sind Kräfte und Momente, die durch thermische Ausdehnungen, Verformungen und Verkrümmungen hervorgerufen werden. Sie müssen nicht berücksichtigt werden, wenn sie das Tragverhalten nur geringfügig beeinflussen und/oder durch entsprechende Ausbildung der Auflager aufgenommen werden können. Außerdem brauchen sie bei der brandschutztechnischen Bemessung von Einzelbauteilen nicht gesondert verfolgt zu werden. Bei der Beurteilung der indirekten Einwirkungen sind besonders zu beachten:

- Zwangkräfte in Bauteilen, z. B. in Stützen mehrgeschossiger rahmenartiger Tragwerke mit aussteifenden Wänden,
- unterschiedliche thermische Ausdehnung in statisch unbestimmt gelagerten Bauteilen, z. B. durchlaufenden Decken,
- Eigenspannungen infolge thermischer Krümmungen,
- Auswirkungen thermischer Ausdehnung auf angrenzende Bauteile, z. B. Verschiebung des Stützenkopfes infolge thermischer Ausdehnung der Decke,
- Auswirkungen thermischer Ausdehnung auf Bauteile, die nicht vom Feuer beansprucht werden.

Für die Ermittlung der indirekten Einwirkungen sind die thermischen und mechanischen Materialkennwerte aus den baustoffbezogenen Eurocodes zu benutzen. Für den Fall, dass die indirekten Einwirkungen vernachlässigt werden, wird $E_{fi,d,t}$ (nach Gl. (7)) für den Zeitpunkt $t = 0$ berechnet ($A_d(t=0) = 0$)

Als direkte Einwirkungen werden die bei der Bemessung für Normaltemperatur berücksichtigten Lasten (Eigengewicht, Wind, Schnee usw.) bezeichnet. Die maßgebenden Werte der Einwirkungen sind den verschiedenen Teilen der EN 1991 bzw. den zugehörigen Nationalen Anhängen zu entnehmen, wo auch allgemeine Regeln zur Berücksichtigung von Schnee- und Windlasten sowie Lasten infolge Betrieb (z. B. Horizontalkräfte infolge Kranbewegung) gegeben werden. Eine Verringerung der Belastung durch Abbrand wird nicht berücksichtigt.

Bei der Kombination von Einwirkungen im Brandfall darf berücksichtigt werden, dass es sich um eine außergewöhnliche Bemessungssituation handelt. Nach den Kombinationsregeln in EN 1990 [5] ergibt sich die maßgebliche Beanspruchung $E_{fi,d,t}$ während der Brandeinwirkung in der Regel (in allgemeiner Schreibweise) zu

$$E_{fi,d,t} = \Sigma \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \Sigma A_d(t) \quad (7)$$

mit

- G_k charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
- $Q_{k,1}$ charakteristischer Wert der dominierenden veränderlichen Einwirkung
- $Q_{k,i}$ charakteristischer Wert weiterer veränderlicher Einwirkungen
- $A_d(t)$ Bemessungswert der indirekten Einwirkungen
- γ_{GA} Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen (= 1,0)
- $\psi_{1,1}, \psi_{2,i}$ Kombinationsbeiwerte nach EN 1990 bzw. dem zugehörigen Nationalen Anhang

Als Vereinfachung dürfen die Einwirkungen während der Brandbeanspruchung direkt aus den Einwirkungen bei Normaltemperatur abgeleitet werden:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (8)$$

mit

- E_d Bemessungswert der Einwirkungen nach EN 1991-1-1 [6] mit Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_G für ständige und γ_Q für veränderliche Einwirkungen
- $\eta_{fi} = (\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \cdot \xi) / (\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi)$ (9)
Reduktionsfaktor, abhängig vom Verhältnis der dominierenden veränderlichen Einwirkung zur ständigen Einwirkung $\xi = Q_{k,1}/G_k$.

Bild 2 zeigt die Auswertung der Gl. (9) für verschiedene Kombinationsbeiwerte $\psi_{1,1}$ und die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_G = 1,35$ und $\gamma_Q = 1,5$. In den baustoffbezogenen Eurocodes werden Werte für η_{fi} unter Berücksichtigung der für die jeweilige Bauweise typischen Lastverhältnisse ξ angegeben.

Analog zu Gl. (9) wird für die brandschutztechnische Bemessung mittels tabellarischer Daten folgendes Lastniveau zu Grunde gelegt:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} \cdot R_d \quad (10)$$

mit

- R_d Bemessungswert des Bauteilwiderstands nach Teil 1 des jeweiligen Eurocodes
- η_{fi} Lastniveau für die brandschutztechnische Bemessung.

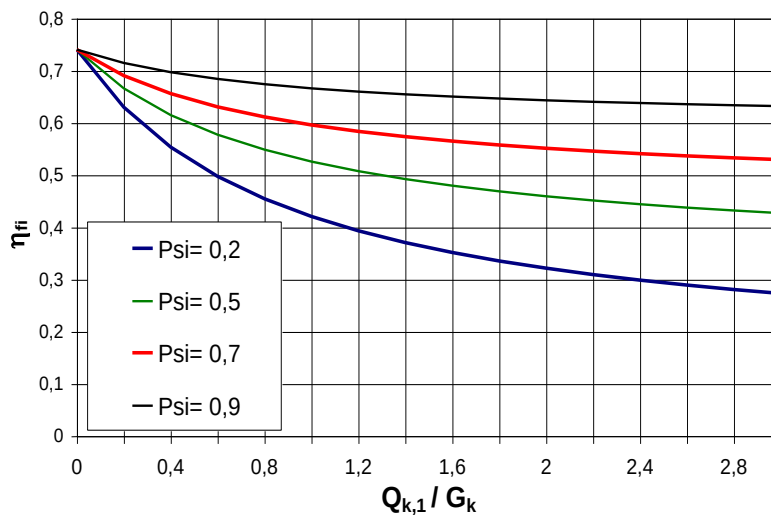


Bild 2 Verhältnis zwischen den Bemessungswerten der Beanspruchung im Brandfall und unter normalen Nutzungsbedingungen in Abhängigkeit vom Verhältnis ξ zwischen der dominierenden veränderlichen Einwirkung $Q_{k,1}$ und der ständigen Einwirkung G_k

BRANDSCHUTZTECHNISCHE NACHWEISE

Allgemeines

Die Brandschutzteile der baustoffbezogenen Eurocodes sehen grundsätzlich brandschutztechnische Nachweisverfahren auf drei Stufen vor:

- mittels tabellarischer Daten (Nachweisstufe 1),
- mittels vereinfachter Rechenverfahren (Nachweisstufe 2) und
- mittels allgemeiner Rechenverfahren (Nachweisstufe 3).

Die Nachweisverfahren mittels tabellarischer Daten beschränken sich in der Regel darauf, die Querschnittsabmessungen des zu untersuchenden Bauteils (und z. B. bei Betonbauteilen den Achsabstand der Bewehrung) mit Werten zu vergleichen, die nach Brandversuchsergebnissen zum Erreichen der vorgesehenen Feuerwiderstandsdauer erforderlich sind.

Mit den vereinfachten Rechenverfahren wird in der Regel nachgewiesen, dass von einem Bauteil die im Brandfall maßgebenden Lastenwirkungen nach Ablauf einer vorgeschriebenen Branddauer (Feuerwiderstandsdauer des Bauteils) aufgenommen werden können. Dafür werden u. a. Vereinfachungen bei der Ermittlung der Bauteiltemperaturen und der Beschreibung des Versagenszustandes im Brandfall getroffen.

Die allgemeinen Rechenverfahren ermitteln für eine vorgegebene Branddauer das tatsächliche Tragvermögen, ggf. auch das Verformungsverhalten der Bauteile. Sie bieten Lösungen für drei Probleme des baulichen Brandschutzes:

- 1) Ermittlung des Gleichgewichts- und Verformungszustandes eines Einzelbauteils zu beliebigen Zeitpunkten t bei vorgegebener Temperaturzeitkurve in der Bauteilumgebung, Belastung und Lagerung. Damit kann ein Brandversuch simuliert werden.
- 2) Ermittlung der von einem Einzelbauteil maximal aufnehmbaren Belastung (z. B. $N_{R,fi,d}$, $M_{R,fi,d}$) bei einer vorgegebenen Temperaturzeitkurve in der Bauteilumgebung nach einer bestimmten Brandeinwirkungsdauer.
- 3) Ermittlung des Gleichgewichts- und Verformungszustandes von Gesamt- oder Teiltragwerken aus mehreren Bauteilen bei lokaler Brandbeanspruchung, wobei sowohl nominelle Temperaturzeitkurven als auch natürliche Brandverläufe simuliert werden können.

Im Folgenden wird nur auf die Nachweisverfahren nach den Eurocodes 2 bis 5 eingegangen. Die Brandschutzteile des Eurocodes 6 (Mauerwerk), der für die nationale Anwendung weitgehend modifiziert werden muss, und des Eurocodes 9 (Aluminium), der für Deutschland weniger relevant ist, werden hier aus Platzgründen ausgespart.

Tabellarische Daten

Die Nachweisverfahren mittels tabellarischer Daten beschränken sich in der Regel darauf, die Querschnittsabmessungen oder Bekleidungsicken eines Bauteils mit Werten zu vergleichen, die nach Brandversuchsergebnissen zum Erreichen der vorgesehenen Feuerwiderstandsdauer erforderlich sind. Sie entsprechen weitestgehend den bekannten Bemessungstabellen der DIN 4102-4 [3].

Bemessungstabellen sind nur in den Brandschutzteilen der Eurocodes 2, 4 und 6 angegeben, die Brandschutzteile der Eurocodes 3, 5 und 9 enthalten nur rechnerische Nachweisverfahren. Der Eurocode 5 stellt allerdings die erforderlichen Grundlagen für die Erstellung von Bemessungshilfen bereit. Grundsätzlich basieren die Tabellenwerte auf Ergebnissen von Berechnungen mit allgemeinen oder vereinfachten Rechenverfahren. Eine Interpolation zwischen den Werten ist erlaubt, eine Extrapolation über die untersuchten Bereiche hinaus ist nicht zulässig.

Die Bemessungstabellen sind ähnlich aufgebaut wie die Tabellen in DIN 4102-4 [3]. In Abhängigkeit von der Feuerwiderstandsklasse werden Mindestwerte für die Querschnittsabmessungen, bei Stahlbeton-, Spannbeton- und Verbundbauteilen zusätzlich Mindestachsabstände der Bewehrung angegeben. Für Stahlbetonstützen, belastete Stahlbetonwände sowie für Verbundstützen und -träger geht als zusätzlicher Parameter der Lastausnutzungsfaktor ein.

EN 1992-1-2 enthält Bemessungstabellen für Stützen mit Rechteck- oder Kreisquerschnitt bei ein- und mehrseitiger Brandbeanspruchung, für nichttragende und tragende Wände, für Balken mit Rechteck- und I-Querschnitt bei drei- oder vierseitiger Brandbeanspruchung sowie für einachsig oder zweiachsig gespannte Platten, Durchlaufplatten, Flachdecken und Rippendecken.

Der EN 1994-1-2 gibt Bemessungstabellen für Verbundträger mit Kammerbeton und mit einbetoniertem Stahlquerschnitt sowie für Verbundstützen mit Kammerbeton, einbetoniertem Stahlquerschnitt und betongefülltem Hohlprofil an.

Rechenvorschriften in EN 1992-1-2 ermöglichen bei statisch bestimmt gelagerten Stahlbetonbalken und -decken die individuelle Ermittlung der kritischen Temperatur sowie bei Stahlbetonstützen und belasteten Stahlbetonwänden die Bestimmung des aktuellen Lastausnutzungsfaktors. Für Bauteile aus hochfestem Beton können die Bemessungstabellen für Normalbeton verwendet werden, wenn die Mindestabmessungen mit einem empirischen Faktor erhöht und zusätzliche Vorkehrungen gegen Abplatzungen getroffen werden.

Vereinfachte Rechenverfahren

Allgemeines

Mit den vereinfachten Rechenverfahren wird in der Regel nachgewiesen, dass für die geforderte Feuerwiderstandsdauer t die maßgebenden Lasteinwirkungen $E_{fi,d,t}$ nach Eurocode 1 Teil 1-2 kleiner sind als der Bauteilwiderstand $R_{fi,t,d}$. Dafür werden u. a. Vereinfachungen bei der Ermittlung der Querschnittserwärmung und bei der Beschreibung des Versagenszustandes im Brandfall getroffen.

Eurocode 2 Teil 1-2

Die vereinfachten Rechenverfahren in EN 1992-1-2 beschreiben die Verringerung der Tragfähigkeit von Bauteilen unter Brandbeanspruchung näherungsweise durch die temperaturabhängige Verkleinerung des Betonquerschnittes und die temperaturbedingte Reduzierung der Materialfestigkeiten. Die Verringerung des Betonquerschnitts berücksichtigt, dass die äußeren, dem Brand direkt ausgesetzten Betonbereiche nicht mehr mittragen. Der Tragfähigkeitsnachweis wird mit dem Restquerschnitt (Beton und Bewehrung) analog zum Nachweis für Normaltemperatur nach EN 1992-1-1 [7] geführt, allerdings werden die Festigkeiten von Beton und Bewehrungsstahl temperaturabhängig mit den Reduktionsfaktoren $k_c(\Theta)$ bzw. $k_s(\Theta)$ reduziert (Bild 3).

Zur Ermittlung der Querschnittstemperaturen von Wänden und Platten, Balken und Stützen mit üblichen Querschnittsformen bei Brandbeanspruchung nach der Einheitstemperaturzeitkurve werden im informativen Anhang A Diagramme mit Temperaturprofilen angeboten. Der reduzierte Betonquerschnitt und die temperaturabhängige Abminderung der Betonfestigkeit können mit vereinfachten Verfahren im informativen Anhang B bestimmt werden.

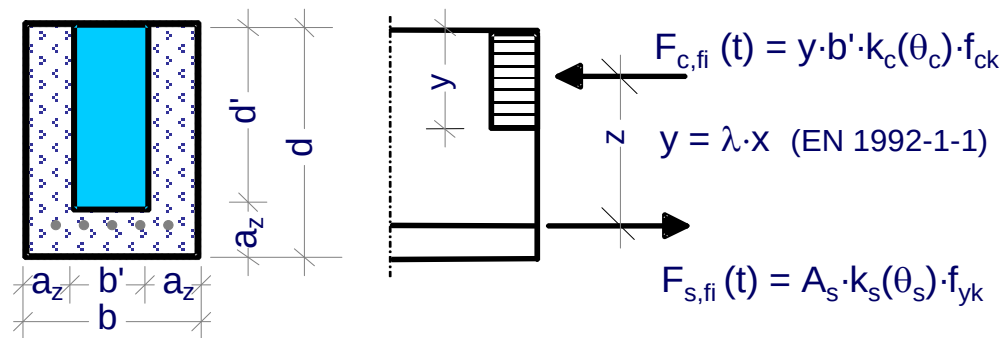


Bild 3 Prinzip der Tragfähigkeitsberechnung mit brandreduziertem Betonquerschnitt und temperaturabhängig reduzierten Festigkeiten am Beispiel der Biegemomenten Tragfähigkeit eines Stahlbeton-Rechteckquerschnitts

In den informativen Anhängen werden verschiedene vereinfachte Rechenverfahren angeboten, von denen in Deutschland voraussichtlich nur ein Verfahren für Stahlbetonquerschnitte mit Biegung und Längskraft und ein stark vereinfachtes Verfahren für statisch bestimmte gelagerte oder durchlaufenden Balken und Platten zur Anwendung angewendet werden dürfen.

Die vereinfachten Rechenverfahren eignen sich insbesondere für Bauteile, bei denen der vorhandene Achsabstand der Bewehrung oder die Querschnittsabmessung kleiner ist als der entsprechende Mindestwert aus den Bemessungstabellen und gleichzeitig die Tragfähigkeit bei Normaltemperatur nicht voll ausgenutzt wird.

Eurocode 3 Teil 1-2

Im Eurocode 3 Teil 1-2 werden vereinfachte Rechenverfahren für Einzelbauteile bereitgestellt, wobei der Bemessungswert der Tragfähigkeit $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt t üblicherweise mit der Annahme einer gleichmäßigen Temperaturverteilung im Querschnitt ermittelt wird. Ausgehend von der Tragfähigkeit bei Normaltemperatur nach EN 1993-1-1 [8] wird die Tragfähigkeit unter Brandbeanspruchung vereinfacht durch Abminderung mit einem Faktor $k_{y,\theta}$ ermittelt, der den temperaturabhängigen Festigkeitsabfall von Stahl berücksichtigt.

Zur Berechnung der Stahls Temperaturen von unbekleideten und bekleideten Querschnitten im Gebäudeinneren werden Gleichungen angegeben, mit denen die Temperaturerhöhung $\Delta\theta_{a,t}$ im Zeitintervall Δt ermittelt wird. Die Stahls Temperaturen in Bauteilen außerhalb des Gebäudes können mit vereinfachten Ansätzen im informativen Anhang B ermittelt werden. Wenn eine nicht gleichmäßige Temperaturverteilung im Querschnitt und entlang der Längsachse eines Bauteils berücksichtigt werden soll, kann der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit mit Anpassungsfaktoren κ_1 und κ_2 modifiziert werden.

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Bauteiltemperatur werden Gleichungen angegeben für folgende Einzelbauteile: Zugglieder, druckbeanspruchte Bauteile mit Querschnitten der Klasse 1 bis 3 (nach EN 1993-1-1), Träger mit Querschnitten der Klasse 1 bis 3, auf Biegung mit Axialdruck beanspruchte Bauteile der Querschnittsklassen 1 bis 3 sowie Bauteile mit Querschnitten der Klasse 4.

Die Bemessung bei Annahme einer gleichmäßigen Temperaturverteilung im Bauteil darf alternativ auf Temperaturebene durchgeführt werden durch Vergleich der Bauteiltemperatur mit einer kritischen Temperatur $\Theta_{a,crit}$, die vom Ausnutzungsgrad μ_0 zum Zeitpunkt $t = 0$ der Brandbeanspruchung abhängt.

Eurocode 4 Teil 1-2

In EN 1994-1-2 werden vereinfachte Rechenverfahren auf Grundlage der Plastizitätstheorie für geschützte und ungeschützte Verbunddecken, Verbundträger mit und ohne Kammerbeton, Stahlträger mit Kammerbeton und Verbundstützen bereitgestellt. Dazu werden jeweils Gleichungen für die Querschnittstragfähigkeit angegeben, z. B. die Biegemomententragfähigkeit bei Verbunddecken und -trägern oder die Grenznormalkraft bei Verbundstützen unter Berücksichtigung der Knickgefahr. Darin werden die im Brandfall mittragenden Querschnittsteile (Beton, Stahlprofil, Betonstahl) einzeln berücksichtigt mit einer temperaturabhängigen Reduktion der Festigkeit bei Normaltemperatur.

Der Temperatureinfluss auf das Baustoffverhalten kann durch Verringerung der Querschnittsabmessungen und Reduktion der mechanischen Festigkeitseigenschaften berücksichtigt werden. Nähere Angaben dazu enthalten die informativen Anhänge E (Träger ohne Kammerbeton) und F (Träger mit Kammerbeton).

In EN 1994-1-2 wird auch ein vereinfachtes Rechenverfahren für Verbundstützen in ausgesteiften Rahmen beschrieben. Bei diesem Verfahren wird die zentrische Grenznormalkraft in Abhängigkeit von einem bezogenen Schlankheitsgrad für den Brandfall durch einen Reduktionsfaktor gemäß EN 1993-1-1 [8] vermindert. Eine exzentrische Last kann nach Anhang G vereinfacht durch Umrechnung im Verhältnis der Grenznormalkraft bei exzentrischem Angriff zur Grenznormalkraft bei zentrischem Angriff jeweils für Normaltemperatur nach EN 1994-1-1 [9] erfasst werden.

Eurocode 5 Teil 1-2

Das Tragverhalten von Holzbauteilen bei Brandbeanspruchung wird – neben der Temperaturentwicklung im Querschnitt – vor allem durch den Abbrand der äußeren, dem Feuer direkt ausgesetzten Querschnittsbereiche beeinflusst. Für die Abbrandraten verschiedener Holzsorten (Vollholz, Brettschichtholz, u. a.) bei Normbrandbeanspruchung werden in EN 1995-1-2 jeweils zwei Bemessungswerte in mm/min angegeben:

β_0 für die eindimensionale Abbrandrate

β_n für die ideelle Abbrandrate unter Berücksichtigung von Eckausrundungen.

Typische Werte für β_0 liegen bei 0,65 bis 1,0 mm/min; β_n ist in der Regel 0,05 mm/min, bei Vollholz ausnahmsweise 0,15 mm/min höher. Bei einem anfänglichen Schutz der Oberflächen gegen Abbrand, z. B. durch eine Bekleidung, darf die Abbrandrate abgemindert werden.

Der EN 1995-1-2 bietet zwei vereinfachte Rechenverfahren für die Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit an. Bei der Methode mit reduziertem Querschnitt wird der Ausgangsquerschnitt um die ideellen Abbrandtiefe reduziert, die gegenüber dem mit ideeller Abbrandrate berechneten Wert vergrößert wird, um Festigkeits- und Steifigkeitsverluste der unter der Abbrandgrenze liegenden Schicht zu kompensieren. Der ideelle Restquerschnitt darf dann mit den Festigkeits- und Steifigkeitswerten für Normaltemperatur analog zu EN 1995-1-1 [10] nachgewiesen werden. Das zweite Verfahren, die Methode mit reduzierten Eigenschaften, darf für Rechteckquerschnitte aus Nadelholz bei drei- oder vierseitiger Brandbeanspruchung und für Rundhölzer aus Nadelholz bei allseitiger Brandbeanspruchung angewendet werden, die bei Normbrandbedingungen unter Biege-, Druck- oder Zugbeanspruchung stehen. Für die Biege-, Druck- und Zugfestigkeit und für den E-Modul werden in Abhängigkeit von einem Profilmfaktor (Umfang der beflamnten Querschnittsteile p / Fläche A_r) des Restquerschnittes Abminderungsfaktoren $k_{mod,fi}$ angegeben.

Der informative Anhang E enthält für raumabschließende Konstruktionen in Holztafelbauweise ein vereinfachtes Verfahren zum Nachweis der Wärmedämmung bei Einhaltung des Temperaturkriteriums auf feuerabgekehrten Seite.

Allgemeine Rechenverfahren

Allgemeines

Allgemeine Rechenverfahren können für den brandschutztechnischen Nachweis von Einzelbauteilen, Teil- und Gesamttragwerken mit beliebiger Querschnittsart und -form und bei voller oder lokal begrenzter Temperaturbeanspruchung angewendet werden. Für den Nachweis werden Rechengrundlagen zur Ermittlung der Temperatur- und Lasteinwirkungen benötigt, die in EN 1991-1-2 geregelt sind. Weiterhin werden Angaben über die temperaturabhängige Veränderung der thermo-mechanischen Eigenschaften der Baustoffe (Wärmeleitfähigkeit, Festigkeit, thermische Dehnung usw.) benötigt. Dazu enthalten die Brandschutzteile der baustoffbezogenen Eurocodes jeweils im Abschnitt 3 mehr oder weniger detaillierte Angaben, die zum Teil in Anhängen ergänzt werden.

Die Anwendung der allgemeinen Rechenverfahren bedarf in Deutschland in jedem Einzelfall der Genehmigung durch die Bauaufsichtsbehörde. Die Nachweise müssen von einem für Brandschutznachweise qualifizierten Prüfsachverständigen oder Prüfingenieur geprüft werden.

Thermische Analyse

Ausgehend von dem nach EN 1991-1-2 ermittelten Zeitverlauf der Heißgastemperatur Θ_g , werden die thermischen Einwirkungen auf Bauteile vereinfacht als Wärmestromdichte h'_{net} (vgl. Gl. (1) bis (3)) berechnet. In EN 1991-1-2 werden keine Angaben über die Gültigkeit der darin enthaltenen Vereinfachungen gemacht, wenn anstelle der Einheitstemperaturzeitkurven mit einem natürlichen Brandverlauf gerechnet wird. Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion α_c und der Emissionsgrad ε der Heißgase weisen im natürlichen Brand wegen der unterschiedlichen Anordnung der Bauteile zu den Flammen, der unterschiedlichen Ausführung der Bauteiloberflächen und der unterschiedlichen Dichte der verrauchten Heißgasschicht größere Streuungen auf.

Grundlage für die Berechnung der Temperaturverteilung in Bauteilen ist die Differentialgleichung von Fourier (Gl. (11)) zur Beschreibung der instationären Wärmeleitung in Festkörpern. Dabei wird vorausgesetzt, dass keine Wärmequellen oder -senken im Körperinneren vorhanden sind.

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right) \quad (11)$$

mit

Θ	Temperatur [K]
t	Zeit [s]
a	$= \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ Temperaturleitzahl [m ² /s]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
ρ	Rohdichte [kg/m ³]
c_p	spezifische Wärme [J/(kgK)]
x, y, z	Raumkoordinaten [m]

Eine analytische Lösung für Gl. (11) lässt sich nur für den Sonderfall eines homogenen und isotropen Körpers mit eindimensionalem Wärmestrom und temperaturunabhängigen thermischen Materialeigenschaften finden. Zur Berechnung der Temperaturverteilung innerhalb brandbeanspruchter Bauteile müssen die temperaturabhängigen thermischen Materialeigenschaften Wärmeleitfähigkeit λ , spezifische Wärme c_p und Rohdichte ρ berücksichtigt werden. Damit ist die Zielgröße der Berechnung, die Temperatur, von temperaturabhängigen Eingangsparametern abhängig. Zur Lösung werden numerische Methoden wie die Finite Element Methode (FEM) oder die Methode der Finiten Differenzen mit Integrationsverfahren über die Zeitschritte eingesetzt.

In die Berechnung der Temperaturverteilung gehen die Kennwerte für die thermischen Materialeigenschaften λ , c_p und ρ als charakteristische Größen X_k mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fi}$ ein. Dabei muss unterschieden werden, ob eine Vergrößerung des Kennwertes die Sicherheit erhöht – dann gilt Gl. (12) – oder die Sicherheit verkleinert – hierfür gilt Gl. (13):

$$X_{fi,d} = \frac{X_{k,\Theta}}{\gamma_{M,fi}} \quad (12)$$

$$X_{fi,d} = X_{k,\Theta} \cdot \gamma_{M,fi} \quad (13)$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,fi}$ werden in den Eurocodes 2 bis 5 und in den zugehörigen Nationalen Anhängen einheitlich zu $\gamma_{M,fi} = 1,0$ festgesetzt.

Hinweise zur praktischen Durchführung der thermischen Analyse werden von Richter in [11] am Beispiel von Stahlbetonstützen gegeben.

Mechanische Analyse

Ohne genauen Nachweis dürfen für den Reduktionsfaktor η_{fi} (vgl. Gl. (9)) die in Tabelle 2 aufgeführten Werte angesetzt werden.

Tabelle 2 Reduktionsfaktor η_{fi} zur Ermittlung der mechanischen Einwirkungen im Brandfall aus den Einwirkungen bei Normaltemperatur

Brandschutzteil der Eurocodes und NA	Reduktionsfaktor η_{fi}
2 und 4	0,7
3 und 5	0,65

Für Bauteile und Tragwerke wird der brandschutztechnische Nachweis in der Regel als Querschnittsanalyse und / oder Analyse des Systemverhaltens durchgeführt. Dabei wird von der Temperaturverteilung im Bauteilquerschnitt ausgegangen, zusätzlich werden die temperaturabhängigen Baustoffeigenschaften (Festigkeit, Elastizitätsmodul, thermische Dehnung) berücksichtigt.

In der Querschnittsanalyse wird die plastische Tragfähigkeit des Bauteilquerschnitts berechnet und mit der betreffenden Schnittgröße aus den im Brandfall maßgebenden mechanischen Einwirkungen verglichen, das Verformungsverhalten der Bauteile oder Tragwerke wird nicht berechnet. Ein typischer Anwendungsfall ist ein statisch bestimmt gelagerter Balken oder Träger, für den die über die Branddauer t mit der Erwärmung des Querschnitts veränderliche Biegemomententragfähigkeit $M_{R,fi,d,t}$ und das Biegemoment in Feldmitte $M_{E,fi,d,t}$ gegenüber gestellt werden (Bild 4):

$$M_{E,fi,d,t} \leq M_{R,fi,d,t} \quad (14)$$

Bei der Systemanalyse wird das Trag- und Verformungsverhalten unter Brandeinwirkung berechnet. Typische Anwendungen sind brandschutztechnische Bemessungen schlanker Druckglieder und statisch unbestimmter Systeme wie Rahmentragwerke und Durchlaufträger, bei denen die Beanspruchung von den Verformungen des Bauteils oder Tragwerks abhängt (z. B. Einwirkungen nach Theorie 2. Ordnung bei schlanken Stützen bzw. thermisch bedingte Zwangsschnittgrößen bei statisch unbestimmten Systemen).

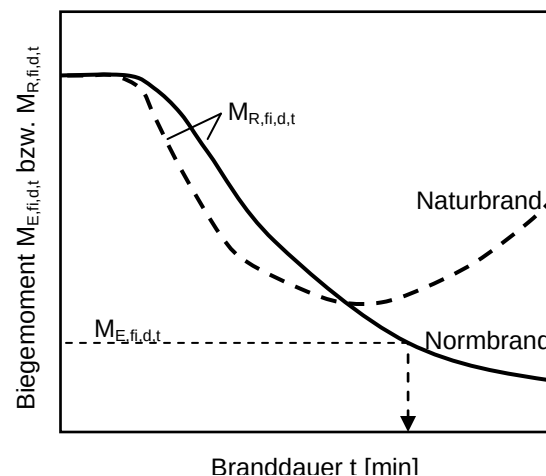


Bild 4 Prinzipieller Verlauf der Biegemomententragfähigkeit und des vorhandenen Biegemomentes im Brandfall bei statisch bestimmt gelagerten Balken

Grundlage der brandschutztechnischen Bauteil- und Tragwerksanalyse sind die temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungslinien und thermischen Dehnungen der Baustoffe. Die Abschnitte 3 der Brandschutzteile der Eurocodes 2, 3 und 4 enthalten alle wesentlichen Informationen zur temperaturabhängigen Veränderung der mechanischen Baustoffwerte. Zur numerischen Beschreibung temperaturabhängiger Spannungs-Dehnungslinien und der thermischen Dehnungen sind Gleichungen angegeben. Eingangsparameter sind die charakteristischen Werte (5 %-Fraktile) der maßgebenden Festigkeiten f_{ck} , f_{yk} bzw. f_{ay} , beim Spannstahl wegen des Fehlens einer ausgeprägten Streckgrenze der Wert $0,9 \cdot f_{pk}$ (Näheres hierzu siehe [11]).

Zur Ermittlung der Bemessungswerte werden die charakteristischen Werte durch die von den Streuungen der Baustoffkennwerte abhängigen Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,fi}$ dividiert:

$$X_{fi,d} = k_{\Theta} \cdot \frac{X_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (15)$$

mit

k_{Θ} temperaturabhängiger Reduktionsfaktor für Festigkeit und E-Modul des Baustoffs

$\gamma_{M,fi}$ Teilsicherheitsbeiwert für den entsprechenden Baustoff im Brandfall

NATIONALE ANWENDUNG

Nationale Anhänge

Für die Anwendung der Brandschutzteile der Eurocodes EN 1991-1-2 usw. in Deutschland sind zusätzlich die Nationalen Anhänge (NA) zu beachten. In den NA sind einerseits Festlegungen für die „national festzulegenden Parameter“ (englisch: NDP) zu treffen, für die in den Eurocodes Vorschlagswerte angege-

ben sind mit dem ausdrücklichen Hinweis auf eine mögliche Anpassung im Nationalen Anhang. Außerdem muss festgelegt werden, wie mit alternativ angebotenen Nachweismethoden zu verfahren ist, die hauptsächlich in informativen Anhängen zu den Eurocode-Teilen beschrieben sind.

Die Auswirkungen der in den Brandschutzteilen der Eurocodes geregelten Nachweisverfahren auf das brandschutztechnische Sicherheitsniveau wurden in verschiedenen Forschungsvorhaben im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) [12] - [16] eingehend untersucht. Dabei wurden auch umfangreiche Vergleiche zwischen den vorgeschlagenen Bemessungsmethoden und Simulationen mit allgemeinen Rechenverfahren sowie Ergebnissen von Brandversuchen durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen und ihre Konsequenzen für die Anwendung der einzelnen Eurocode-Teile wurden in Arbeitsgruppen des DIN-Spiegelausschusses "Konstruktiver Brandschutz" beraten. Auf dieser Grundlage wurden Entwürfe für die Nationalen Anhänge erarbeitet. Im Folgenden werden die Vorschläge für die nationalen Festlegungen zusammenfassend dargestellt.

NA zu EN 1991-1-2

Bei brandschutztechnischen Nachweisen für Tragwerke im Hochbau ist grundsätzlich die Einheitstemperaturzeitkurve anzuwenden. Die Anforderungen an die zu berücksichtigende Branddauer werden in der anzuwendenden Landesbauordnung und hierzu erlassenen Verordnungen oder Richtlinien vorgegeben.

Zum Nachweis des Raumabschlusses bei nichttragenden Außenwänden und aufgesetzten Brüstungen darf als Brandbeanspruchung von außen die Außenbrandkurve (abgeminderte ETK) angesetzt werden. Für die Innenseite der Bauteile gilt die Einheitstemperaturzeitkurve. Für Tragwerksteile von Hochbauten, die ganz vor der Fassade des Gebäudes liegen, darf ebenfalls die Außenbrandkurve angesetzt werden, sofern nicht die thermischen Einwirkungen nach dem informativen Anhang B ermittelt werden.

Naturbrandmodelle dürfen im Einzelfall mit Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde angewendet werden. Die Nachweise sind durch einen hierfür qualifizierten Prüfsachverständigen bzw. Prüfsachverständigen (nach Landesrecht) zu prüfen.

Das vereinfachte Naturbrandmodell für Raumbrände nach dem informativen Anhang A darf in Deutschland nicht angewendet werden. Statt dessen wird ein im Anhang 1 zum Nationalen Anhang beschriebenes vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Naturbrandkurven empfohlen. Die Erwärmungsbedingungen von Bauteilen im Einflussbereich eines lokal begrenzten Brandes dürfen mit dem im informativen Anhang C gegebenen Verfahren berechnet werden.

Als Eingangsdaten für allgemeine Brandmodelle werden im informativen Anhang E Brandlasten und Energiefreisetzungsraten angegeben, die in Deutschland nicht angewendet werden dürfen. Statt dessen werden die erforderlichen Eingangsdaten in Anhang 2 zum Nationalen Anhang konsistent festgelegt.

NA zu EN 1992-1-2

Nach EN 1992-1-2 darf der Wert für die thermische Leitfähigkeit von Beton im Bereich zwischen unterem und oberem Grenzwert festgelegt werden. Für Deutschland gilt die obere Grenzfunktion.

Allgemeine Rechenverfahren dürfen nur in Abstimmung mit der Bauaufsichtsbehörde für brandschutztechnische Nachweise von Einzelbauteilen, Tragwerken und Gesamttragwerken angewendet werden. Die Nachweise sind von einem hierfür qualifizierten Prüfsachverständigen zu prüfen.

Für den Reduktionsfaktor zur Ermittlung der mechanischen Einwirkungen im Brandfall gilt $\eta_{fi} = 0,7$.

Bei Durchlaufplatten muss die Stützbewehrung an jeder Stelle gegenüber der nach EN 1992-1-1 erforderlichen Stützbewehrung um $0,15 l$ verlängert werden, wobei l die Stützweite des angrenzenden größeren Feldes ist.

Die Regelungen für Bauteile aus hochfestem Beton werden zum Teil außer Kraft gesetzt, da sie nicht mit Erkenntnissen aus experimentellen und theoretischen Untersuchungen übereinstimmen.

Von den in den informativen Anhängen beschriebenen alternativen Nachweisverfahren dürfen nur die sog. Zone-Methode für Querschnitte mit Biegung und Längskraft nach Anhang B sowie das vereinfachte Rechenverfahren nach Anhang E für biegebeanspruchte Balken und Platten ohne Einschränkung angewendet werden.

NA zu EN 1993-1-2

Erweiterte Berechnungsverfahren dürfen nur im Einzelfall mit Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde angewendet werden. Durch Validierungsberechnungen muss nachgewiesen werden, dass die maßgebende Versagensart des Tragwerkes, das temperaturabhängige Verhalten von Baustoffen und Bauteilen und die thermischen Dehnungen und Verformungen zutreffend erfasst werden.

Vereinfachend darf angenommen werden, dass Bauteile mit Querschnitten der Querschnittsklasse 4 ihre lastabtragende Funktion zum Zeitpunkt t eines gegebenen Brandes erfüllen, sofern die Stahltemperatur θ_a an keiner Stelle des Querschnitts den Wert $\Theta_{crit} = 350 \text{ °C}$ übersteigt.

Die in Anhang G angegebenen Materialeigenschaften und Berechnungsregeln dürfen nur für die Bemessung von Bauteilen aus den Stahlsorten 1.4301, 1.4401, 1.4571, 1.4003 und 1.4462 verwendet werden. Bei der Bemessung von dünnwandigen Bauteilen mit Querschnitten der Querschnittsklasse 4 sind die Regeln des Anhangs E zu beachten. Für die Bemessung von geschraubten und geschweißten Verbindungen darf alternativ zu den in EN 1993-1-2 angegebenen Regeln der Anhang D angewendet werden.

NA zu EN 1994-1-2

Nach EN 1994-1-2 darf der Wert für die thermische Leitfähigkeit von Beton im Bereich zwischen unterem und oberem Grenzwert festgelegt werden. Übereinstimmend mit EN 1992-1-2 gilt für Deutschland die obere Grenzfunktion.

Allgemeine Rechenverfahren dürfen nur nach Abstimmung mit der Bauaufsichtsbehörde für brandschutztechnische Nachweise von Einzelbauteilen, Tragwerken und Gesamttragwerken angewendet werden. Die Nachweise sind von einem hierfür qualifizierten Prüfenieur zu prüfen.

Als Knicklänge von Verbundstützen in horizontal ausgesteiften Tragwerken gilt der 0,5-fache Wert der Systemlänge L in einem Normalgeschoss bzw. der 0,7-fache Wert im Dachgeschoss (ohne obere Einspannung der Stützen). Auf verschiebbliche Systeme ist das vereinfachte Nachweisverfahren nicht anwendbar.

NA zu EN 1995-1-2

Für den Reduktionsfaktor zur Ermittlung der mechanischen Einwirkungen im Brandfall gilt bei Nutzlasten der Kategorie E nach DIN EN 1991-1-2 der Abminderungsfaktor $\eta_{fi} = 0,7$, ansonsten ist $\eta_{fi} = 0,6$ zu verwenden.

Beide vereinfachte Rechenverfahren für die Ermittlung der Querschnittstragfähigkeit - die Methode mit reduziertem Querschnitt und die Methode mit reduzierten Eigenschaften - dürfen in Deutschland angewendet werden.

Die informativen Anhänge A bis E mit erweiterten Nachweismöglichkeiten sollen ebenfalls für die nationale Anwendung freigegeben werden.

Weiteres Vorgehen

Die Entwürfe der Nationalen Anhänge sollen im September 2007 im DIN-Spiegelausschuss "Konstruktiver Brandschutz" beraten und als Normentwürfe verabschiedet werden. Anschließend erfolgt die Abstimmung mit der Arbeitsgruppe "Europäische Brandschutzbemessungsnormen" der Fachkommissionen Bauaufsicht und Bautechnik der ARGEBAU. Sofern es von dort keine gravierenden Bedenken gegen die nationalen Festlegungen gibt, werden die Normentwürfe zur durch das DIN veröffentlicht mit einer Frist zur Stellungnahme durch betroffene Fachkreise. Parallel dazu werden durch Publikationen und Workshops Grundlagen und Anwendungen der Nachweise bekannt gemacht.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Dieser Beitrag gibt einen Einblick in die Brandschutzteile der Eurocodes, die als europäisch harmonisierte Normen verabschiedet wurden und inzwischen in deutscher Ausgabe als DIN EN-Normen erschienen sind. Diese Normen werden die Brandschutzpraxis verändern, weil sie neben Nachweisen mit tabel-

larischen Daten, wie wir sie bisher aus der DIN 4102-4 gewohnt sind, auch vereinfachte und allgemeine Rechenverfahren regeln. Diese Verfahren können nur von qualifizierten Fachleuten angewendet werden. Da sich die rechnerischen Brandschutznachweise an den Tragwerksnachweisen für die Gebrauchslastfälle bei Normaltemperatur anlehnen und zum Teil deren Ergebnisse weiter verwenden, sind die Tragwerksplaner hierfür prädestiniert. Allerdings müssen sie dazu auch die brandschutztechnischen und physikalischen Grundlagen beherrschen und Erfahrung in deren Anwendung gesammelt haben.

Die Nachweise mit tabellarischen Daten (in den Eurocodes 2 und 4) und die vereinfachten Rechenverfahren unter Vorgabe einer nominellen Brandbeanspruchung nach der Einheitstemperaturzeitkurve zur Erfüllung bauordnungsrechtlicher Brandschutzanforderungen werden in Deutschland - bis auf einige Ausnahmen - ohne Einschränkungen zugelassen. Hingegen wird es bei den sog. allgemeinen Rechenverfahren (d. h. numerischen Simulationsverfahren) und bei der Definition der Brandbeanspruchung mit einem Naturbrandmodell die Auflage geben, dass die betreffenden Nachweise nur im Einzelfall mit Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde angewendet werden dürfen und durch einen hierfür qualifizierten Prüfsachverständigen (nach Landesrecht) zu prüfen sind.

Der Autor dankt den Federführenden der baustoffbezogenen Arbeitsgruppen im DIN-Spiegelausschuss "Konstruktiver Brandschutz", insbesondere den Herren Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. G. Sedlacek (EC 3), Prof. Dr.-Ing. P. Schaumann (EC 4) und Prof. Dr.-Ing. S. Winter (EC 5), für die aktuellen Informationen zu den Entwürfen der Nationalen Anhänge.

LITERATUR

- [1] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. September 1977
- [2] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Teil 3: Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. September 1977
- [3] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. März 1994
- [4] Hosser, D. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdb TB 04/01, 1. Auflage Mai 2006. Altenberge, Braunschweig: vfdb, 2006
- [5] EN 1990: Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung. April 2002
- [6] EN 1991-1-1: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. April 2002

- [7] EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Dezember 2004
- [8] EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Mai 2005
- [9] EN 1994-1-1: Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Dezember 2004
- [10] EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. November 2004
- [11] Richter, E.: Brandschutzbemessung von schlanken Stahlbetonstützen - Vergleich DIN 4102 Teil 4 und Teil 22 mit Eurocode 2 Teil 1-2. In: Braunschweiger Brandschutz-Tage '07, 26. und 27. September 2007 in Braunschweig; Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 199, Braunschweig, 2007
- [12] Hosser, D., Kampmeier, B., Zehfuß, J.: Überprüfung der Anwendbarkeit von alternative Ansätzen nach Eurocode 1 Teil 1-2 zur Festlegung von Brandschutzanforderungen bei Gebäuden. Schlussbericht zum DIBt-Vorhaben ZP 52-5-3.83-1041/03. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Braunschweig, Dezember 2004
- [13] Hosser, D., Richter, E.: Überführung von EN 1992-1-2 in EN-Norm und Bestimmung der national festzulegenden Parameter (NDP) im Nationalen Anhang zu EN 1992-1-2. Schlussbericht zum DIBt-Vorhaben ZP 52-5-7.240-1132/04. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Braunschweig, Dezember 2006
- [14] Feldmann, M., Sedlacek, G., Heinemeyer, C.: Überführung in die EN-Fassung von Eurocode 3 Teil 1-2. Schlussbericht im Auftrag des DIBt. Lehrstuhl für Stahl- und Metallbau, Aachen, Oktober 2004
- [15] Schaumann, P., Kettner, F., Ostheer, S.: Bestimmung der thermischen Materialkennwerte von Normalbeton für die brandschutztechnische Bemessung von Verbundbauteilen nach EC 4 Teil 1-2. Schlussbericht zum DIBt-Vorhaben P 32-5- 17.13-1051/03. Institut für Stahlbau, Hannover, Juli 2004
- [16] Scheer, C., Winter, S., Peter, M., Meyn, W.: Überführung in die EN-Fassung von Eurocode 5 Teil 1-2 (Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Allgemeine Regeln: Bemessung für den Brandfall) – Überprüfung des Sicherheitsniveaus. Forschungsbericht zum DIBt-Vorhaben. Berlin, Februar 2005

UMSETZUNG DER EUROPÄISCHEN KLASSIFIZIERUNG VON BAUPRODUKTEN, BAUSÄTZEN UND BAUARTEN

Jürgen Wesche
Leverkusen

EINLEITUNG

Mit Einführung der neuen europäischen Klassifizierungen für Bauprodukte und Bauarten in das bauaufsichtliche Verfahren werden für alle Beteiligten erhebliche Probleme auftreten. Einerseits ist das neue System noch kaum bekannt und andererseits sind die konkreten Anwendungen in Verbindung mit den Übergangsregelungen z. T. noch nicht klar definiert bzw. die „Bezugsquellen“ für die Umsetzung unbekannt. Durch die neuen europäischen Klassen werden sich zwar die Schutzziele Bauordnungen der Länder nicht verändern, d. h., das bauaufsichtliche Konzept und die Nachweissysteme bleiben erhalten, es kommen jedoch Produkte und Bauarten mit neuen europäischen Klassen auf den Markt, die den Anwendern weitgehend unbekannt sind und deren Anwendungsproblematik nicht erkannt wird.

Dieser Beitrag kann in der gebotenen Kürze nur einen groben Einblick und Hinweise geben, wo und wie sich die Anwender über das neue System informieren können.

EUROPÄISCHE KLASSIFIZIERUNGEN

Baustoffklassifizierung

Nach deutschem Bauordnungsrecht werden Baustoffe hinsichtlich des Brandverhaltens nichtbrennbare und brennbare Baustoffe unterschieden. Diese beiden Zuordnungen unterteilen sich entsprechend dem alten nationalen Prüfverfahren DIN 4102 Teil 1 weiter in fünf Baustoffklassen (A1, A2, B1, B2 und B3)

Durch die Festlegungen der DIN EN 13501-1 gibt es künftig sieben Baustoffklassen. Da ebenfalls die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen bei der Klassifizierung mit berücksichtigt werden, entstehen insgesamt vierzig unterschiedliche Möglichkeiten der Baustoffklassifizierung. Die Anforderungen an Baustoffe in den nationalen gesetzlichen Regelungen erfassen nicht diese Vielfalt. Daher wird für die Anpassung der europäischen Klassifizierung an das deutsche Baurecht und im Vergleich mit der Klasseneinteilung der Baustoffe nach DIN 4102 eine Zuordnung der Baustoffklassen zu den jeweiligen bauaufsichtlichen Anforderungen benötigt. Eine solche Zuordnung ist in den Anlagen 0.2.1 und 0.2.2 zur Bauregelliste A Teil 1 - Ausgabe 2007/1 veröffentlicht worden und wird verkürzt und zusammengefasst in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Zuordnung der Baustoffklassen (ausgenommen Bodenbeläge)

Bauaufsichtliche Anforderung	Zusatzanforderungen		EN Klasse nach DIN EN 13501-1	Klasse nach DIN 4102-1
	kein Rauch	kein brenn. Abtropfen		
Nichtbrennbar	X	X	A1	A1
	X	X	A2 - s1 d0	A2
Schwerentflammbar	X	X	B, C - s1 d0	B1 ¹⁾
		X	B, C - s3 d0	
	X		B, C - s1 d2	
			B, C - s3 d2	
Normalentflammbar		X	D - s3 d0 E	B2 ¹⁾
			D - s3 d2	
			E - d2	
Leichtentflammbar			F	B3
¹⁾ Angaben über hohe Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen/Abfallen im Verwendbarkeitsnachweis und in der Kennzeichnung				

Bauteilklassifizierung

Nach dem deutschen Baurecht werden zukünftig die Bauteile überwiegend unterteilt in feuerhemmende, hochfeuerhemmende und feuerbeständige Bauteile. Im nationalen DIN 4102-Kontext gibt es unterschiedliche Klassifizierungsindizes, F, G, S, R, K, L usw., die nicht die Leistung der Klasse beschreiben, sondern bauteilorientiert sind.

Durch die Festlegungen nach DIN EN 13501-2 gibt es Bauteilklassen, die „leistungsorientiert“ definiert sind. Die jeweiligen Klassen sind aus Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2 Kurzzeichen der Europäischen Bauteilklassen

Herleitung des Kurzzeichens	Kriterium
R (Résistance)	Tragfähigkeit
E (Étanchéité)	Raumabschluss
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung)
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)
S _m (Smoke)	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate) bei 200 °C
C ..(Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele) einschl. Dauerfunktion
P PH	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung
I ₁ , I ₂	Unterschiedliche Wärmedämmungskriterien
i → o i ← o i ↔ o (in – out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsfähigkeit
a → b a ← b a ↔ b (above – below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsfähigkeit
v _e , h _o (vertical, horizontal)	vertikal / horizontal
K ₁ , K ₂	Brandschutzvermögen
U/U, C/U, U/C (capped/uncapped)	offene (U), geschlossene (C) Rohrenden

Eine Zuordnung der nationalen Anforderungen zu den nationalen bzw. den europäischen Klassen ist den Anlagen 0.1.1 bzw. 0.1.2 der BRL A Teil 1 zu entnehmen. Einige Beispiele sind in der folgenden Tabelle 3 wiedergegeben.

Die europäischen Klassifizierungsnormen sind für die Hersteller von maßgebender Bedeutung. Diese müssen entscheiden, wann sie welche Bauprodukte oder Bauarten über die neuen europäischen Spezifikationen nachweisen wollen. Für den Planer und Bauherren und für alle anderen Partner am Bau sind jedoch die durch Bauordnung vorgegebenen Verwendbarkeits- und Anwendbarkeitsnachweise maßgebend, so dass sie zukünftig auswählen können zwischen den verschiedenen Systemen.

Tabelle 3 Zuordnung der Bauteilklassen zu bauaufsichtlichen Anforderungen

Bauaufsichtliche Anforderungen	Tragende Bauteile		Nichttragende Innenwände	Nichttragende Außenwände	Selbständige Unterdecken
	ohne Raumabschluss	mit Raumabschluss			
feuerhemmend europäisch	R 30	REI 30	EI 30	E30 (i→o) und EI 30 (i←o)	EI 30 (a↔b)
national	[F 30]	[F 30]	[F 30]	[W 30]	[F 30 von beiden Richtungen]
hochfeuerhemmend europäisch	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i→o) und EI 60 (i←o)	EI 60 (a↔b)
national	[F 60]	[F 60]	[F 60]	[W 60]	[F 60 von beiden Richtungen]
feuerbeständig europäisch	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i→o) und EI 90 (i←o)	EI 90 (a↔b)
national	[F 90]	[F 90]	[F 90]	[W 90]	[F 90 von beiden Richtungen]
Brandwand	-	REI-M 90	EI-M 90	-	-

ÜBERARBEITUNG DER BAUPRODUKTENRICHTLINIE

Vor etwa 20 Jahren wurde die erste Bauproduktenrichtlinie (BPR) verabschiedet. Inzwischen gibt es den Entwurf einer überarbeiteten BPR, da sich herausgestellt hat, dass viele Ansätze der alten BPR nicht in den Mitgliedsländern umsetzbar sind. Dazu gehören auch die Themen „Beibehalten alter nationaler Nachweise“, „Umsetzungsmechanismen“, „Koexistenzphase bei europäischen Zulassungen“ usw..

Aus diesen Überlegungen lassen sich zunächst folgende Ansätze für die Umsetzung ableiten:

- Es sollen Missverständnisse und Ineffizienz ausgeräumt werden.
- Es sollen Verfahren gefördert werden, die schneller und kostengünstiger sind, d. h. die Prüfungen sollen zurückgefahren werden und die Verfahrenswege sollen vereinfacht werden.
- Es soll versucht werden, nationale Behinderungen der Richtlinie zu begrenzen.

- Es sollen nationale Wege bewusst offen gehalten werden bei z. B. „Kleinserien“ und in Bereichen, bei den die Koexistenz nicht schadet bzw. aus formalen Gründen anerkannt werden muss.

NATIONALE BAUAUFSICHTLICHE VORGABEN

Auch nach der Einführung des europäischen Klassifizierungssystems werden im bauaufsichtlichen Verfahren die folgenden Anwend- bzw. Verwendbarkeitsnachweise gelten:

- allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ),
- allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) und
- Zustimmung im Einzelfall (ZiE).

Diese Nachweise werden ergänzt durch „Europäische Nachweise“:

- europäischen Produktnormen,
- europäisch technische Zulassungen (ETA) auf der Grundlage von EOTA-Guidelines (ETAG),
- europäisch technische Zulassungen auf der Grundlage der Bauproduktenrichtlinie § 9 (2), jeweils mit dem entsprechenden CE-Zeichen, und
- auf der Grundlage der Tabellenwerte der Eurocodes sowie
- einer möglichen deemed-to-satisfy-Liste, die als europäischer Ersatz für DIN 4102-4 zu betrachten ist.

Die wesentlichen bauaufsichtlichen Instrumente, die der Anwender zu berücksichtigen hat, sind in den jeweiligen Landesbauordnungen festgelegt, dazu gehören neben der Landesbauordnung selbst folgende Regeln:

- Bauregelliste (BRL), BRL A Teil 1, BRL B Teil 1 und Teil 2.
- Die Liste der Technischen Baubestimmungen mit den Teilen I bis III.

In allen Listen sind Anlagen aufgeführt, die Anwendungseinschränkungen der europäischen Bauprodukte bzw. erforderliche nationale Ergänzungsnachweise darstellen.

DARSTELLUNG DER PROBLEMATIK

Die Problematik im zukünftigen Nachweissystem wird darin liegen, dass für gleiche Bauteile möglicherweise unterschiedliche Nachweise verwendet werden können, insbesondere in der Übergangsphase, wo gerade für Bauteile die alten DIN 4102-Nachweise konkurrieren mit den DIN EN-Nachweisen und dabei

durchaus nationale Zulassungen in Konkurrenz stehen mit europäisch technischen Zulassungen, z. B. auf der Grundlage von Artikel 9 (2).

Man muss daher in der Zukunft mit einem zweigleisigen System leben, mit

- alten nationalen Nachweisen sowohl mit DIN – Klassifizierung als auch mit der EN – Klassifizierung und
- europäische Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte und Bausätze.

Die Anwender wissen kaum, wann und wie diese Nachweise eingesetzt werden können, wo sie Informationen darüber erhalten und wie lange sie noch mit den alten nationalen Nachweisen leben können.

Eine zusätzliche Schwierigkeit liegt darin, dass auch bei den Gesetzgebern und den maßgebenden Gremien noch keine abschließende Gewissheit herrscht, wann welches System zum Tragen kommt, da u. a. nicht absehbar ist, wann die Normungsschiene abgeschlossen werden kann und wie sich die interessierten Kreise – die auch unterschiedliche Interessen einbringen – verhalten werden. Die Entscheidungen werden auch unter wirtschaftspolitischen Aspekten getroffen.

Es kann auch nicht geleugnet werden, dass die Problematik in Deutschland bisher noch nicht voll erkannt wurde, insbesondere nicht die daraus abzuleitenden wirtschaftlichen Folgen. Bereits jetzt zeichnet sich ab, dass eine pragmatische Umsetzung der europäischen Klassifizierung behindert wird durch „formale Bedenken“ der üblichen Verdächtigten.

Die offenen Fragen werden stellvertretend für viele Bauprodukte, Bausätze und Bauarten an einigen Beispielen dargestellt, die charakteristisch sind für verschiedene Produktfamilien:

- Wie werden zukünftig Baustoffe (Bauprodukte) behandelt, bei denen die nationalen Produktnormen durch DINEN –Produktnormen abgelöst werden? (Beispiel GKF-Platten nach DIN 18180 durch DIN EN 520).
- Wie sind die national geregelten Bauarten nach DIN 4102-4:1994-03 im Bauwerk einzusetzen, wenn die verwendeten Bauprodukte nach europäischen Produktnormen hergestellt werden und die alten nationalen Produktnormen zurückgezogen wurden? (Beispiel Decken unter Verwendung von HWL-Platten nach DIN 1101 durch DIN EN 13168)
- Wie geht man mit Bauteilen (Bauprodukte, Bausätze und Bauarten) um, die bisher durch eine nationale Zulassung (abZ) bzw. durch ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) nachgewiesen wurden und für die es zukünftig auch europäische technische Zulassungen (ETA) auf der Basis von Guidelines (ETAG) gibt? (Beispiel Trennwände nach abP bzw. Abschottungen nach abZ, die auch über eine ETA auf der Basis von ETAG 003 bzw. ETAG 018 nachgewiesen werden können).

- Wie geht man mit anderen Bauteilen um, die zukünftig über eine europäische „Produktnorm“ nachwiesen werden? (Beispiel Feuerschutzabschlüsse, Unterdecken und Verglasungen).

ANSÄTZE ZU PROBLEMLÖSUNGEN

Allgemeines

Es gibt einige verhältnismäßig klar erkennbare Wege, die nicht verlassen werden können, es gibt aber auch verschlungene Pfade, bei denen individuell entschieden werden muss, welchen Weg man einschlägt. Darüber hinaus gibt es zur Zeit auch noch nicht erschlossene Urwälder ohne Wege. Dieser Beitrag soll als Wegweiser dienen, die richtige Orientierung zu finden. Eine Gewähr, dass nicht Hindernisse die Ankunft erheblich verzögern, gibt es nicht.

Bauprodukte (Baustoffe)

Auch der neue Ansatz der BPR ändert nichts an der seit langem bekannten Vorgabe, dass ein Bauprodukt nach europäischer Produktnorm nach einer vorgegebenen Koexistenzphase national in Verkehr gebracht werden muss und dass die nationale Produktnorm, die den gleichen Bereich abdeckt, zurückgezogen werden muss. Es dürfen danach lediglich noch Lagerbestände verkauft und eingebaut werden.

Ob das CE-Bauprodukt auch ohne Einschränkung nach den bauaufsichtlichen Vorgaben verwendet werden kann, ist dabei nicht automatisch sichergestellt, es bedarf je nach nationalen Schutzzielen ggf. weiterer nationaler Nachweise, s. BRL B Teil 1 und Teil 2 bzw. Liste der Technische Baubestimmungen Teile II und III, z. B.

- schwerentflammbare Baustoffe, die z. Zt. noch nicht abschließend europäisch geregelt werden können und einer zusätzlichen nationalen Zulassung bedürfen oder
- Gipskartonplatten, für die neben der europäischen Norm EN 520 eine Restnorm DIN 18180 erarbeitet wurde. Für diese Bauprodukte wird eine eindeutige Kennzeichnung vorgegeben, s. Bild 1. Bei diesen Platten werden dann z. B. in Bild 1 Angaben zur Baustoffklasse, z. B. A2-s1, d0 und ggf. auch zur Feuerwiderstandsdauer bei Zulassungsprodukten über einen „initial typ test“ ergänzt werden müssen.

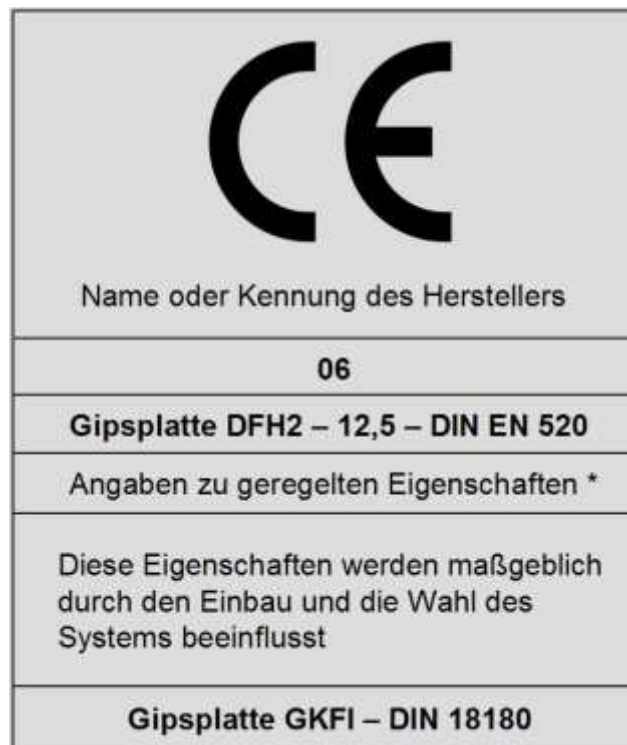


Bild 1 Kennzeichnung von Gipskartonplatten

DIN 4102-4-Bauteile

Die dort geregelten Bauteile dürfen nach der heutigen Interpretation auch zukünftig unbegrenzt angewendet werden, da Bauarten – das Zusammenfügen von Bauprodukten zu Bauteilen – europäisch nicht geregelt werden.

Die Problematik liegt darin, dass die in DIN 4102-4 aufgelisteten Bauprodukte zur Errichtung der Bauarten grundsätzlich nach nationalen Produktnormen hergestellt werden, die z. T. schon ersetzt sind bzw. in Kürze ersetzt werden durch europäische Produktnormen.

Der zuständige Normenausschuss hat unter Beteiligung der Bauaufsicht einen klaren Weg aufgezeichnet, wie dieses Problem zu lösen ist.

- Die Produkthersteller müssen unter Beteiligung der anerkannten Prüfstellen nachweisen, dass die europäischen Bauprodukte ein mit den früheren nationalen Baustoffen vergleichbares Brandverhalten aufweisen.
- Nach Überprüfung dieses Nachweises durch den Normenausschuss wird das europäische Bauprodukt in die Liste der mitgeltenden Normen aufgenommen und ersetzt die in DIN 4102-4 vorgegebene nationale Baustoffnorm. Diese erweiterte Liste wird ständig angepasst und in die Liste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen.

Der Autor hofft, dass die Prüfstellen pragmatische Ansätze zum Vergleich der Produktnormen finden und nicht ein „großes Prüfprogramm“ anwerfen, um das Brandverhalten der Produkte nach den europäischen Produktnormen bis auf die dritte Stelle nach dem Komma zu untersuchen. Die Bauprodukte sind Teil der Bauteile und haben i. A. einen untergeordneten Einfluss auf das Brandverhalten des gesamten Bauteils.

Nationale Bauteile und zukünftige europäisch technische Zulassungen (ETA)

Nach den jetzigen Vorstellungen der Kommission gibt es für eine ETA auf der Basis einer ETAG oder auf der Basis von § 9 (2) keine Koexistenzphase. Die Hersteller können daher zukünftig entscheiden, ob sie die alten, ggf. modifizierten Anwendbarkeitsnachweise behalten wollen oder ob sie eine europäische Zulassung anstreben, z. B.

- Trennwände nach DIN 4102-4 bzw. nach abP und nach ETA auf der Basis von ETAG 003 (Bild 2).

Diese Trennwände können zukünftig als verglaste Trennwände folgende Verwendbarkeits- bzw. Anwendbarkeitsnachweise aufweisen:

CE-Zeichen auf der Basis ETAG 003, ggf. mit einem zusätzlichen Übereinstimmungsnachweis, der möglicherweise nach BRL bzw. Liste 2 der Technischen Baubestimmungen gefordert wird,

abZ für eine Verglasung nach bisherigem Nachweisverfahren,

abP, wenn es eine Trennwand ohne Verglasungen ist.



Bild 2 Trennwände

- Abschottungen nach abZ und nach ETA auf der Basis von ETAG 018. Es wird daher auch zukünftig national zugelassene Kombiabschottungen entsprechend Bild 3 geben und europäisch technische Zulassungen auf der Basis von ETAG 018.

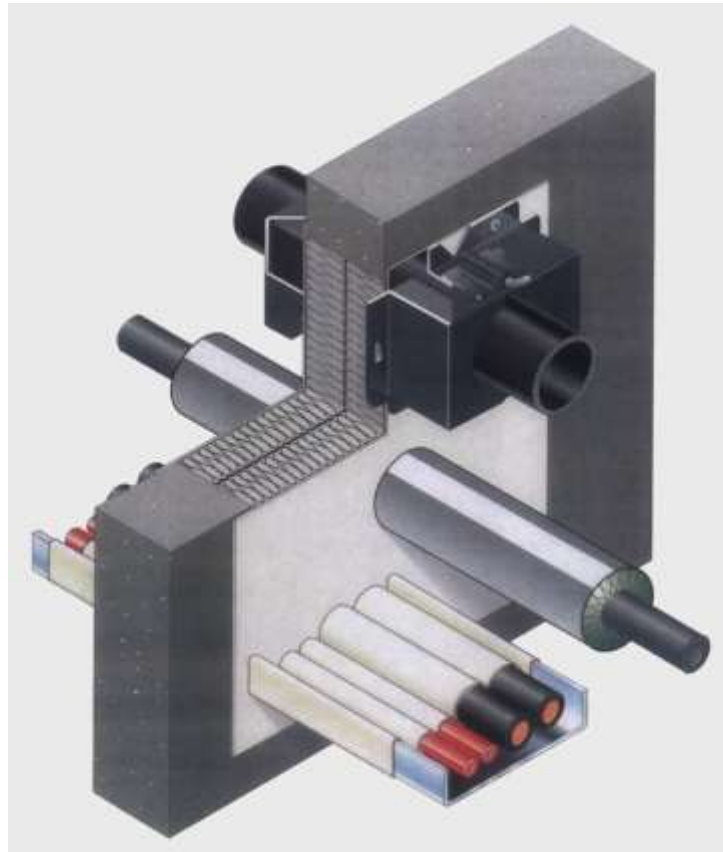


Bild 3 Kombiabschottung

Nationale Bauteile und europäische Produktnormen

Sobald europäische Produktnormen vorliegen, gibt es ein Koexistenzverfahren mit der Anforderung, dass nationale Normen, die die gleichen Schutzziele abdecken, nach Ablauf der Koexistenzphase zurückgezogen werden müssen.

Bei den Bauteilen gibt es aber im Regelfall keine vergleichbare nationale Produktnorm, sie wurden und werden i. A. über abP bzw. abZ auf der Basis anerkannter Prüfnormen und weiterer Spielregeln abgedeckt, z. B.

- Unterdecken über abP (BRL A Teil 2 oder Teil 3),
- Feuerschutzabschlüsse über abZ und
- Verglasungen über abZ.

Für diese Bauteile gibt es jetzt schon (DIN EN 13964 – Unterdecken) oder in naher oder ferner Zukunft „Produktnormen“, in denen nicht das Produkt unmittelbar beschrieben wird, sondern die Anforderungen dargestellt werden.

Nach diesen Produktnormen kann über einen „initial typ test“ auch der Leistungsnachweis zur Feuerwiderstandsfähigkeit für ein Bauteil unter Verwendung von Unterdeckenplatten, der Türelemente bzw. der Scheiben erbracht werden. Mit diesem Nachweis lässt sich dann ein Bauteil als „CE-Produkt“ kennzeichnen und bei entsprechender Klassifizierung auch im Bauwerk einsetzen.

Es ist noch nicht abschließend geregelt, inwieweit in diesen „Produktnormen“ auch unterschieden werden kann z. B. nach den verschiedenen Leistungstypen der Unterdecken nach Bild 4:

- Unterdecke in Verbindung mit der Rohdecke als Gesamtpaket oder
- Unterdecke als „horizontale Trennwand“ (Unterdecke allein).

Es ist zu bezweifeln, dass kurzfristig zumindest für die Feuerschutzabschlüsse und die Verglasungen die Normen, die den erweiterten Anwendungsbereich abdecken sollen, zur Verfügung stehen werden. Damit besteht die Gefahr, dass die europäischen „Bauprodukte“ nur einen begrenzten Anwendungsbereich abdecken.

Bei diesen Bauteilen wird daher der „Hersteller“ entscheiden müssen, ob er die alten nationalen Anwendbarkeitsnachweise behält bzw. auch neu beantragt für die nationale Anwendung von

- Unterdecken mit dem abP auf der Basis von BRL A Teil 3 (Bauart) und
- Feuerschutzabschlüssen und Verglasungen mit der abZ, jeweils mit einem umfangreichen Anwendungsbereich,

oder ob er auf der Basis der o. a. „Produktnormen“ einen CE-Nachweis mit einem möglicherweise wesentlich geringeren Anwendungsbereich anstrebt. Dieser Nachweis hätte allerdings den Vorteil, dass er in ganz Europa anerkannt würde und in einigen Ländern dann auch ein größerer Anwendungsbereich akzeptiert werden könnte.

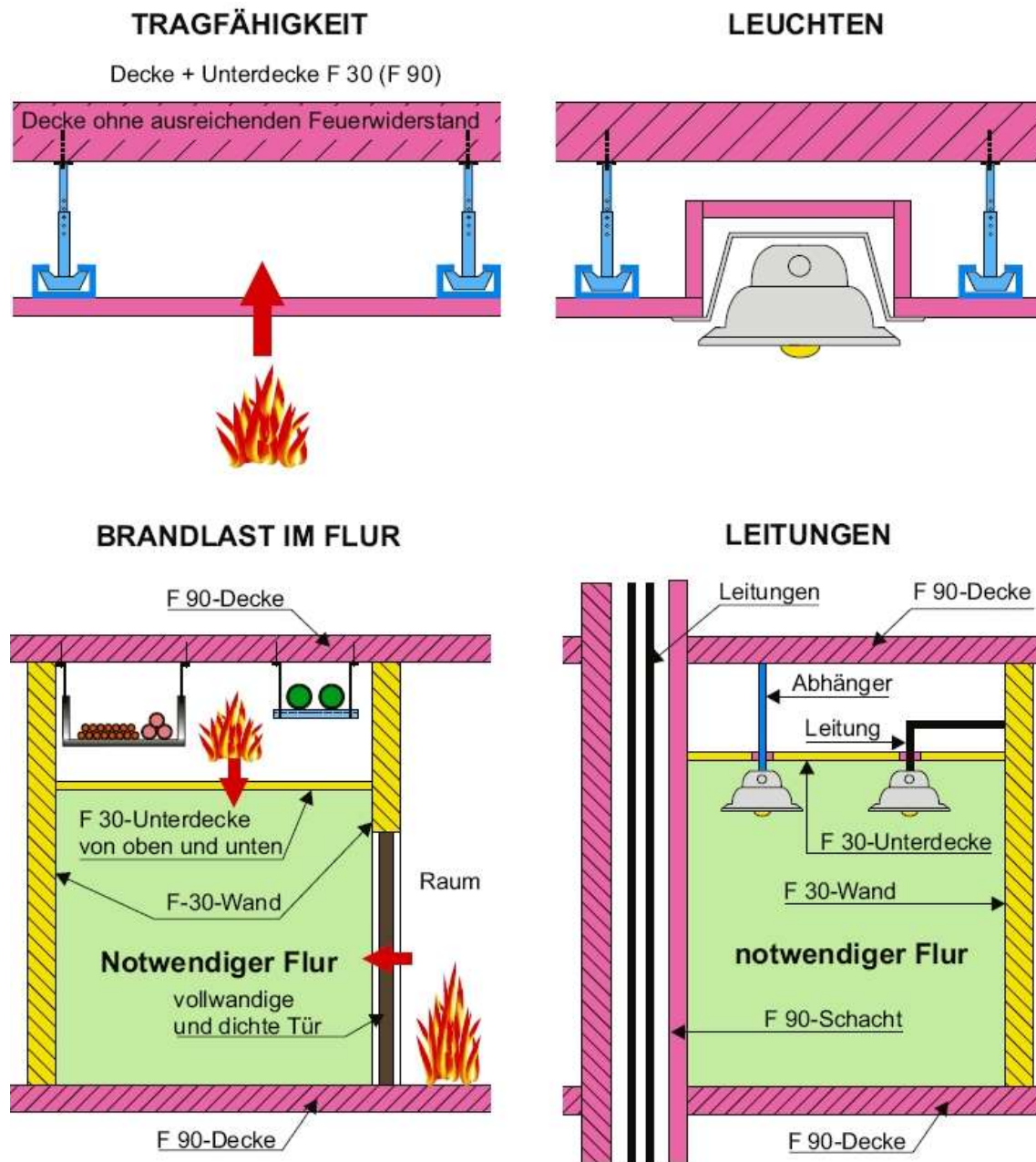


Bild 4 Unterdeckensysteme

Konstruktionen ohne europäische Nachweise

Es gibt eine Vielzahl von Bauteilen, für die z. Zt. noch keine vergleichbaren europäischen Produkt- oder Ausführungsnormen vorliegen. Hierfür gelten ohne jede Einschränkung die bisherigen nationalen Anwendbarkeitsnachweise in Form einer abZ oder eines abP, siehe auch Bild 5 (Lüftungsleitungen).



Bild 5 Lüftungsleitungen

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Auch nach über 20 Jahren BPR sind die Rahmenbedingungen für deren nationale Umsetzung noch nicht in allen Details geklärt und es gibt Bereiche, die auch im Lösungsansatz noch offen sind.

- Bei den Baustoffen mit einer Vielzahl von Produktnormen wird an den Vorgaben der Koexistenzphase festgehalten, d. h. es wird mehr und mehr „europäische“ Bauprodukte geben, die über die BRL ins Baurecht eingeführt werden.
- Bei den Bausätzen auf der Basis einer ETA bzw. auf der Basis von europäischen Produktnormen (Anwendungsnormen) wird langfristig eine Zweigleisigkeit über den nationalen und den europäischen Weg nicht auszuschließen sein.
- Bei den klassischen Bauarten, für die es keine europäischen Ansätze gibt, bleiben die nationalen Anwendungspfade bestehen, ggf. auch mit neuer europäischen Klassifizierung der nationalen Anwendungsdokumente (abZ, abP).

Alle am Bau Beteiligten müssen in der Lage sein, die anstehenden Probleme zu lösen, sie müssen sich mit den noch immer nicht hinreichend bekannten Grundlagen (BRL, Liste der Technischen Baubestimmungen Teil 1 bis 3 und der BPR) auseinandersetzen und für sich selbst pragmatische Entscheidungen im Hinblick auf die Umsetzung treffen.

Zu den am Bau Beteiligten zählen sich hoffentlich auch die „Regelgeber“ in Deutschland, die entscheidenden Anteil daran haben können, dass diese z. T. für den Normalverbraucher (Planer und Ausführende) sehr unübersichtlichen Systeme handhabbar werden. Mit rein formalen Entscheidungen wird häufig demonstriert, dass sich die „Regelgeber“ im Hinblick auf die praktische Anwendung des Regelwerkes "im Tal der Ahnungslosen" befinden.

PERSONENSICHERHEIT IN VERSAMMLUNGSSTÄTTEN – KRITISCHE ANALYSE UND VERBESSERUNGSVORSCHLÄGE

Burkhard Forell

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EINLEITUNG

Die Auswertung von Schadensereignissen in Versammlungsstätten wie Vergnügungsstätten [1] und in Sport-, insbesondere Fußballstadien [2] zeigt, dass gefährliche Umstände einerseits aus einem Brandereignis entstehen können, andererseits aber auch durch den Bewegungsvorgang selbst hervorgerufen werden können. Entsprechend ist für die Personensicherheit in Versammlungsstätten nachzuweisen [3], dass

- für alle Gebäudenutzer die Zeit $t_{\text{verfügbar}}$ bis zum Eintritt gefährdender Umstände durch ein Brandszenario länger ist als die Zeit $t_{\text{Räumung}}$ bis zum Erreichen eines gesicherten Bereiches; und
- die sonstigen Bedingungen des Räumungsvorgangs zu keiner Personengefährdung führen.

Für eine ingenieurgemäße Beurteilung der Personensicherheit in Versammlungsstätten stehen verschiedene Modelltypen zur Simulation von Schadensereignissen (Brandszenarien) und Räumungsverläufen zur Verfügung. Zudem sind Annahmen zu den Randbedingungen und insbesondere zum Personenverhalten zu treffen. Für den eigentlichen Nachweis der Personensicherheit stellt sich die Frage nach dem relevanten Nachweiskriterium und dessen zahlenmäßigen Beurteilungswert.

BESTANDTEILE DES NACHWEISVERFAHRENS

Die Bestandteile und der Ablauf des Nachweisverfahrens mit den einzelnen Einflussgrößen und verschiedenen Modelltypen sind in Bild 1 dargestellt. Die einzelnen Bestandteile werden im Folgenden bzgl. der Qualität der zur Verfügung stehenden Eingangsdaten und Modellen diskutiert.

BESTIMMUNG DER VERFÜGBAREN DAUER AUS DEM BRANDSZENARIO

Brandszenario

Häufig wird die Zeit $t_{\text{verfügbar}}$ übergeordnet festgelegt. Falls die Zeit aber aus einem Brandszenario bestimmt werden soll, ist dieses zunächst zu definieren und zu simulieren. In der Regel (vgl. [4]-[6]) werden dabei Brände betrachtet, die direkt in Versammlungsräumen auftreten. Die Erfahrung aus Brandereignissen

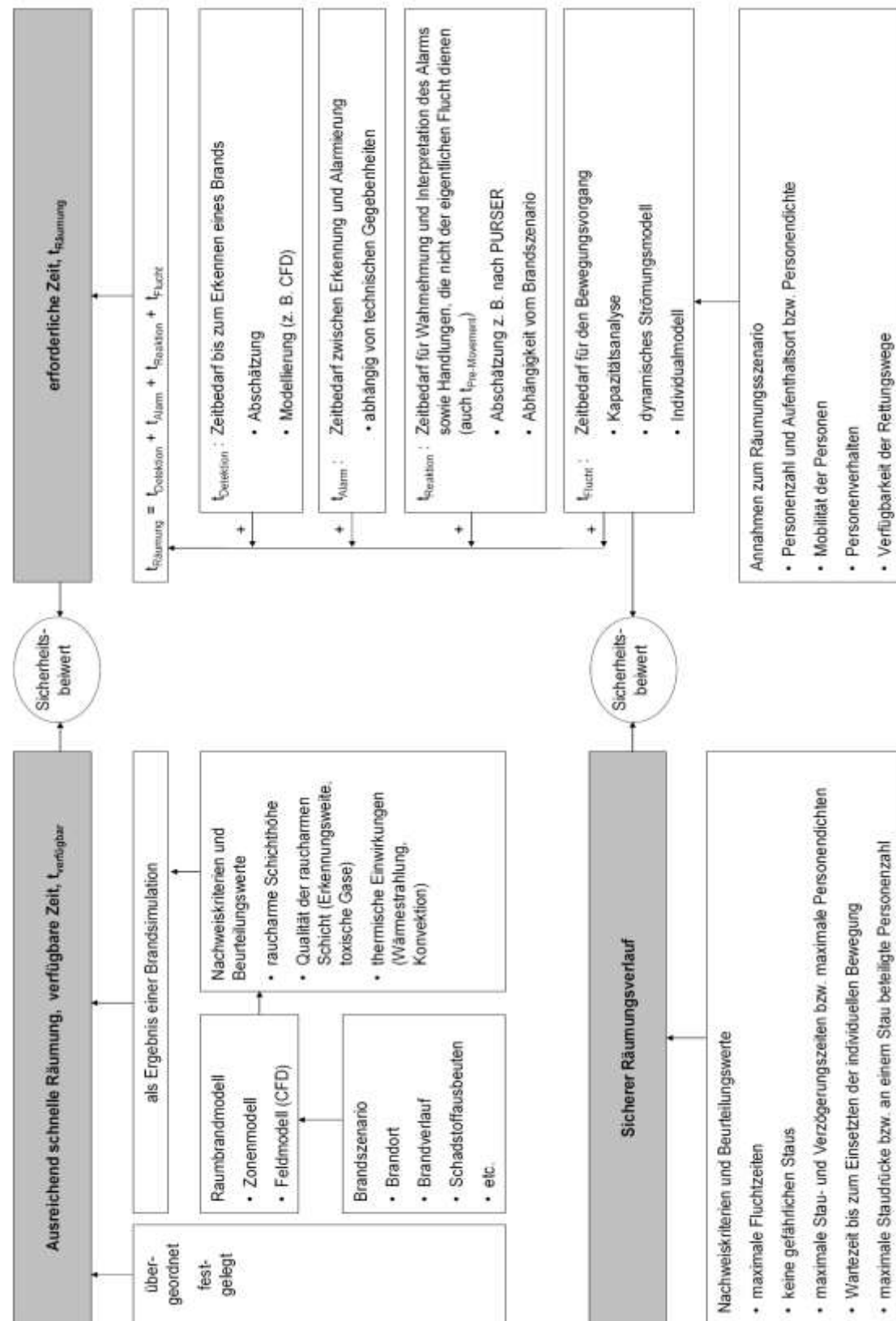


Bild 1 *Bestandteile des Verfahrens zum Nachweis der Personensicherheit mit Einflussgrößen und Modelltypen*

zeigt aber, dass Brände, die sich zunächst versteckt entwickelt haben und dann in den Versammlungsraum eingetreten sind, häufig zu höheren Opferzahlen führen [7],[1]. Die Modellierung dieser Vorgänge ist allerdings besonders aufwendig und stößt z. B. bzgl. der Bestimmung eines Versagenszeitpunktes für den Raumabschluss an die Grenzen der Nachweismöglichkeiten. In sofern sollte ein Brandszenario mit Entstehungsort im Versammlungsraum so definiert werden, dass auch komplexere Brandszenarien mit abgedeckt werden. Entsprechend sollte die Reaktionszeit (s. u.) konservativ angesetzt werden.

Der Brandverlauf, d. h. in der Regel der Zeitverlauf der Wärmefreisetzungsrate, muss einerseits abdeckend hinsichtlich der betriebsmäßig vorhandenen Brandlasten (z. B. Bestuhlung) festgelegt werden. Da andererseits die Erfahrung z. B. aus Brandschauen zeigt, dass häufig auch nicht zugelassene Brandlasten in Versammlungsstätten vorhanden sind (vgl. auch [1]), ist aus Sicht des Autors ein Bezug zum häufig verwendeten $\alpha \cdot t^2$ -Ansatz [3] sinnvoll. Der Zeitverlauf der Wärmefreisetzungsrate in der Brandentwicklungsphase entspricht dann

$$\dot{Q}(t) = \alpha \cdot t^2 \quad (1)$$

Für die Brandentwicklungsgeschwindigkeit α (in kW/s^2) liegen international standardisierte Werte vor (Tabelle 1). In [8] wurden erstmals statistische Daten zu real aufgetretenen Brandentwicklungsgeschwindigkeiten mit Bezug auf den Ansatz (Gl. 1) für verschiedene Bauwerkskategorien veröffentlicht. Demnach liegt eine Log-Normalverteilung für die Summenhäufigkeit der Brandentwicklungsgeschwindigkeit vor (Bild 2). Der Erwartungswert E einer Log-Normalverteilung ergibt sich aus dem Mittelwert $\mu_{\ln \alpha}$ und der Standardabweichung $\sigma_{\ln \alpha}$ der Logarithmen von α

$$E(\alpha) = \exp(\mu_{\ln \alpha} + \sigma_{\ln \alpha}^2/2) \quad (2)$$

Die in [8] für die Gebäudekategorie „keine Wohngebäude“ angegebene Verteilung für α ist nach dem Stand des Wissens ebenfalls näherungsweise abdeckend für Versammlungsstätten [9]. Dabei wird $\mu_{\ln \alpha} = -6,48$ und $\sigma_{\ln \alpha} = 2,04$ angenommen [8], d. h. $\alpha_{\text{mittel}} = \exp(-6,48) = 0,00153 \text{ kW/s}^2$. Für Fragestellungen der Personensicherheit sollte z. B. das 95 %-Fraktil dieser Verteilung verwendet werden. Es beträgt $\alpha_{95 \%} = 0,044 \text{ kW/s}^2$ und entspricht damit recht gut einer „schnellen“ Brandausbreitung entsprechend dem $\alpha \cdot t^2$ -Ansatz (Tabelle 1, Gl. 1).

Eine geringere Brandentwicklungsgeschwindigkeit ist aus Sicht des Autors nur in begründeten Fällen anzunehmen, wozu auch die Größe eines Versammlungsraums (Brandeintrittswahrscheinlichkeit) und das ausgewählte Nachweiskriterium für die Personensicherheit zählen können. Ausführlichere Betrachtungen dazu werden in [10] angestellt.

Tabelle 1 Bezeichnung und Werte für die Brandentwicklungsgeschwindigkeit α und die charakteristische Zeit bis zum Erreichen von 1 MW Wärmefreisetzungsrate [3]

Fall	α [kW/s ²]	t_{charakt} [s]	Beispiele
langsam (slow)	0,0028	600	dicht gepackte Holzwaren
mittel (moderate)	0,0111	300	Polyestermatratze, massive Holzmöbel
schnell (fast)	0,0444	150	Holzpalettenstapel, gefüllte Postsäcke
sehr schnell (ultra fast)	0,1778	75	leichte Gardinen, einige Polstermöbel

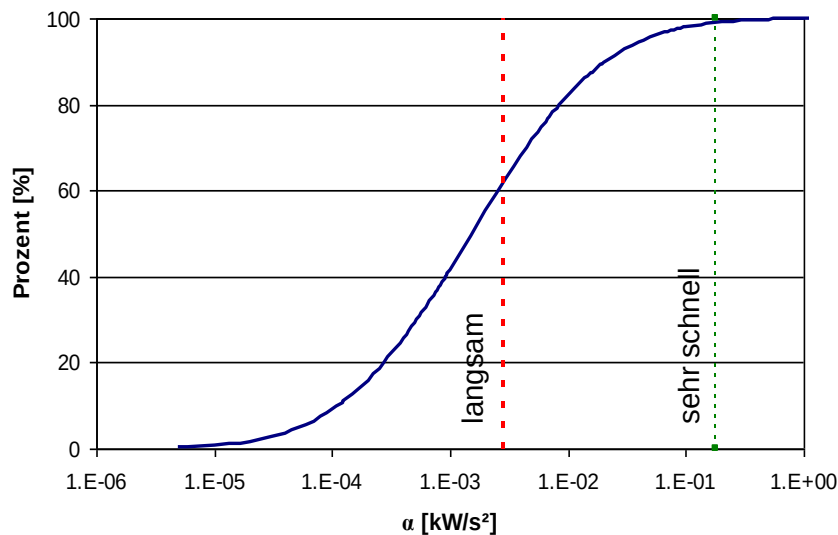


Bild 2 Summenhäufigkeit der Brandentwicklungsgeschwindigkeit α [kW/s²] für „keine Wohngebäude“ nach [8]

Die anzusetzenden Schadstoffe und die Größenordnung der Ausbeuten (engl.: yields) sind je nach den auszuwählenden Nachweiskriterien (s. u.) von besonderer Bedeutung. Die Rußausbeute (engl.: soot yield, manchmal auch Rauchausbeute genannt) wirkt sich zusammen mit den optischen Eigenschaften der Ruß-/Rauchpartikel auf die sich trübenden Eigenschaften aus, während die Schadgasausbeuten (analog die Sauerstoffzehrung) die toxischen Wirkungen der Brandgase ausmachen. Die Ausbeuten werden üblicher Weise in Gramm Schadstoff pro freigesetztem Gramm Brennstoff (g_S/g_{Br}) angegeben. Die Stickgase Kohlenmonoxid (CO) und Cyanwasserstoff (HCN) sind von größter Bedeutung.

Für die CO-Ausbeute in der Brandentstehungsphase schlägt Purser [7] eine Kopplung mit der CO₂-Ausbeute in einem Molverhältnis von CO₂/CO = 10:1

(Massenverhältnis 15,7:1) vor. Die Ausbeuten liegen damit, abhängig vom Kohlenstoffgehalt der Brandlast, unter 0,07 g/g. Dieser Pauschalwert ist jedoch nicht immer konservativ, da die Ausbeuten auch von der Brandlast und dem Versuchsaufbau abhängen [13]. Für unterventilierte Brände, die sich in an den Versammlungsraum angrenzenden Räumen oder Nischen einstellen können, ist eine Obergrenze von 0,23 g/g unabhängig von der Brandlast recht gut abgesichert [14],[20]. Der Wert kann bisher auch als abdeckend für eine CO-Entstehung durch Holzpyrolyse in der Heißgasschicht eingestuft werden. Schwelvorgänge sind hiermit nicht angesprochen.

Die Ausbeuten an HCN schwanken üblicher Weise noch mehr als für CO. Für die praxismäßige Bestimmung sieht Purser [7] die Berücksichtigung des Stickstoffanteils in der Brandlast vor. Für Brandlasten mit unter 2 % Massenanteil wird ein Molverhältnis CO:HCN von $> 50:1$ (Massenverhältnis $> 52:1$) vorgeschlagen, für mehr als 2 % Massenanteil ein Molverhältnis CO:HCN $\approx 12,5:1$ (Massenverhältnis 13:1).

Auf die Ausbeuten von Reizgasen wie Acrolein, Formaldehyd, Chlorwasserstoff, Stickoxide oder Schwefeldioxid etc. kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Für die Rußausbeute wird in [3] ein Bereich von 0,06 bis 0,09 g/g für Entstehungsbrände und brandlastgesteuerte Brände vorgeschlagen sowie der Wert von 0,15 g/g für ventilationsgesteuerte Brände.

Mit Bezug zum Brandszenario, welches üblicher Weise über $\dot{Q}(t)$ beschrieben wird (s. o.), muss die Verbrennungswärme z. B. in kJ/g als verbindender Faktor zwischen Schadstoffausbeute (in $[g_s/g_{Br}]$) und Freisetzungsrate (in $[g_s/s]$) mitberücksichtigt werden. Sonst führen hohe Verbrennungswärmen – augenscheinlich konservativ – tatsächlich zu geringen Schadstofffreisetzungsraten. Der Effekt auf die Freisetzungsrate wirkt sich doppelt aus, wenn höhere Schadstoffausbeuten zu geringeren Verbrennungswärmen und damit wiederum zu erhöhten Abbrandraten führen. In sofern sollte an Stelle der nominellen Verbrennungswärme der Brandlasten die effektive Verbrennungswärme verwendet werden, die ca. 70 % des Nominalwertes beträgt [15].

Weitere das Brandszenario bestimmende Einflüsse wie anlagentechnische Maßnahmen sollen an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

Raumbrandmodell

Da Vollbrandmodelle für eine differenzierte Analyse ausscheiden, kommen Zonenmodelle und Feldmodelle (CFD-Modelle) in Betracht (Bild 1), wobei die prinzipiellen Modellunterschiede an anderer Stelle, z. B. [3],[16], behandelt werden. Am Beispiel der frei verfügbaren Programme CFAST (Zonenmodell) [17] und Fire Dynamics Simulator (FDS), Version 4 [18] (Feldmodell) werden Modellun-

sicherheiten diskutiert. Dabei werden genaue Eingangsdaten zum Brandszenario einschließlich des Zeitverlaufs der Wärmefreisetzungsrate vorausgesetzt.

Für das Modell CFAST wurde festgestellt, dass die Temperaturen in der Heißgasschicht tendenziell eher (aber nicht grundsätzlich!) höher berechnet werden, als im Versuch ermittelt, und entsprechend die Temperaturen in der Kaltgasschicht eher unterschätzt werden. Ein Grund dafür ist die fehlende Berücksichtigung des Strahlungsaustausches zwischen den Schichten. Die Höhe der raucharmen Schicht wurde tendenziell eher als zu hoch angegeben [17],[19].

Für das Feldmodell Fire Dynamics Simulator werden die Temperaturen (Celsiuskala) und Strömungsgeschwindigkeiten für gut ventilierte Brände im Allgemeinen mit einer Abweichung von ca. $\pm 20\%$ prognostiziert. Im Nahbereich des Feuers verschlechtert sich die Genauigkeit [18]-[20].

Die Wärmestrahlung betreffend, sind auf Grund der Vereinfachungen im Strahlungsmodell, dem bisher empirisch festzulegenden Strahlungsanteil der Flamme und der Abhängigkeit der Strahlung von der vierten Potenz der Kelvintemperatur, größere Abweichungen zu erwarten als bei den Temperaturen. Allein der letztgenannte Einfluss führt bei $\pm 20\%$ Fehler in der Temperatur zu einem Fehler in der Strahlungswärme von -30% bis $+38\%$ bei 200°C und -40% bis $+57\%$ bei 400°C .

Für die Einmischung von Brandrauch aus der Heiß- in die Kaltgasschicht liegen keine Validierungsversuche vor. Falls die Qualität der raucharmen Schicht allerdings als Nachweiskriterium (s. u.) herangezogen wird, ist zu beachten, dass Zonenmodelle hier von homogenen Zuständen in der raucharmen Schicht ausgehen, während bei Feldmodellen z. B. die Zunahme der CO-Konzentration über die Höhe zumindest qualitativ korrekter dargestellt wird.

Nachweiskriterien und Beurteilungswerte

Als Nachweiskriterien (Bild 1) stehen zur Verfügung:

- die Höhe der raucharmen Schicht,
- die Qualität der raucharmen Schicht wie die Erkennungsweite von Objekten oder die Auswirkungen toxischer Gase und
- thermische Einwirkungen aus Wärmestrahlung und -konvektion.

Das offensichtlichste und am einfachsten nachvollziehbare Kriterium ist die Höhe der raucharmen Schicht. In Tabelle 2 sind verschiedene Beurteilungswerte, teilweise unter Berücksichtigung von Sicherheitsbeiwerten für dieses Kriterium angegeben. Die Erhöhung der raucharmen Schichthöhe nach prCEN/TR 12101-5 [12] bei geringen Temperaturdifferenzen trägt der geringen Stratifizierung der Rauchgase Rechnung, bei der der Grenzbereich der Heiß- und Kaltgasschicht nicht klar definiert ist. Die unterschiedlichen Zahlenwerte stehen im

Einklang mit dem Anwendungsbereich wie Selbstrettung [12], Feuerwehreinsatz [11] oder „Überlebensbedingungen“ [16].

Tabelle 2 Verschiedene Beurteilungswerte für die Höhe der raucharmen Schicht

Anwendungsbereich	Höhe (Zuschlag)	Referenz
Rettungswege in öffentlichen Gebäuden, z. B. eingeschossige Einkaufszentren, Messehallen	3,0 m (+ 0,5 m ⁽¹⁾)	prCEN/TR 12101-5, Rauch und Wärmefreihaltung [12]
Rettungswege in nichtöffentlichen Gebäuden, z. B. Büros, Wohnungen	2,5 m (+ 0,5 m ⁽¹⁾)	prCEN/TR 12101-5, Rauch und Wärmefreihaltung [12]
Versammlungsstätten, Feuerwehreinsatz	1,8 m ⁽²⁾ 2,5 m	Erläuterung der MVStättV [11]
„Überlebensbedingungen“	1,5 m 1,8 m	Schneider, U. [16]
⁽¹⁾ keine Angabe von Sicherheitsbeiwerten wenn die prognostizierte Heißgastemperatur weniger als 50 K über der Kaltgastemperatur liegt, sind die Werte um 0,5 m zu erhöhen [12] ⁽²⁾ als „Körperhöhe“ [11]		

Da geringen Mengen Rauchgas in die „raucharme“ Kaltgasschicht gelangen, ist die Höhe der raucharmen Schicht auch bei einfacher Kubatur nicht in jedem Fall das konservativste, d. h. am frühesten anschlagende Kriterium. Dies gilt insbesondere für große Räume [10]. In sofern ist ggf. die Qualität der raucharmen Schicht bzgl. der Erkennungsweite von Objekten und/oder der Auswirkungen toxischer Gase nachzuweisen.

Die vereinfachte Bestimmung der Erkennungsweite (häufig auch Sichtweite genannt) von einem Raumpunkt aus, bei dem von einer homogenen Rußkonzentration ausgegangen wird, ist in [3] beschrieben und wird so z. B. im Feldmodell [18] angewandt. Genauere Aussagen sind hier erzielbar, wenn an Stelle der Betrachtung eines Punkts die Rußkonzentration auf der Strecke zwischen zwei Punkten, d. h. des Betrachterauges und eines zu erkennenden Objekts (i. d. R. die Rettungswegbeschilderung) ausgewertet wird [21]. Hilfsweise muss bei der Bestimmung aus der punktuellen Rußkonzentration der Bezugspunkt ausreichend konservativ gewählt werden, z. B. als der höher gelegene Endpunkt der Strecke zwischen Betrachterauge und zu erkennendem Objekt.

Die manchmal erhobene Forderung, dass die Erkennungsweite während der gesamten Selbstrettungsphase über die volle Rettungsweglänge gegeben sein muss, lässt sich oftmals nicht nachweisen (vgl. auch [10]). Aus Sicht des Autors

ist diese Forderung zum Nachweis der Selbstrettung auch teilweise ungerechtfertigt. Wenn eine Personengruppe einen Raum verlässt, findet zu Beginn der Räumung (s. u.) die Orientierung mit Hilfe der Rettungswegkennzeichnung statt. Danach können sich die Nachfolger im Personenstrom i. d. R. an den in kurzer Distanz vorhergehenden Personen orientieren.

Der Nachweis der Erkennungsweite (Sichtweite) ist im Allgemeinen abdeckend für den Nachweis der Rauchgastoxizität [3],[22]. Wenn aber z. B. auf Grund

- der besonderen Raumkubatur bzw. Lüftungsverhältnisse,
- der sehr konservativ gewählten Szenarien oder
- der extremen Schadstoffentstehungsraten bestimmter Brandlasten

die Erkennungsweite nicht nachgewiesen werden kann, kann zusätzlich die Rauchgastoxizität herangezogen werden. Hierbei wird im Allgemeinen nur die akute Wirkung durch erstickende und reizende Komponenten betrachtet, während chronische Auswirkungen auf Grund der kurzen Expositionen vernachlässigt werden. Für die toxischen Leitkomponenten wie Kohlenmonoxid (CO), Cyanwasserstoff (HCN) und Kohlendioxid (CO₂) werden vereinfacht Grenzkonzentrationen angegeben [3],[16]. Da aber die toxischen Auswirkungen neben der individuellen Disposition eine Funktion

- der Synergieeffekte verschiedener Schadstoffe,
- des Expositionsverlaufs und
- der Atemrate

sind, geben zeitabhängige Dosismodelle die akute Rauchgastoxizität exakter wieder.

Das am häufigsten angewendete Dosismodell von Purser [23] ist auf Fluchtunfähigkeit (Verwirrtheit, Bewusstlosigkeit) durch Rauchgase als Endpunkt bezogen. In diesem sog. FED-Modell (Fractional Effective Dose) werden die Schadwirkungen aus Teildosen (zeitlich und durch verschiedene Schadgase) aufsummiert, bis mit FED = 1 die Fluchtunfähigkeit für die Durchschnittsbevölkerung angenommen wird. Das Modell berücksichtigt die Stickgase CO und HCN (als $F_{i,CO}$ und $F_{i,HCN}$), Sauerstoffmangel (als F_{i,O_2}) und sowohl Schadwirkungen (als F_{i,CO_2}) als auch den Effekt der Hyperventilation (als $V_{i,Hyp}$) durch CO₂. Das FED-Modell kann noch um Reizgase erweitert werden, wobei hier nicht die Reizwirkung auf Augen und obere Atemwege, sondern die Wirkung auf die Sauerstoffversorgung im Blut (Hypoxie, als $FLD_{i,irr}$) betrachtet wird

$$FED = \sum_{i=1}^n \text{Max} \left([(F_{i,CO} + F_{i,HCN} + FLD_{i,irr}) \cdot V_{i,Hyp} + F_{i,O_2}], F_{i,CO_2} \right) \quad (3)$$

Individuen reagieren unterschiedlich sensitiv auf Schadgase, wobei der Endpunkt FED = 1 prinzipiell für die Durchschnittsbevölkerung bestimmt wurde. Auf

Grund schwächerer Subpopulationen (ältere Menschen, Kinder, Menschen mit Vorerkrankungen wie Asthma oder Herzkrankheiten) wird die Sensitivität auf Brandgase nicht als normalverteilt angenommen. Es wird angenommen, dass eine FED von 0,3 für 88,6 % der Bevölkerung auf der sicheren Seite liegt [24] und eine FED von 0,1 „fast alle“ Individuen abdeckt [23],[25].

Thermische Wirkung

Die kombinierte thermische Wirkung aus Wärmestrahlung (Flammen, Heißgasschicht) und -konvektion (umgebende Gase) lässt sich durch ein weiteres FED-Modell [3],[23],[24] darstellen

$$FED_{\text{therm}} = \sum \left(\frac{\Delta t}{\tau_{\text{rad}}} + \frac{\Delta t}{\tau_{\text{conv}}} \right) \quad (4)$$

mit der Bestrahlungsstärke q in kW/m^2 für einen Zeitintervall τ_{rad} in Minuten entsprechend

$$\tau_{\text{rad}} [\text{min}] = 1,33 * q^{-1,33} \quad \text{für } q \leq 2,5 \text{ kW/m}^2 \text{ bzw.} \quad (5)$$

$$\tau_{\text{rad}} [\text{min}] = 4,00 * q^{-1,35} \quad \text{für } q > 2,5 \text{ kW/m}^2. \quad (6)$$

Für τ_{conv} gilt bei Personen mit dünner Bekleidung

$$\tau_{\text{conv}} [\text{min}] = \frac{5 \cdot 10^7}{(T[^\circ\text{C}])^{3,4}} \quad (7)$$

Analog der toxischen Belastung gilt für die thermische Belastung, dass ein $FED_{\text{therm}} = 1$ die Fluchtunfähigkeit für die Durchschnittsbevölkerung repräsentiert. Die Unsicherheiten in den Gleichungen (5) bis (7) werden in [24] mit je $\pm 25 \%$ angegeben.

Die Anwendung der thermischen, insbesondere radiativen, Kriterien zeigt im Vergleich zu den zuvor genannten Kriterien, dass sowohl im Flammennahbereich als auch in großen Räumen der FED_{therm} das relevante, weil zuerst anschlagende Kriterium werden kann [26].

BESTIMMUNG DER RÄUMUNGSDAUER

Annahmen zum Räumungsszenario

Neben der ausreichenden Detaillierung der Gebäudekubatur müssen Annahmen vor allem (Bild 1)

- zur Personenanzahl und zum Aufenthaltsort bzw. zur Personendichte,

- zur Mobilität der Personen,
- zum Personenverhalten (Reaktionszeiten (s. u.), Fluchtwegwahl, Umkehrverhalten) und
- zur Verfügbarkeit der Rettungswege

getroffen werden. Die Personenanzahl wirkt sich praktisch linear auf die Räumungszeit aus. Der Aufenthaltsort der Personen ist für Versammlungsstätten relativ unerheblich, da die Laufzeiten bis zu den Ausgängen klein sind gegenüber den Stauzeiten an den Ausgängen. Angaben über Personendichten werden z. B. in [3] gemacht.

In Versammlungsstätten ist die Personendichte des Personenstroms der wesentliche Faktor für die Laufgeschwindigkeit und den Personenfluss. Die individuelle Mobilität der Personen z. B. in Abhängigkeit des Alters, des Geschlechts oder einer etwaigen Behinderung [27],[28] wirkt sich ebenfalls aus. Inhomogene Personengruppen bewegen sich dabei durch die stattfindenden Überholvorgänge langsamer als homogene Gruppen gleicher durchschnittlicher Parameter.

Bzgl. des Personenverhaltens sind besonders die Reaktionszeit bis zum Einsetzen einer konkreten Fluchtbewegung (s. u.), die Fluchtwegwahl und das Umkehrverhalten zu nennen. Nach [29] erfolgt die Fluchtwegwahl in Stresssituationen nach den Kriterien:

- a) Häufigkeit der Benutzung,
- b) Kenntnis des jeweiligen Weges,
- c) Entfernung bis zum Ausgang und
- d) Wahrnehmung von Rauch als behindernden Faktor.

Ein Verfahren zur quantitativen Prognose der Verteilung der Personen auf die verschiedenen Ausgänge ist bisher nicht verfügbar. Da der Haupteingang bzw. -ausgang erfahrungsgemäß auch aus längeren Entfernungen benutzt wird, soll dieser gemäß Regelwerk in den USA [30] für die Hälfte der Personen ausgelegt werden.

Erfahrungen aus Brandereignissen in Versammlungsstätten mit Personenschäden zeigen, dass häufig parallel zum Brandereignis gravierende Mängel bei der Verfügbarkeit der Rettungswege (Notausgänge) vorgelegen haben. Auswertungen von Mängeln in deutschen und österreichischen Vergnügungsstätten belegen ebenfalls, dass in rund 30 % aller Betriebe während der Besucherzeit Notausgänge verschlossen bzw. unbenutzbar sind [1],[31]. Dem Autor liegen keine Daten vor, wie häufig durch das Feuer ein Rettungsweg versperrt wurde. Zur ingenieurgemäßen Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Rettungswege (Notausgänge) existiert nur der vereinfachte Ansatz [32], den breitesten Rettungsweg bei der Räumungsberechnung unberücksichtigt zu lassen. So werden vorhandene Redundanzen in der Anzahl der Rettungswege durch eine geringere Verlängerung der Räumungsdauer belohnt.

Für das verschiedentlich dokumentierte Umkehrverhalten von Personen in Richtung Gefahrenbereich liegen ebenfalls keine belastbaren Daten vor. Zusammen mit dem Zugang von Rettungskräften tritt ein Gegenstrom („Counterflow“) auf, der von einigen Personenstrommodellen (Individualmodellen (s. u.)) zumindest dem Anspruch nach modelliert werden kann [33].

Die Interaktion des Räumungsszenarios mit dem Brandszenario z. B. durch reduzierte Laufgeschwindigkeiten in verrauchten Bereichen [7],[48] soll hier nicht diskutiert werden.

Zeitintervalle innerhalb des Räumungsszenarios

Die Räumungszeit $t_{\text{Räumung}}$ setzt sich zusammen aus der Zeitspanne $t_{\text{Detektion}}$ vom Beginn eines Brands bis zu seiner Detektion, der Zeitspanne t_{Alarm} von der Detektion bis zur Auslösung des Alarms, der Reaktionszeit t_{Reaktion} der Personen von der Alarmierung bis zum Beginn der konkreten Fluchtbewegung und der Zeitspanne t_{Flucht} vom Beginn der Flucht bis zum Erreichen eines sicheren Bereichs (Bild 1) [3],[7].

Detektions- und Alarmierungszeit

Die Detektionszeit ist bei automatischer und persönlicher Branderkennung sehr stark von der Brandfrühphase und -entwicklung abhängig, so dass hier keine Pauschalwerte angegeben werden können. In der Frühphase ist aber noch mit keiner Personengefährdung in Versammlungsstätten zu rechnen. In [3] wird für Industriebrände eine Detektionszeit von im Mittel 1,5 min bei automatischer Branderkennung oder Erkennung durch ständig anwesende Personen genannt. Die Streuung dieser Werte ist nicht angegeben. Die Detektionszeit eines Melders kann ebenfalls mit Bezug zum Bemessungsbrand mit einem Raumbrandmodell bestimmt werden.

Die Alarmierungszeit hängt von den technischen Gegebenheiten ab und darf z. B. zur Vermeidung von Falschalarmen eine Erkundungszeit von nach [34] bis zu 3,5 min bzw. nach [35] bis zu 10 min umfassen.

Reaktionszeit

Die Reaktionszeit, treffender auch Pre-Movement-Zeit genannt, umfasst die Zeitspannen zur Wahrnehmung des Alarms, zur Interpretation der Wahrnehmung und der Handlungen, die nicht der konkreten Flucht dienen wie Erkundung der Umgebung, Brandbekämpfung, Warnen oder Suchen von Personen oder Sichern von Gegenständen [3]. Die Reaktionszeit kann einen erheblichen Teil der Räumungszeit ausmachen.

Im Gegensatz zu den vorgenannten Zeitabschnitten sind die Reaktionszeiten für jede Person individuell verschieden und lassen sich durch Verteilungen idealisieren, so dass diese als Fraktilwerte Δt_i der Personengesamtheit angege-

ben werden [7],[24] (Bild 3). So ist Δt_1 beispielsweise der Zeitpunkt nach der Alarmierung, an dem 1 % der Personen den Fluchtvorgang gestartet haben. Für Versammlungsstätten gilt erleichternd, dass die Personen als „wach“ und bzgl. ihrer Wahrnehmungsmöglichkeiten als relativ homogen anzusehen sind. Wenn an den Ausgängen von Versammlungsräumen Staubildung zu erwarten ist, kann ein geringer Fraktilwert als Startzeitpunkt für die Fluchtbewegung angenommen werden, da es zunächst keinen Unterschied macht, ob Personen sich noch in der Reaktionsphase oder im Stau befinden. Nachzügler müssen prinzipiell zusätzlich berücksichtigt werden, wenn die Stauzeit (s. u.) im Gefahrenbereich kleiner ist als die Differenz $\Delta t_{99} - \Delta t_1$.

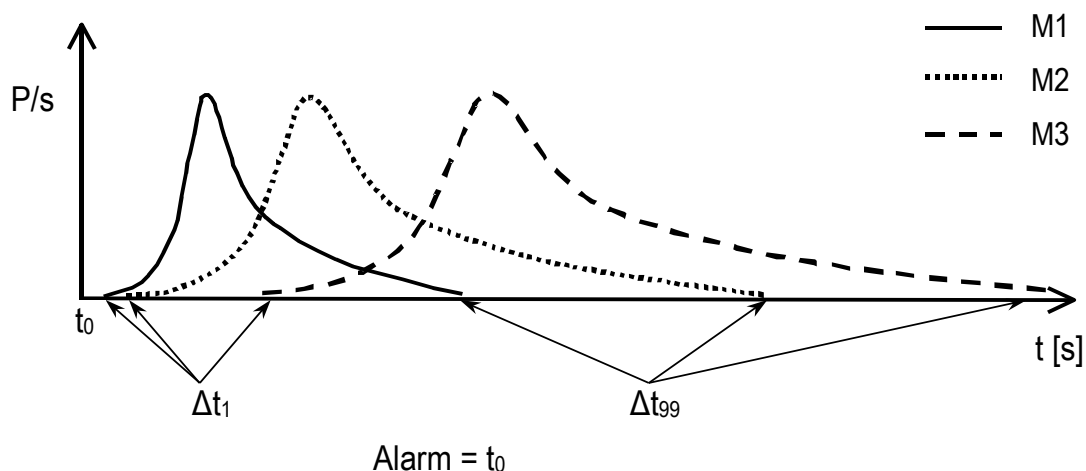


Bild 3 Prinzipieller Verlauf der individuellen Reaktionszeiten t_{Reaktion} und Darstellung des Einflusses des Brandschutzmanagements auf den Verlauf nach Purser [7]

Ein relativ umfangreiches und nachvollziehbares Verfahren zur Bestimmung der Reaktionszeiten wurde von Purser [7] entwickelt und auch in [3] übernommen.

Für Versammlungsstätten ergeben sich bei dem Verfahren die folgenden Haupt- bzw. Unterkategorien (vgl. [3])

- Wachsamkeit: „wach“, Vertrautheit „unvertraut“ → Hauptkategorie B
- Alarmierungssystem:
 - automatische BMA mit sofortiger Alarmierung → Unterkategorie A1
 - automatische BMA mit nachgeschalteter, zeitverzögerter Alarmierung → Unterkategorie A2
 - keine flächendeckende automatische BMA → Unterkategorie A3
- Gebäudekomplexität:
 - einfach, eingeschossig, wenig Räume → Unterkategorie B1
 - einfach, auch mehrgeschossig → Unterkategorie B2

- großes, komplexes Gebäude → Unterkategorie B3
- Brandschutzmanagement
 - regelmäßig geschultes Personal, Sprachdurchsagen → Unterkategorie M1
 - weniger, schlechter geschultes Personal → Unterkategorie M2
 - Mindeststandard → Unterkategorie M3

denen nach Purser die entsprechenden Zeiten für das 1 %- und 99 %-Fraktile zugeordnet sind (Tabelle 3).

Tabelle 3 Fraktile für die Reaktionszeiten der Hauptkategorie B (wach und unvertraut) [3],[7]

Unterkategorie			Δt_1	Δt_{99}
M1	B1	A1 – A2	0,5 min	2 min
M2	B1	A1 – A2	1 min	3 min
M3	B1	A1 – A3	(>15 min)	(>15 min)
B2: addiere 0,5 min zu Δt_1 wegen erschwerter Orientierung				
B3: addiere 1,0 min zu Δt_1 wegen erschwerter Orientierung				

Die Werte für ein Brandschutzmanagement nach Mindeststandard (M3) bzw. ohne flächendeckende automatische BMA (A3) sind mit „> 15 min“ noch nicht ausreichend abgesichert [7].

Das Verfahren liefert auch für einfache Gebäudekomplexe (A1 oder A2) keine verwertbaren Ergebnisse, wenn für das Brandschutzmanagement nur der Mindeststandard (M3) angesetzt werden kann, die Personen aber beispielsweise direkt durch die Branderscheinungen alarmiert werden. Zum Verhalten von Personen in Abhängigkeit bestimmter Branderscheinungen (Flammen, Rauch, Geruch) sind dem Autor keine systematischen Daten bekannt. In [36] wird von einer Personenbefragung berichtet, in der die Personen die langsame Brandentwicklung in der Anfangsphase überschätzten, die spätere schnelle Brandentwicklung aber unterschätzten.

Fluchtzeit

Die Personenstrommodelle zur Bestimmung der Fluchtzeit werden in Strömungsmodelle (hydraulische Modelle), deren einfachste Form die Kapazitätsanalyse darstellt, und in Individualmodelle eingeteilt (Bild 1). Auf die Grundlagen dieser Modelle [3],[37] soll hier nicht näher eingegangen werden.

Die dynamischen Strömungsmodelle verwenden explizit so genannte Fundamentaldiagramme, in denen für verschiedene Wegelemente (horizontale Strecken, Treppen auf/ab, Rampen, Engstellen wie Türen) die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Personendichte aufgezeigt wird. Das Produkt aus Geschwindigkeit (z. B. in [m/s]) und Personendichte (z. B. in [P/m^2]) ist der spezifische Fluss, F , hier in [$\text{P}/(\text{m}\cdot\text{s})$], d. h. die Anzahl an Personen, die ein Wegelement von 1 m Breite pro Sekunde durchschreiten. Eine Zusammenstellung von Fundamentaldiagrammen verschiedener Autoren (Bild 4) wurde [38] entnommen. Obwohl hier jeweils von einer betrachteten Durchschnittsbevölkerung ausgegangen werden kann, schwanken die Angaben sowohl bzgl. des maximalen spezifischen Flusses mit ca. $1,3 - 1,8 \text{ P}/(\text{m}\cdot\text{s})$ als auch besonders bzgl. der Personendichte, bei der diese Flüsse erreicht werden können (ca. $1,7 - 6,2 \text{ P}/\text{m}^2$). Der große Schwankungsbereich der Dichte äußert sich allerdings in der Anwendung der Modelle nicht, da die Dichte in einem Wegelement $i+1$ der Breite br_{i+1} eine Resultierende aus dem erforderlichen Fluss ($F \cdot br_{i+1}$) im Wegelement $i+1$ ist. Dieser Fluss ($[\text{P}/\text{s}]$) entspricht dem im davor liegenden Wegelement i vorhandenen Fluss unter der Maßgabe, dass kein Stau entstehen soll. Die Personendichte in einem Wegelement $i+1$ kann damit so lange ansteigen, bis der maximale spezifische Fluss (je nach Fundamentaldiagramm verschieden) überschritten wird und ein Stau entsteht. Im Staufall geht der Fluss wegen der höheren, nicht optimalen Personendichten zurück, wobei einige Autoren eine Stillstandsichte (vgl. Bild 4) festgestellt haben.

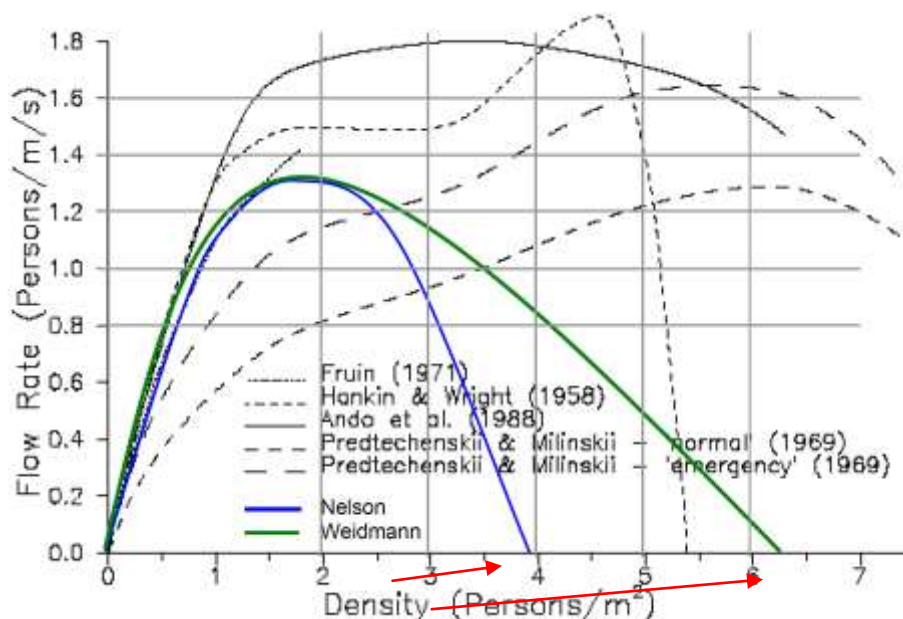


Bild 4 Vergleich von Fundamentaldiagrammen zum spezifischen Fluss [$\text{P}/(\text{m}\cdot\text{s})$] in Abhängigkeit der Personendichte [P/m^2] [38]

Für die freien Gehgeschwindigkeiten von Personen werden für Ebenen Werte von 1,0 m/s bis 1,9 m/s angegeben [39]. Im Nachweisverfahren sollte man einen Wert im unteren Bereich verwenden. Für die Räumungszeiten aus Versammlungsräumen spielen diese nur eine untergeordnete Rolle.

Von besonderer Bedeutung ist der Personenfluss durch Engstellen wie Ausgangstüren von Versammlungsräumen, da dieser insbesondere bei Stehplätzen maßgeblich für die Fluchtzeit aus dem Gefahrenbereich ist. Für den spezifischen Fluss ist die Abhängigkeit von der Personendichte im Engstellenbereich und ebenfalls von der Engstellenbreite von Bedeutung. In Bild 5 wird hierzu die Abhängigkeit des Flusses nach Predtetschenski und Milinski [39] (hier in m^2/min) von beiden genannten Parametern dargestellt. Für einen weiteren Vergleich wurden für jede Türbreite die Personenflüsse bei optimaler Personendichte ($P+M$ opt) und bei maximaler Personendichte ($P+M$ max) bestimmt (angenommene Personenprojektionsfläche von $0,113 \text{ m}^2/\text{P}$, „Straßenübergangsbekleidung“).

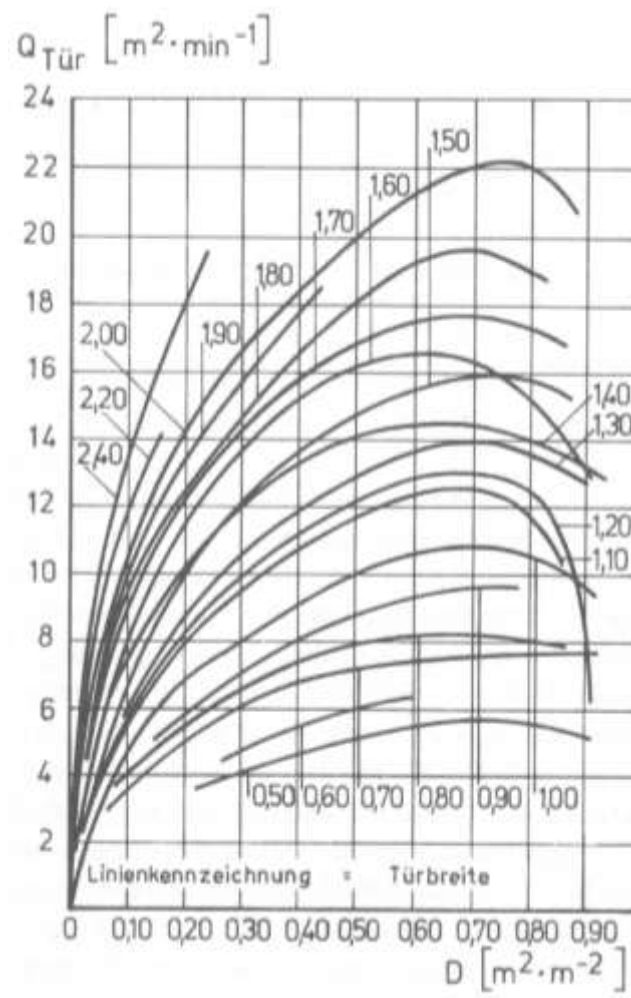


Bild 5 Abhängigkeit des Personenflusses durch eine Tür von der Türbreite und der Personendichte [39]

In Bild 6 werden die Ergebnisse aus [39] mit denen anderer Autoren und Modellvorstellungen verglichen. Der spezifische Fluss von $1,39 \text{ P}/(\text{m} \cdot \text{s})$ dient als Vergleichswert aus der Bemessung der Rettungswege nach MVStättV [11]. Die verschiedenen Daten streuen sehr, da offensichtlich weitere Parameter eine Rolle spielen. Die gemittelten Ergebnisse von Kretz et al. [40] mit relativ homo-

genen Studenten unter entspannten Bedingungen weisen hohe spezifische Flüsse auf. Eine deutliche Anhängigkeit von der Türbreite ist zu erkennen, wobei insbesondere die 0,70 m breite Tür sehr unökonomisch genutzt wurde. Die spezifischen Flüsse nach Predtetschenski und Milinski [39] sind geringer und die Abhängigkeit von der Türbreite weniger ausgeprägt, was sicherlich in den weniger homogenen Personen begründet liegt. Die Flüsse bei maximaler Personendichte (Staubedingungen) liegen erwartungsgemäß unterhalb der optimalen Flüsse und teilweise auch unterhalb des Bezugswertes von $1,39 \text{ P}/(\text{m}^*\text{s})$. Die Ergebnisse von Müller [41] für verschiedene Kombinationen aus Gang- und Türbreite liegen auf geringerem Niveau und zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Türbreite. Müller führte seine Versuche mit Polizeischülern unter möglichst extremen Bewegungsbedingungen durch, bei denen es zu Blockaden an der Engstelle kam.

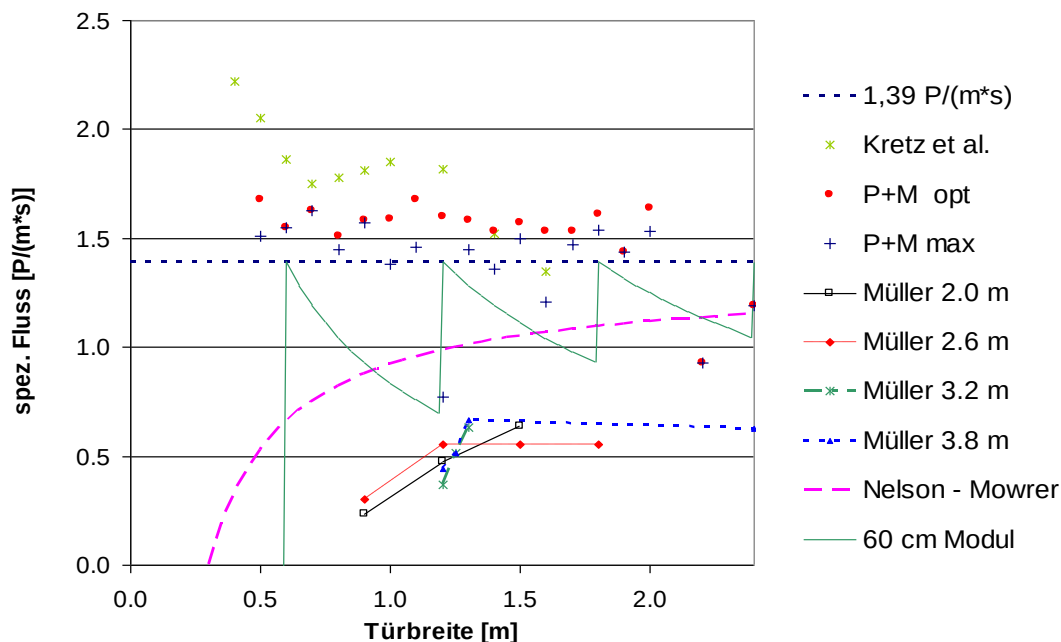


Bild 6 Vergleich verschiedener Literaturdaten und Modellvorstellungen zum spezifischen Fluss durch Engstellen

Die beiden Modellvorstellungen (Bild 6) geben den Verlauf der Daten jeweils ungenügend wieder. Das von Nelson und Mowrer verwendete Modell einer effektiven Breite, bei der gegenüber der geometrischen Breite in Engstellen jeweils beidseitig 0,15 m Weg unbenutzt bleiben [42], entspricht kaum der Praxis. Die zweite Vorstellung einer Spurbreite, nach MVStättV als Modulbreite von 0,60 m [11], bei der nur ganzzahlige Vielfache der Spurbreite genutzt werden können, gibt die Ergebnisse ebenfalls in keiner Weise wieder: die Rückgänge im spezifischen Fluss finden nicht bei 1,20 m und 1,80 m Breite statt, sondern je nach Autor bei 0,70 m bis 0,80 m und sind bei größeren Breiten kaum wahrnehmbar. Abschließend kann festgestellt werden, dass bei normalen Bewegungsbedingungen der Bemessungswert von $1,39 \text{ P}/(\text{m}^*\text{s})$ bezogen auf die meisten Daten auf der sicheren Seite liegt. Sehr hohe Personendichten durch

zugespitzte Bedingungen (Müller, teilweise P+M max) werden dadurch nicht abgedeckt. Geringe Türbreiten wirken sich bezogen auf den spezifischen Fluss, aber auch bezogen auf die Wahrscheinlichkeit zur Bildung von Stockungen im Türbereich („Bogenbildung“) aus [41],[43].

Innerhalb der Individualmodelle wird versucht, die vorgezeigten Fundamentaldiagramme durch entsprechende Algorithmen nachzubilden. In sofern sind zunächst trotz des erhöhten Aufwandes keine exakteren Berechnungsergebnisse als bei dynamischen Strömungsmodellen zu erwarten. Stattdessen ist bei diskreten Individualmodellen mit einer Zellengröße von z. B. 0,40 m oder 0,50 m ein Diskretisierungsfehler unvermeidlich, falls die Wegelemente Breiten in Zwischengrößen aufweisen (vgl. Bild 6, Ansatz der Modulbreite). Die Vorteile der Individualmodelle liegen in der besseren Erfassung der zeitlichen Auflösung eines Räumungsvorgangs, insbesondere bei komplexen Geometrien mit sich vereinigenden Personenströmen. Weiterhin wird eine inhomogene Personengruppe in einem Strömungsmodell wie [39] letztlich nur durch gemittelte Bewegungsparameter beschrieben. Die Verlangsamung des Personenstroms durch stattfindende Überholvorgänge kann prinzipiell nur mit einem Individualmodell erfasst werden. Schließlich lassen sich Parameterstudien bei einmal erstellter Geometrie leichter durchführen und visualisieren. Zu den vielen verfügbaren Modellen gibt [33] eine qualitative Übersicht.

Eine interessante quantitative Studie zu vier in Deutschland entwickelten bzw. vertretenden Individualmodellen wurde von Rogsch [44] erarbeitet. Dabei wurden zehn bewusst einfache Szenarien mit den Individualmodellen simuliert und mit dem dynamischen Strömungsmodell von Predtetschenski und Milinski (P+M) [39] verglichen. Die verwendeten Individualmodelle

- ASERI, Version 3.4c, kontinuierlich (Integrierte Sicherheitstechnik GmbH, Frankfurt/M),
- buildingEXODUS, Version 4.0 Level 2, diskret (0,50 m Zellengröße) (University of Greenwich, UK),
- PedGo, Version 2.2.2, diskret (0,40 m Zellengröße) (TraffGo HT GmbH, Duisburg) und
- Simulex, Version 11.1.3, kontinuierlich (IES Ltd., Glasgow, UK)

wurden möglichst in den Grundeinstellungen belassen und die Personeneigenschaften nur in der freien Laufgeschwindigkeit auf Ebenen ($1,35 \text{ m/s} \pm 0,2 \text{ m/s}$) sowie nach Möglichkeit auf Treppen (aufwärts 50%, abwärts 60% des Horizontalwertes) angepasst. Reaktionszeiten aller Personen wurden immer auf Null gesetzt. Die Ergebnisse aus zehn Durchläufen wurden gemittelt.

Für das Vergleichsmodell P+M [39] wurden mit Bezug auf das Fundamentaldiagramm von Weidmann [28] die Einstellungen

- Personen in Winterstraßenbekleidung ($0,125 \text{ m}^2/\text{P}$) unter normalen Bewegungsbedingungen und
- Personen in Sommerbekleidung ($0,1 \text{ m}^2/\text{P}$) unter Gefahrenbedingungen

gewählt, so dass ein Ergebnisbereich prognostiziert wurde.

Aus den zehn Szenarien in [44] werden die Szenarien 2 und 6 wiedergegeben.

Szenario 2 (Bild 7) beschreibt die Räumung eines 50 m langen und 2 m breiten Ganges, der mit Personen unterschiedlicher homogener Anfangsdichten belegt ist. Die Personen müssen sich nur den Gang entlang über die Messstelle bewegen. In einer Variation wurden die undefinierten Randbedingungen jenseits der Messstelle durch weitere 50 m Ganglänge ersetzt (ohne Verschiebung der Messstelle).



Bild 7 Szenario der Räumung eines 50 m langen und 2 m breiten Ganges unterschiedlicher Anfangspersonendichten [44]

Im Ergebnis (Bild 8) weichen besonders für hohe Anfangsdichten die Fluchtzeiten um bis zu 100 % voneinander ab, wobei zwei der vier Modelle immer deutlich unterhalb des Ergebnisbereichs von P+M liegen. Durch den Anschlussflur werden die Zeiten teilweise geringfügig länger. Die Ergebnisse verleiten zu der Vermutung, dass die Fundamentalbeziehungen in einigen Modellen nicht exakt berücksichtigt werden.

Im Szenario 6 (Bild 9) wurde ein ebenfalls 2 m breiter Weg aus einem personenbelegtem, 10 m langen Gang mit anschließender 3 m Treppe und 1 m Podest betrachtet. Beim Modell buildingEXODUS wurden dabei zwei Varianten berechnet, da dort auf Treppen standardmäßig eine 0,76 m Spurbreite zur Berücksichtigung von Schwankungsbewegungen eingestellt ist, die bei 2 m geometrischer Breite nur zu zwei statt vier Parallelsuren auf der Treppe führt.

Die Fluchtzeiten der Modelle (Bild 10) weichen abermals bis zu mehr als 100 % voneinander ab, wobei die Reihenfolge gegenüber dem vorherigen Szenario geändert ist. buildingEXODUS bestimmt für beide Einstellungen die längsten Zeiten, die teilweise auch deutlich über P+M liegen. Der Anstieg quasi linear mit der Personenanzahl ist auffällig und weist darauf hin, dass die Fundamentalbeziehungen (Bild 4) hier praktisch keinen Einfluss mehr haben. Die übrigen drei Modelle liegen alle, teilweise deutlich, unterhalb des Bereichs von P+M.

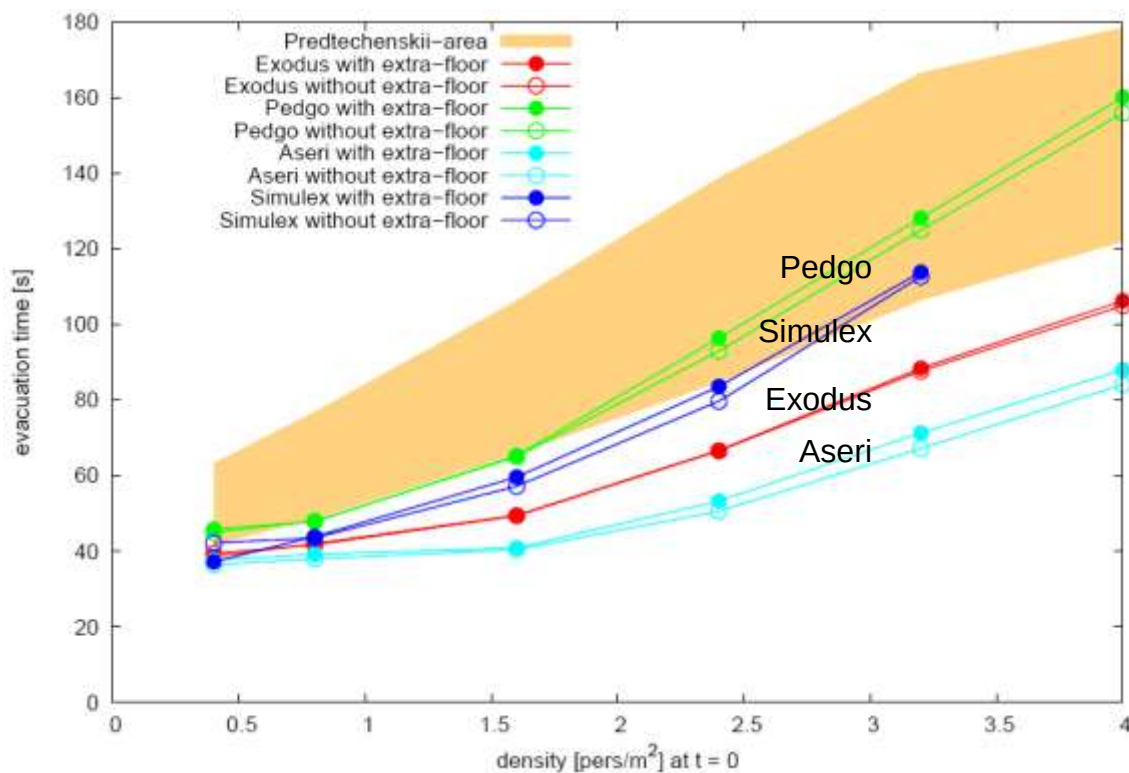


Bild 8 Zeiten für das Szenario der Räumung eines 50 m langen und 2 m breiten Ganges unterschiedlicher Anfangspersonendichten [44]

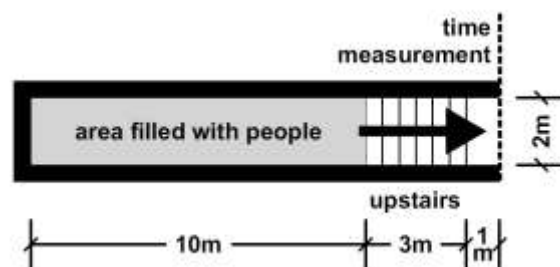


Bild 9 Szenario der Räumung eines 10 m langen und 2 m breiten Ganges über eine 3 m lange Treppe mit anschließendem Podest von 1 m [44]

Auch für die anderen, hier nicht wiedergegebenen Szenarien wurden immer deutliche Abweichungen gefunden. Für die Vereinigung von Personenströmungen ergaben sich teilweise je nach Modell unterschiedliche Parameterabhängigkeiten. Die größten Abweichungen bei der Entleerung eines schmalen Gangs von nur einer Spurbreite betrugen mehr als einen Faktor 3 [44].

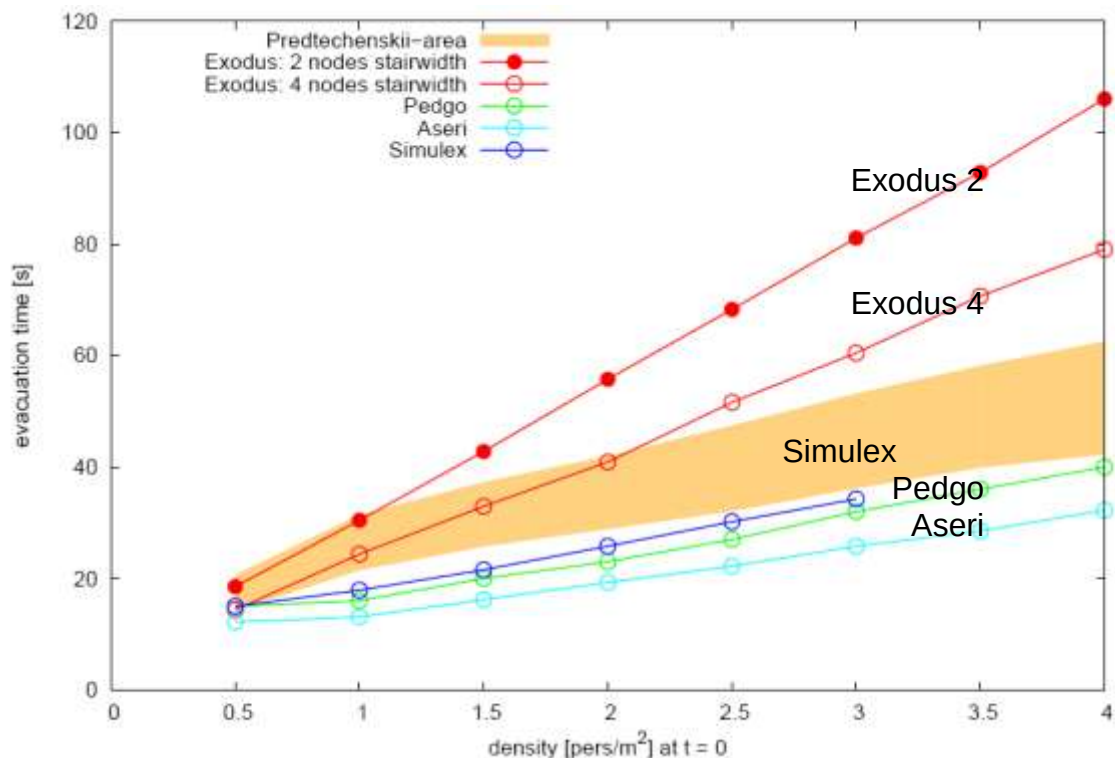


Bild 10 Zeiten für das Szenario der Räumung eines 10 m langen und 2 m breiten Ganges über eine 3 m lange Treppe mit anschließendem Podest von 1 m [44]

In einer ähnlichen Studie [38] wurden ebenfalls deutliche Modellunterschiede festgestellt. Da allerdings tendenziell komplexere Szenarien betrachtet wurden, wird die auch durch [44] gestützte These vertreten, dass die Unterschiede in den Fluchtzeiten sich zum Teil bei komplexeren Szenarien kompensieren. Dieses bedeutet, dass Stauungen im Rettungswegverlauf je nach Modell an unterschiedlichen Stellen prognostiziert werden. Das zweite Nachweisziel der Modelle, der Nachweis eines sicheren Fluchtverlaufs (s. u.), ist somit ebenfalls in Frage gestellt.

Im Ergebnisse ist festzustellen, dass die Modelle derzeit noch mit Vorsicht einzusetzen sind. Teilphänomene bzw. -ergebnisse sollten ggf. mit einem Modell wie P+M überprüft werden, wobei auch dieses Modell nicht das Maß der Dinge darstellt, aber leichter überschaubar ist. Im Einzelfall wird die Realität die Simulation belegen müssen.

NACHWEIS EINES SICHEREN RÄUMUNGSVERLAUFS

Der Nachweis eines sicheren Räumungsverlaufs (Bild 1) ist ebenfalls Hauptziel der ingenieurgemäßen Räumungsnachweise. Da ein Räumungsvorgang ohne Staus oder Verzögerungen aus Versammlungsräumen praktisch nicht möglich ist, lassen sich Kriterien diskutieren wie

- a) maximale Fluchtzeiten aus dem Gefahrenbereich bzw. aus dem Gesamtgebäude,
- b) keine Staus (nach Verlassen des Primärraums) bzw. an gefährlichen Stellen,
- c) maximale Länge von Strecken oder Zeitintervallen, innerhalb derer nur sehr langsame Gehgeschwindigkeiten (bzw. analog sehr hohe Personendichten) erreicht werden,
- d) Maximaldauer, bis eine Person sich vom Sitzplatz / der Anfangsposition wegbewegen kann, und/oder
- e) maximale Staudrücke bzw. maximal an einem Stau beteiligte Personenanzahlen.

Für einige dieser Kriterien sind konkrete Werte vorgeschlagen worden, wobei diese in aller Regel durch keinerlei Studien zum (Panik-)Verhalten von Personen belegt sind. Die Werte sollen unabhängig von den obigen Betrachtungen zu Modellunsicherheiten diskutiert werden.

Zu a)

Auf Grund der zahlreichen Einflüsse auf die Räumungszeit kann sinnvoller Weise nur ein Grenz-/Richtwert für die Fluchtzeit diskutiert werden. In der MVStättV werden hier zwar keine Vorgaben gemacht, doch wurde in der Erläuterung zur MVStättV 2002 [45] die noch aktuelle Rettungswegbemessung mit Zielwerten für Fluchtzeiten (dort „Entleerungszeiten“) von 2 min aus Innenräumen bzw. von 6 min aus Tribünen im Freien begründet. Die Bemessung stützt sich dabei auf aktuelle europäische Normung [46]. Die Fluchtzeiten sind allerdings nur bei einem optimalen Verlauf einschließlich der optimalen (nicht realen) Aufteilung der Personenströme auf die Rettungswege einzuhalten.

In sofern ist der Vorschlag von Mehl [47] für maximale Fluchtzeiten praxisnäher:

- rechnerische Fluchtzeit aus Räumen: $t_{\text{Flucht}} \leq 2 \dots 3 \text{ min}$
- rechnerische Fluchtzeit aus Gebäuden: $t_{\text{Flucht}} \leq 6 \dots 8 \text{ min}$
(8 min als Extremwert)

Zu b)

Diese Forderung wird durch reine Anwendung der MVStättV nicht erreicht, da hier nur auf die Mindestbreite abgehoben wird, ohne z. B. den geringeren spezifischen Fluss auf Treppen zu berücksichtigen. So können vor Treppen Stauungen auftreten, die sich z. B. mit dem einfachen, dynamischen Strömungsmodell P+M [39] identifizieren lassen. Bei der Vereinigung von Personenströmen können ebenfalls Stauungen entstehen, die je nach Komplexität des Vorgangs (z. B. bei verschiedenen Startzeiten) am besten mit einem Individualmodell un-

tersucht werden können (wobei die Vereinigung von Personenströmen nicht immer nach einheitlichen Mustern erfolgt bzw. simuliert wird [39],[44],[48]).

Zu c)

Auch hierzu hat Mehl [47] einen Vorschlag gemacht:

- A) die Summe der Stauzeiten bzw. Verzögerungszeiten (als Gehgeschwindigkeit kleiner 0,30 m/s) sollte nicht mehr als die Hälfte der Summe der Gehzeiten betragen,
- B) Stauzeiten (Einzelwerte) sollten nicht länger als eine Minute betragen bzw.
- C) Verzögerungszeiten sollten nicht länger als zwei Minuten betragen.

In die gleiche Richtung wie A) bzw. C) gehend hat das Autorenkollektiv der Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen (RIMEA) [49] einen „signifikanten Stau“ definiert. Ein signifikanter Stau liegt demnach vor, wenn eine lokale Dichte von 4 P/m^2 länger als 10 % der Gesamtfluchtdauer überschritten wird. Dieses Kriterium wurde in einem IMO Richtlinienentwurf zur Evakuierung von Fahrgastschiffen übernommen.

Zunächst zum Kriterium Geschwindigkeit bzw. Personendichte. Wird Mehls Vorschlag einer maximalen Verzögerungszeit auf das Modell P+M [39] bezogen (angenommene Personenprojektionsfläche von $0,113 \text{ m}^2/\text{P}$, „Straßenübergangsbekleidung“), erhält man eine maximale Personendichte von $3,6 \text{ P/m}^2$ unter „Normalbedingungen“ bzw. $6,1 \text{ P/m}^2$ unter „Gefahrenbedingungen“. Der Wert von 4 P/m^2 der RIMEA liegt zwar dazwischen, doch machen die stark schwankenden Werte für die Fundamentalbeziehungen (vgl. auch Bild 4) die Schwierigkeit bei der Festlegung einer maximalen Personendichte deutlich. Diese Problematik gilt besonders für diskrete Individualmodelle, bei denen die dargestellte Personendichte zusätzlich von der Zellengröße (s. o.) abhängt. Eine maximale Gehgeschwindigkeit ist damit aus Sicht des Autors das bessere, weil allgemeinverbindlichere Kriterium.

Die zeitlichen Dimensionen betreffend, sind die Kriterien A und C von Mehl einfacher einzuhalten als die RIMEA. Die gravierendsten Staus (Kriterium B) treten üblicher Weise an den Ausgängen von Versammlungsräumen auf. Der zeitliche Verlauf hängt hier maßgeblich von der Verteilung der Reaktionszeiten der Personen (Bild 3) ab. Zur Anwendung der vorgestellten Kriterien in der Genehmigungspraxis liegen dem Autor keine Referenzen vor.

Zu c) und e)

Zu diesen Kriterien sind bisher keine Vorschläge bekannt. Die Maximaldauer bis zum Verlassen der Anfangsposition ist eine Sonderform der Stauzeit, die besonders bei Personen in Sitzreihen oder auf Tribünen auftreten kann. Die Berechnung von Staudrücken und der daraus resultierenden Maximalperso-

nenzahlen wäre wünschenswert, da hier das eigentliche Problem der Personengefährdung liegt. Entsprechende Methoden haben bisher noch keinen Einzug in die Ingenieurpraxis gefunden.

Abschließend muss bezogen auf die Nachweismöglichkeiten eines sicheren Fluchtverlaufs festgestellt werden, dass es hier einige Ansätze für Nachweiskriterien gibt, die prinzipiell auch mit Modellen berechnet werden können. Ein quantitativer Nachweis ist noch außer Sicht, da die diskutierten Richtwerte weder ausreichend belegt sind, noch die Modelle diese Werte exakt bestimmen können.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Im Rahmen des ingenieurgemäßen Nachweisverfahrens zur Personensicherheit in Versammlungsstätten werden sowohl bei der Szenarienfindung, als auch bei deren quantitativer Beschreibung durch verschiedene Eingangsgrößen deutliche Vereinfachungen und Fehler gemacht. Weitere teils signifikante Fehlerquellen liegen in den zu verwendenden Modellen, die die Realität nur ungenügend simulieren. Die Ergebnisse der Simulationen werden wiederum in Bezug zu Beurteilungskriterien gesetzt, wobei nicht fest steht, welche Beurteilungskriterien - wie die Höhe der raucharmen Schicht oder die FED – als maßgebend anzusehen sind. Auch die Zahlenwerte der Beurteilungskriterien stehen noch zur Diskussion, wie der Wertebereich der Tabelle 2 für das relativ einfache Kriterium der Höhe der raucharmen Schicht zeigt.

Bei der Verwendung von Räumungsmodellen gelten die vorgemachten Aussagen analog. Weder lassen sich derzeit Fluchtdauern mit verschiedenen Modellen konsistent bestimmen, noch scheinen die Modelle in der Lage zu sein, einen sicheren Fluchtverlauf nachvollziehbar nachzuweisen. Für das letztere Nachweisziel fehlt es heute noch an Kriterien bzw. hinreichend belegten Beurteilungswerten.

Für die Anwendung der Modelle bedeutet das, dass Eingangsdaten immer konservativ gewählt werden sollten und Modellergebnisse durch Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen zu hinterfragen sind. Innerhalb der Anwendung der Modelle im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren ergibt sich die Möglichkeit, die Modelle im Einzelfall zunächst unter Anwendung der materiellen Vorschriften des Baurechts ("prescriptive code") zu kalibrieren. Mit anderen Worten: welche Ergebnisse werden für ein Gebäude erzielt, das ohnehin genehmigungsfähig ist? Wenn die Simulationen unter Berücksichtigung der Abweichungen von den materiellen Vorschriften wiederholt werden, können die Ergebnisse zueinander in Bezug gesetzt werden zum Nachweis, dass das Sicherheitsniveau nicht abgesenkt wurde [3].

In diesem Sinne wurden zur exemplarischen Bestimmung des Sicherheitsniveaus einer einfachen, nach MVStättV genehmigungsfähigen Versammlungsstätte umfangreiche Parameterstudien durchgeführt [10]. Dabei wurden für ei-

nen Versammlungsraum steigender Größe Räumungsdauern bestimmt und Brände in dem Versammlungsraum entsprechend dem α - t^2 -Ansatz (Gl.1, Tabelle 1) simuliert. Durch Gleichsetzung der Zeiten $t_{\text{Räumung}}$ mit $t_{\text{verfügbar}}$ lässt sich daraus in Abhängigkeit von der Raumgröße und dem Nachweiskriterium eine kritische Brandentwicklungsgeschwindigkeit α_{krit} bestimmen, bei der die letzte Person den Gefahrenbereich gerade noch sicher verlassen kann (Bild 11). Mit Hilfe der Studie soll beispielhaft ein Bezug zum implizit in den materiellen Vorschriften vorhandenen Sicherheitsniveau hergestellt werden. Die Auswirkungen von Abweichungen können über die kritische Brandentwicklungsgeschwindigkeit quantifiziert werden.

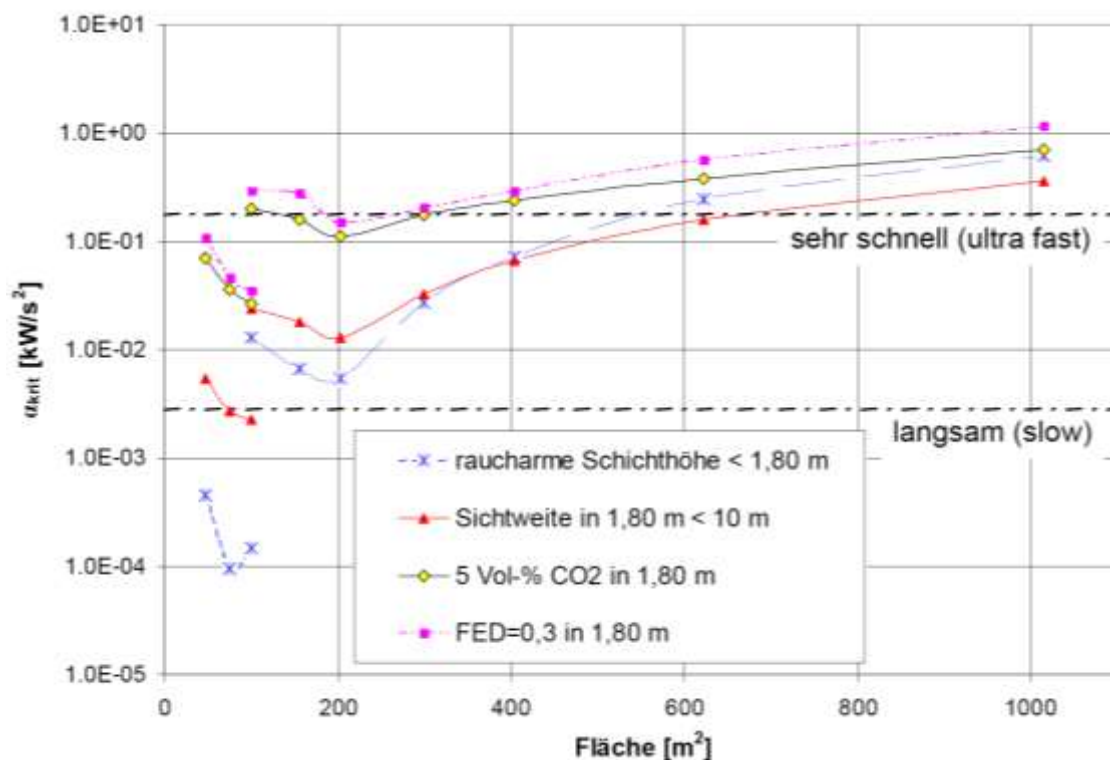


Bild 11 Kritische Brandentwicklungsgeschwindigkeit (log. Skalierung) für die gewählten Nachweiskriterien bei auslegungsgemäßer Räumung [10]

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag werden die heutigen ingenieurgemäßen Möglichkeiten zum Nachweis der Personensicherheit betrachtet. Dieses betrifft die Bestimmung einer verfügbaren Räumungszeit, die Bestimmung einer erforderlichen Räumungszeit und den Nachweis, dass der Räumungsverlauf an sich gefahrenfrei verläuft. Die einzelnen Einflüsse und Komponenten werden an Hand eines Schaubilds strukturiert und diskutiert.

Als Ergebnis der durchaus kritischen Betrachtung lässt sich feststellen, dass einerseits wegen der oft fehlenden Eingangsdaten und andererseits wegen der

teilweise gravierenden Ergebnisabweichungen von Simulationsmodellen die quantitativen Nachweismöglichkeiten derzeit noch stark eingeschränkt sind.

Eingangsdaten sollten daher immer konservativ gewählt werden und Modellergebnisse durch Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsprüfungen kritisch hinterfragt werden. Für die Anwendung der Modelle im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren ergibt sich die Möglichkeit, die Modelle im Einzelfall zunächst an den materiellen Vorschriften des Baurechts ("prescriptive code") zu kalibrieren. Das Simulationsergebnis bei Betrachtung der Abweichungen kann hiermit in Bezug gesetzt werden.

LITERATUR

- [1] Forell, B.: Lernen aus exemplarischen Schadensfällen in Diskotheken und ähnlichen Vergnügungsstätten. In: VdS (Hrsg.): Brandschutz- und Sicherheitskonzepte für große Versammlungsstätten und Bauwerke für viele Personen, Köln. 2004.
- [2] Hosser, D.; Forell, B., Schneider, V.: Sicherheit der WM-Stadien – Expertenstreit, Erfahrungen und Folgerungen. In: Hosser, D. (Hrsg.): Praxisseminar 2006 "Brandschutz bei Sonderbauten", Kurzreferate. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 192. 2006.
- [3] Hosser, D. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfdb Technischer Bericht TB 04/01, Mai 2006. <http://www.vfdb.de>
- [4] Schneider, V.; Heins, T.: Personensicherheit in Rettungswegen - Nachweis mit Ingenieurmethoden. In: Hosser, D. (Hrsg.): Praxisseminar 2002 "Brandschutz in Sonderbauten". Kurzreferate: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 163. 2002.
- [5] Dehne, M.: Lösungen von speziellen Brandschutzproblemen mit Hilfe von Ingenieurmethoden. In: Hosser, D. (Hrsg.): Praxisseminar 2004 "Brandschutz in Sonderbauten". Kurzreferate: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 178. 2004.
- [6] Forell, B.: Nachweise der Personensicherheit. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage 2005. Kurzreferate. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 185. 2005. (vgl. auch Anwendungsbeispiel in [3])
- [7] Purser, D.: Toxicity assessment of combustion products and human behaviour in fires. In: Tagungsband 10. IBS "Ingenieurmethoden des Brandschutzes", 6. und 7. Juni 2005 in Hannover. vfdb / iBMB. 2005.
- [8] Holborn, P.G.; Nolan, P.F.; Golt, J.: An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations. Fire Safety Journal 39, S. 481-524. 2004.
- [9] Holborn, P.G.: Persönliche Mitteilung. 2007.

- [10] Forell, B.: Niveau der Personensicherheit von Versammlungsstätten - Nachweis nach vfdb-Leitfaden. vfdb Jahresfachtagung in Leipzig, 21. bis 23. Mai 2007.
- [11] ARGEBAU: Begründung und Erläuterung zur Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten, Fachkommission Bauaufsicht, Juni 2005. <http://www.is-ergebaut.de>
- [12] prCEN/TR 12101-5: Smoke and heat control systems – Part5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, Mai 2005.
- [13] Särndqvist, S.: Initial Fires: RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests. Lund University. ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG/TVBB--3070--SE. 1993.
- [14] Hirschler, M.M.: Analysis of work on smoke component yields from room-scale fire tests. FAM (29), pp. 303-314. 2005.
- [15] Blume, G.: Ingenieurmodell zur brandschutztechnischen Bemessung von Bauteilen auf der Basis von experimentell ermittelten Verbrennungseffektivitäten. Dissertation TU Braunschweig. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 167. 2003.
- [16] Schneider, U.: Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz. 3. Auflage, Expert Verlag, Renningen. 2002.
- [17] Jones, W. W.; Peacock, R. D.; Forney, G. P.; Reneke, P. A.: CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1026, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. December 2005.
- [18] McGrattan, K. (Hrsg.): Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. September 2005.
- [19] Wilk, E.: Persönliche Kommunikationen. August 2007.
- [20] Forell, B.: A Methodology to assess Species Yields of Compartment Fires by means of an extended Global Equivalence Ratio Concept. Dissertation TU Braunschweig und Universität Florenz. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 198, 2007. <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00020916>
- [21] Husted, B.P; Carlsson, J.; Göransson, U.: Visibility through inhomogeneous smoke using CFD, Interflam 2004.
- [22] Schneider, V.; Wilk, E.: Sicherheitskriterien und Nachweisverfahren für die Personenrettung. vfdb Jahresfachtagung in Leipzig, 21. bis 23. Mai 2007.
- [23] Purser, D.: Toxicity assessment of combustion products. In: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Quincy, Massachusetts. S. 2-83 - 2-173. 2002.

- [24] ISO Technical Draft specification, ISO TDS 13571: Life threat from fires – Guidance on the estimation of time available to escape using fire data. 2001-09.
- [25] Hartzell, G.E.: Engineering analysis of hazards to life safety in fires: the fire effluent toxicity component. *Safety Science* 38, S. 147-155. 2001.
- [26] Delichatsios, M.: Tenability conditions and filling times for fires in large spaces. *Fire Safety Journal* 39, S. 643-662. 2004.
- [27] Faty, R.; Proulx, G.: Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Evacuation Modeling. 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire. Boston, MA., USA, S. 175-183. Zugleich: NRCC-44758. Institute for Research in Construction, Ottawa, Kanada. 2001.
- [28] Weidmann, U.: Transporttechnik der Fußgänger - Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs (Literaturauswertung). Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Nr. 90, 2., ergänzte Auflage Zürich, März 1993.
- [29] Müller, K.: Evakuierung von Personen aus Gebäuden. In: Vogelbusch (Hrsg.), *Katastrophenschutz in Arbeitsstätten – Selbstschutz in Behörden Betrieben und Verwaltungen*, Ecomed-Sicherheit, 84. Ergänzungslieferung, Mai 2002.
- [30] NFPA 101. Life Safety Code. National Fire Protection Association, USA., Ausgabe 2003.
- [31] Arbeitsinspektion Österreich (Hrsg.): Sichere Fluchtwege in Diskotheken und Pubs – Schwerpunktaktion der Arbeitsinspektion im Winter 1999/2000, österreichweit. Kurzbericht. 2000. <http://www.arbeitsinspektion.gv.at>
- [32] PD7974-6: The application of fire safety engineering principles to fire design of buildings: Human Factors: Life Safety strategies – occupant evacuation, behaviour and condition. British Standards Institution. 2004.
- [33] Kuligowski, E. D.; Peacock, R. D.: A Review of Building Evacuation Models. NIST Technical Note 1471, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. July 2005.
- [34] VDS 2095: VdS-Richtlinien für automatische Brandmeldeanlagen - Planung und Einbau. 2005-02.
- [35] EN 54-2: Brandmeldeanlagen, Teil 2: Brandmelderzentralen. Dezember 1997.
- [36] Canter, D.: Informing, Educating and Training to avoid Disasters. In: Canter, D. (Hrsg.) *Fires and Human Behaviour*, 2nd Edition, David Fulton Publishers, London. 1990.

- [37] Forell, B.; Klinzmann, C.: Grundlagen verschiedener Evakuierungsmodelle und Anwendung am Beispiel der Evakuierung eines Hörsaalgebäudes. vfdb Zeitschrift 1/2006, S. 17-25.
- [38] Kersken, M.; Waldau, N.; Hoffmann, T.: Berechnung von Entleerungszeiten für Fallbeispiele. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart. 2006.
- [39] Predtetschenski, V.M.; Milinski, A.I.: Personenströme in Gebäuden - Berechnungsverfahren für die Projektierung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld. 1971.
- [40] Kretz, T.; Grünebohm, A.; Schreckenberger, M.: Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck. Journal of Statistical Mechanics (Onlineveröffentlichung). 2006.
- [41] Müller, K.: Zur Gestaltung und Bemessung von Fluchtwegen für die Evakuierung von Personen. Dissertation TH Magdeburg. 1981.
- [42] Nelson, H. E.; Mowrer, F. W.: Emergency Movement. In: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Quincy, Massachusetts. 2002.
- [43] Peschl, I.: Untersuchungen über das Benehmen von großen Menschenmengen bei der Strömung durch Türen und Engpässe in Panik- oder Gedrängesituationen. VDI-Z 113 Nr. 1, S. 13-16. 1971.
- [44] Rogsch, C.: Vergleichende Untersuchungen zur dynamischen Simulation von Personenströmen. Berichte des Forschungszentrums Jülich. Nr. 4185. Oktober 2006. Zugleich: Diplomarbeit. Universität Wuppertal. 2005.
- [45] ARGEBAU: Begründung und Erläuterung zur Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten, Fachkommission Bauaufsicht, Mai 2002.
- [46] DIN EN 13200 Zuschauertribünen, Teil 1: Kriterien für die räumliche Anordnung von Zuschauerplätzen - Anforderungen (2004-05).
- [47] Mehl, F.: Richtlinien für die Erstellung und Prüfung von Brandschutzkonzepten. In: Hosser (Hrsg.): Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbauten, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, Heft 178. 2004.
- [48] Draft ISO-WD_16738: Evaluation of behaviour and movement of people. 03-2007.
- [49] Autorenkollektiv: Richtlinie für Mikroskopische Evakuierungsanalysen, RI-MEA, Version 2.0.2. Juni 2007. <http://www.rimea.de>

SITZUNG 3

BRANDSCHUTZKONZEPTE AN BEISPIELEN

Sitzungsleitung: H.-J. Gressmann, Braunschweig

UNTERSUCHUNGEN ZUR SICHEREN EVAKUIERUNG VON UNTERIRDISCHEN BAHNHÖFEN IM BRANDFALL

Eckhard Hagen, Jens Upmeyer und Klaus Veenker
Hagen – Ingenieure für Brandschutz, Kleve

EINLEITUNG

Auf Grund von vergrößertem Personenaufkommen und mehreren Brandfällen im europäischen Ausland ist der Brandschutz in unterirdischen Bahnhöfen in der letzten Zeit wieder stärker in das öffentliche Interesse gerückt. Betreiber und Eigentümer sind aufgefordert worden, die bestehenden Anlagen hinsichtlich ihrer Sicherheit zu prüfen und bei Neubauten erhöhte Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes umzusetzen. In der Regel werden Brandschutzkonzepte für derartige Sonderbauten aufgestellt. Diese Brandschutzkonzepte basieren sehr oft auf ingenieurmäßigen Nachweismethoden bzgl. Rauchfreiheit und Evakuierung.

Wegen der Offenheit der Geschosse, der hohen Brandlasten der Schienenfahrzeuge und einer massiven Rauchentwicklung innerhalb der unterirdischen, komplexen Gebäudestrukturen muss eine Evakuierung der Personen in der Regel in Richtung des Rauchaufstieges erfolgen. Daher stellt die sichere Evakuierung der unterirdischen Bahnhöfe eine anspruchsvolle Planungsaufgabe im Brandschutzingenieurwesen dar. Die Lösungsansätze basieren in der Regel auf rechnerischen Simulationen des Brandes der Schienenfahrzeuge und der Rauchausbreitung in der Verkehrsanlage in Verbindung mit einer Evakuierungsberechnung.

Im Rahmen der Erarbeitung von Brandschutzkonzepten für die Essener Verkehrs AG ergaben Brandsimulationsrechnungen an Schienenfahrzeugen in unterirdischen Bahnhöfen eine relativ schnelle Verrauchung der Verkehrsanlage, so dass die rechtzeitige Evakuierung für bemessungsrelevante Szenarien rechnerisch nicht in jedem Fall nachgewiesen werden konnte. Diese Brandsimulationsrechnungen wurden auf der Grundlage von Literaturdaten hinsichtlich der Brandparameter und der Energiefreisetzungsraten für brennende Schienenfahrzeuge durchgeführt.

Wegen der unbefriedigenden rechnerischen Ergebnisse sollte daher untersucht werden, ob die Eingangsparameter für die Brandsimulationsrechnung aus der Literatur auf die Schienenfahrzeuge der Essener Verkehrs AG übertragen werden können.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Experimente sowohl im Labor als auch im Maßstab 1 : 1 durchgeführt. Gegenstand des vorliegenden Beitrages ist der Bericht über die rechnerische Simulation und die durchgeführten Experimente.

BRANDSCHUTZKONZEPTE FÜR UNTERIRDISCHE BAHNHÖFE

„Hauptbahnhof“ und „Berliner Platz“ in Essen

Im Rahmen einer brandschutztechnischen Beurteilung wurde für die unterirdischen Bahnhöfe der Essener Verkehrs AG, „Hauptbahnhof“ und „Berliner Platz“, eine rechnerische Untersuchung hinsichtlich einer sicheren Evakuierung der unterirdischen Bahnhöfe im Brandfall durchgeführt.

Nachweismethode

Die Bewertung einer sicheren Evakuierung von unterirdischen Bahnhöfen erfolgt durch die Beurteilung und Festlegung von kritischen Brandszenarien, die mögliche Brandfälle realistisch beschreiben. Für diese Brandszenarien ist die Evakuierung zu betrachten, so dass die Personen den unterirdischen Bahnhof auf den Rettungswegen sicher verlassen können. Im Detail werden dazu folgende Nachweise erforderlich:

- Beurteilung der Rauchausbreitung in dem unterirdischen Bahnhof mit dem Ziel der Bestimmung von kritischen Zeiten, ab denen eine Passierbarkeit der Rettungswege nicht mehr gegeben ist. Als Bemessungsbrandszenario wird der Vollbrand eines Schienenfahrzeuges in dem unterirdischen Bahnhof definiert.
- Beurteilung der Evakuierung des unterirdischen Bahnhofes mit dem Ziel der Bestimmung der Zeiten für die Räumung.

Eine sicherere Evakuierung ist dann möglich, wenn die Räumung abgeschlossen ist bevor die Rettungswege verrauchte sind.

Eingangsparameter

Die Gebäudeabmessungen der unterirdischen Bahnhöfe bilden die Eingangsparameter für die Berechnungen. Für die Geometrien wurden Computermodele erstellt.

Das zugrunde gelegte Brandszenario wurde für den Vollbrand eines Schienenfahrzeuges auf der Grundlage von Literaturangaben festgelegt. Diese basieren auf einem Bericht der STUVA [1] zu Brandrisiken in unterirdischen Personenverkehrsanlagen des öffentlichen Personennahverkehrs, der sich im Wesentlichen auf die Brandversuche im EUREKA-Projekt [2] stützt.

Diese Brandszenarien dienten bereits als Grundlage für die Planung neuerer unterirdischer Personenverkehrsanlagen in Dortmund, Düsseldorf, Köln und Wien ([1] vgl. [13]). Sie gelten als etabliert und sind wissenschaftlich abgesichert.

Die Brandsimulationsrechnungen für die Essener Bahnhöfe wurden mit dem Feldmodell FDS [4] unter Ansatz der Energiefreisetzungsrate aus [1] durchgeführt. Auf Grund des Essener Schienenfahrzeugtyps wurde das Maximum der Energiefreisetzungsrate konservativ abgemindert. Damit ergaben sich folgende das Brandszenario beschreibende Eingangsgrößen:

- maximale Energiefreisetzungsrate = 20.000 kW,
- spezifische Energiefreisetzungsrate = 300 kW/m²,
- Brandausbreitungsgeschwindigkeit = 0,70 m/min in radialer Richtung.

Die Personenzahlen in den Bahnhöfen wurden von der Essener Verkehrs AG vorgegeben. Bei den Räumungssimulationen wurden Personendichten von 0,8 P/m² für die Bahnsteigebenen und 0,2 P/m² für die Verteilerebenen berücksichtigt. Diese Personendichten entsprechen international verifizierten Personenaufkommen. Sie stellen eine vergleichbar hohe Personendichte für diesen Bahnhofstyp dar.

Bei der Festlegung der Personendichten wurde, da es sich um unterirdische Bahnhöfe handelt, berücksichtigt, dass die Bahnhöfe Umsteigebahnhöfe sind, und dass an Tagen mit erhöhtem Personenaufkommen Räumungshelfer und Sicherheitskräfte durch die Betreibergesellschaft eingesetzt werden, die extrem hohe Personenaufkommen an den Bahnsteigen verhindern sollen.

Die Personenzahlen werden nicht in Zusammenhang mit den Schienenfahrzeugtypen oder -längen gesetzt, da dies zu geringeren Personendichten führen würde.

Mit diesen Zahlen wurde die Evakuierungsberechnung mit dem Programmsystem ASERI [5] durchgeführt.

Ergebnisse

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Eingangsparameter wurde sowohl die Verrauchung der Rettungswege bei einem Vollbrand eines Schienenfahrzeuges als auch die Evakuierungszeit berechnet. In Bild 1 ist exemplarisch ein Verrauchungszustand aus der Brandsimulationsrechnung dargestellt.

Die Berechnungen zeigen, dass eine sichere Evakuierung innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit bis zu einer Verrauchung der Rettungswege rechnerisch nicht für alle Szenarien nachgewiesen werden kann.

Die rechnerischen Untersuchungen führen für beide unterirdischen Bahnhöfe „Hauptbahnhof“ und „Berliner Platz“ zu ähnlich negativen Ergebnissen.

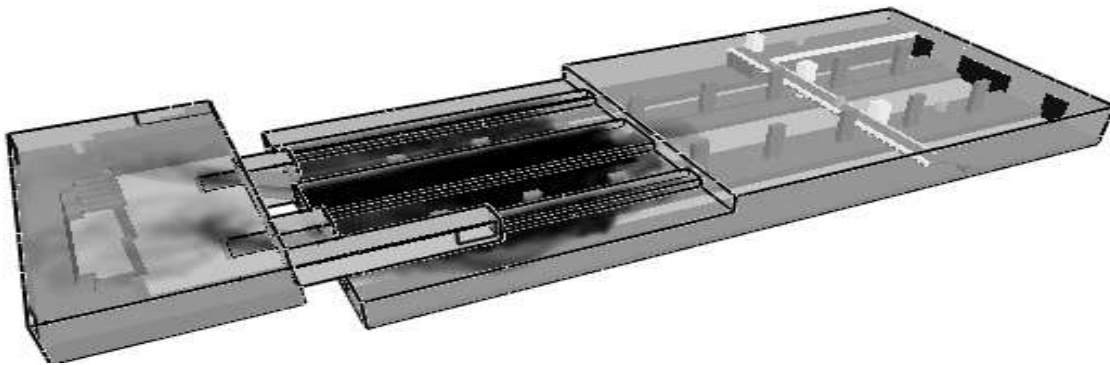


Bild 1 Computermode ll des unterirdischen Bahnhofes „Hauptbahnhof“ der Essener Verkehrs AG aus dem Feldmodell FDS [4] im Zuge der Brandsimulationsrechnung

Schlussfolgerungen

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Eingangsparameter wurde sowohl die Verrauchung der Rettungswege bei einem Vollbrand eines Schienenfahrzeuges als auch die Evakuierungszeit berechnet. Diese Berechnungen zeigen, dass eine sichere Evakuierung innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit bis zu einer Verrauchung der Rettungswege für diese Parameter rechnerisch nicht nachgewiesen werden kann.

Dies führte zu einer Diskussion der weiteren Vorgehensweise. Fehler in den rechnerischen Nachweisen konnten ausgeschlossen werden, so dass schlussendlich sehr kostenintensive Maßnahmen die Konsequenz sein würden.

Beispielsweise wären bauliche Maßnahmen an den unterirdischen Bahnhöfen oder Löschsyste me in den Zügen möglich.

Obwohl die Eingangsparameter für die Brandsimulation auf wissenschaftlich abgesicherten und etablierten Literaturquellen [1] und [2] fußten, führten die Untersuchungen nicht zu einem positiven Rechenergebnis. Eventuelle baulichen Maßnahmen stellten sich als äußerst kostenintensiv heraus, so dass folgende Fragestellungen entstanden:

- Sind die durchgeführten Brandversuche aus [1] und [2] auf die Geometrien der unterirdischen Bahnhöfe in Essen übertragbar?
- Ist eine Übertragung der Energiefreisetzungsrate n aus der Literatur auf Grund der großen Streuungen in den Messwerten überhaupt zutreffend?
- Kann mit den angesetzten Brandparametern aus der Literatur, insbesondere den Rechenwertfunktionen für die Energiefreisetzungsrate, der Brand eines Essener Schienenfahrzeuges beschrieben werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde ein Brandversuch an einem Schienenfahrzeug der Essener Verkehrs AG durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

BRANDVERSUCHE AN EINEM STADTBAHNWAGEN

Vorgehensweise und Ziel

Bei der MFPA in Leipzig wurde an einem Stadtbahnwagen der Essener Verkehrs AG ein Realbrandversuch im Maßstab 1 : 1 durchgeführt.

Ziel dieses Experimentes war die Überprüfung des Brandszenarios „Stadtbahnwagen“ hinsichtlich der Eingangsparameter für zukünftige Brandsimulationsrechnungen. Insbesondere sollte ein Bemessungsbrand im Brandversuch ermittelt werden.

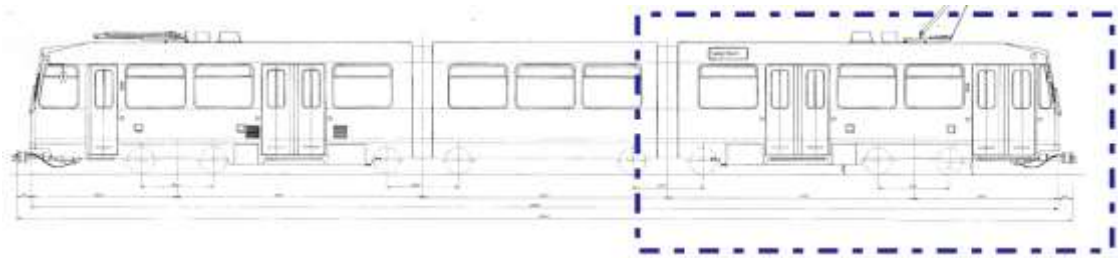
Fahrzeug

Die Essener Verkehrs AG stellt für den realen Brandversuch ein Schienenfahrzeug zur Verfügung. Es handelt sich um einen 12,5 m langen Fahrzeugabschnitt eines Stadtbahnwagens. In diesem Fahrzeugabschnitt befanden sich der Führerstand und der Fahrgastraum bis zum ersten Gelenk. Es handelte sich um den Stadtbahnwagen Typ M8S (vgl. Bild 2).



Bild 2 Stadtbahnwagen Typ M8S der Essener Verkehrs AG

Die vollständige Bahn des untersuchten Typs M8S hat eine Länge von ca. 26,00 m, eine Breite von 2,30 m und eine Höhe von 3,60 m. Sie besteht aus einer Stahlkarosserie und besitzt ein Gewicht von ca. 18-20 Tonnen.



*Bild 3 Schematische Seitenansicht, Stadtbahnwagen Typ M8S
mit Kennzeichnung des Fahrzeugabschnittes für den Brandversuch*

In dem Stadtbahnwagen befinden sich 54 Sitzplätze, 171 Stehplätze und ein Fahrerplatz.

Das Fahrzeug wurde aufgrund der Größe halbiert, die Schnittfläche wurde anschließend mit Blechen wieder verschlossen. Das Fahrwerk einschließlich der Räder wurde demontiert, da es im Wesentlichen aus Metall besteht und da der Brandverlauf im Inneren des Fahrzeugs simuliert werden sollte.

Der Stadtbahnwagen Typ M8S besitzt im Gegensatz zu modernen Schienenfahrzeugen oder Stadtbahnen eine höhere Brandlast und stellt damit den für den Brandfall ungünstigsten Fahrzeugtyp der Essener Verkehrs AG dar.

Vorversuche

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass ein besonderer Sitztyp (Happich 1100) als besonders günstig bewertet werden kann. Dieser Sitztyp wurde in das Versuchsfahrzeug eingebaut, da er zukünftig in den Stadtbahnwagen verwendet wird.

Brandszenarien

Als Brandszenario wurde ein Vollbrand in dem Stadtbahnwagen definiert. Dafür musste ein angemessenes Zündinitial gefunden werden, welches unter realistischen Ventilationsbedingungen einen Vollbrand in dem Fahrzeug verursachen kann. Das Zündinitial sollte realitätsnah, reproduzierbar und risikorelevant sein. Gleichzeitig soll die Möglichkeit eröffnet werden, aus dem Zündinitial Rückschlüsse auf andere Zündinitiale zu ziehen. Auf Grund dieser Zielsetzung wurden zwei mögliche Zündinitiale festgelegt:

- Papierkissen nach DIN 5510-2,
Branddauer 2 min, Energiefreisetzungsrate 10 - 15 kW,
max. Temperatur 660°C,
- 2 IMO-Kissen aus Polyethanschaum mit Baumwollbezug,
Branddauer 10 - 15 min, Energiefreisetzungsrate 95 kW.

Das Papierkissen war ungeeignet, denn es brannte nach kurzer Zeit aus.

Im Rahmen von Vorversuchen wurde festgestellt, dass ausschließlich die 2 IMO-Kissen ein realitätsnahes Zündinitial darstellen. Auch in der Literatur [10] wird dieses Zündinitial empfohlen, da es realistisch und reproduzierbar für spätere Untersuchungen ist.

Versuchsaufbau - Messsystem

Der Brandversuch an dem Stadtbahnwagen wurde auf dem Gelände der MFPA in Leipzig durchgeführt und hatte den im Folgenden beschriebenen Aufbau. Zur Übersicht dient Bild 4.

Der Stadtbahnwagen wurde auf Kraftmessdosen gestellt, um den Massenverlust während des Brandversuchs zu bestimmen.

Über dem Stadtbahnwagen wurde eine Rauchgassammelhaube installiert. Mit Hilfe dieser Haube werden die Rauchgase, die im Brandversuch aus dem Fahrzeug strömen, oberhalb des Stadtbahnwagens erfasst. Neben der Erfassung der Brandprodukte kann durch die Rauchgassammelhaube der Wärmestau in einem Tunnel realitätsnah abgebildet werden.



Bild 4 Übersicht des Versuchszustandes für den Brandversuch an einem Stadtbahnwagen der Essener Verkehrs AG auf dem Gelände der MFPA in Leipzig

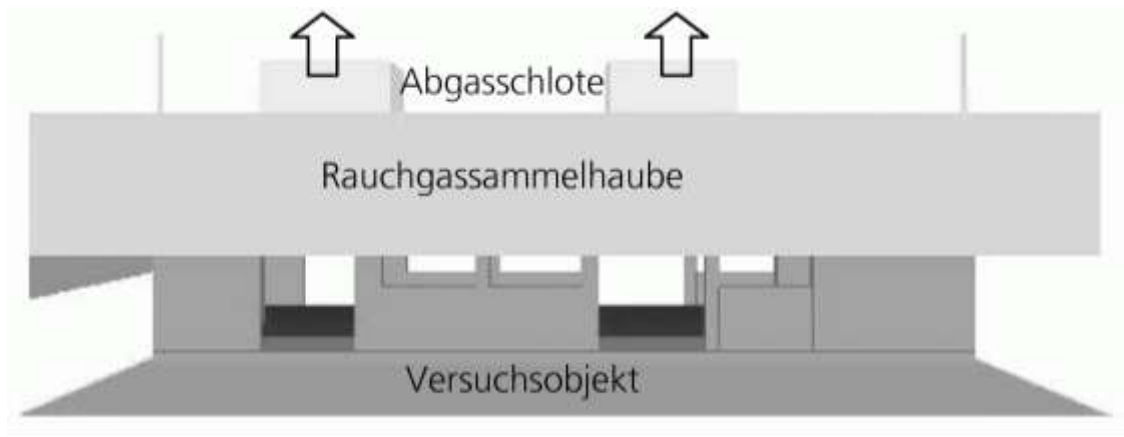


Bild 5 *Prinzipische Skizze des Versuchsaufbaus mit Rauchgassammelhaube und Abgasschlöten*

Die Rauchgassammelhaube besitzt zwei Abgasschlöte, in denen folgende Messgrößen erfasst wurden:

- Gastemperaturen,
- Strömungsgeschwindigkeiten,
- Gaskonzentrationen (O_2 , CO_2 , CO).



Bild 6 *Rauchgassammelhaube im Experiment*

Im Stadtbahnwagen wurden Messaufnehmer in drei Höhenlagen installiert. Hier können die Messgrößen Temperatur, Druckdifferenz und Strömungsgeschwindigkeit gemessen werden (siehe Bild 7).

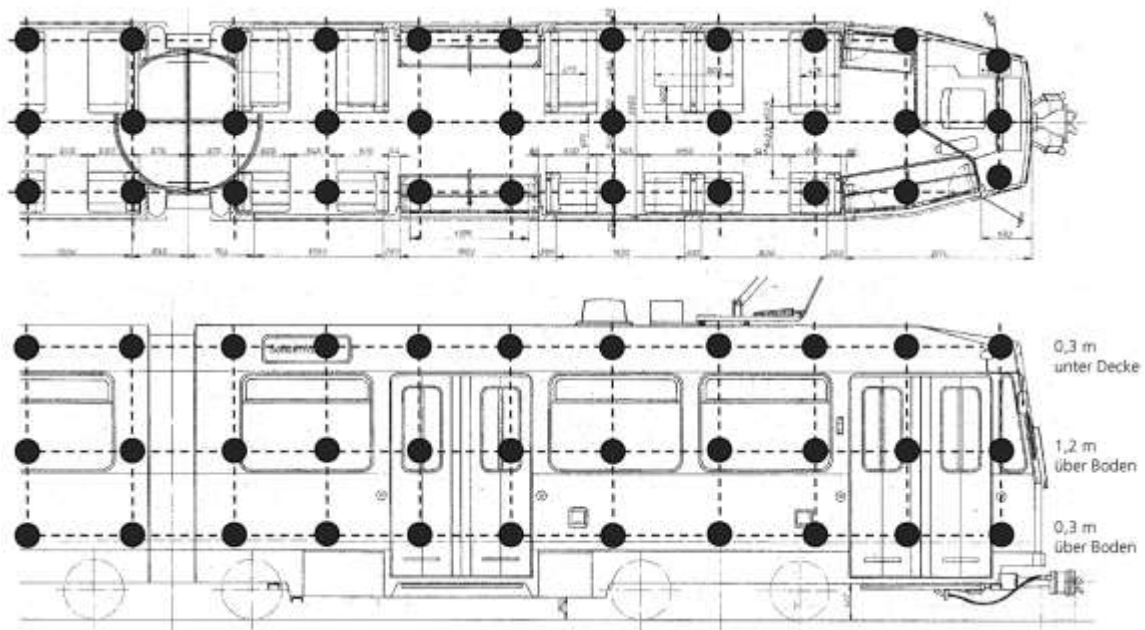


Bild 7 Grundriss und Ansicht des Stadtbahnwagens, Anordnung der Messpunkte im Fahrzeug

In Bild 8 ist die Platzierung des Zündinitials zu sehen, es befindet sich auf einem Sitz im vorderen Bereich des Stadtbahnwagens.

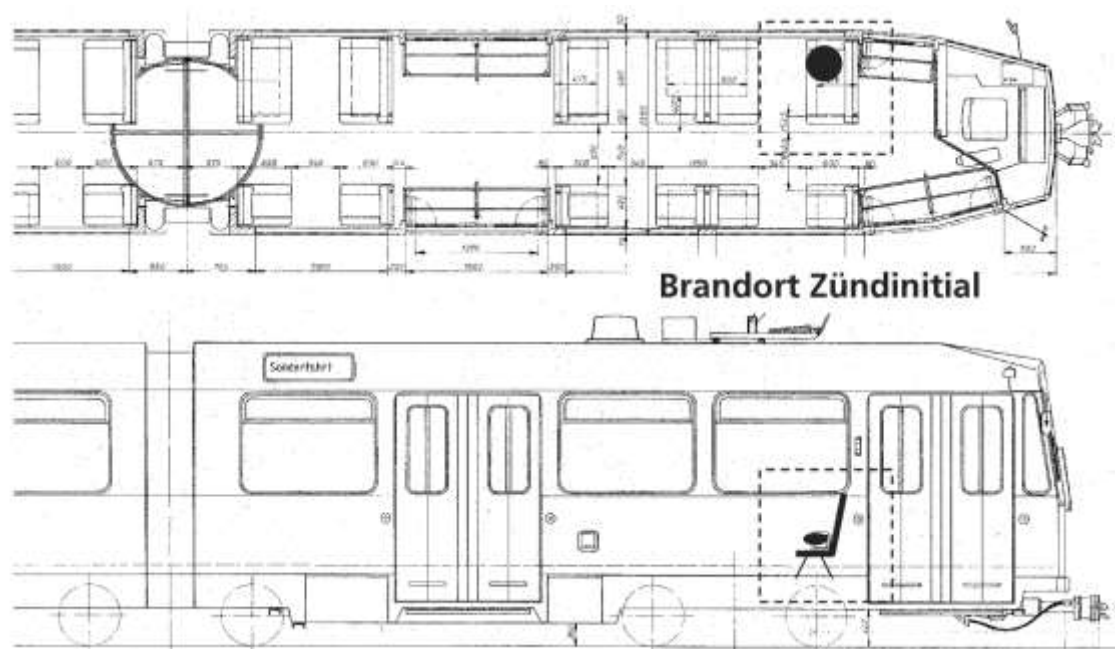


Bild 8 Platzierung der zwei IMO-Kissen als Zündinitial im Stadtbahnwagen während des Brandversuchs

Mit den beschriebenen Einrichtungen können bei diesem Brandversuch die folgenden Messdaten (zum Teil über Umrechnungen) erzielt werden:

- Abbrandrate,
- Gastemperaturen,
- Strömungsgeschwindigkeit,
- Gaskonzentrationen (O_2 , CO_2 , CO),
- Energiefreisetzungsrate.

Auswertungsmethoden

Ziel des Brandversuches war die Bestimmung der Energiefreisetzungsrate. Sie kann aus den Messparametern aus folgenden Daten ermittelt werden:

- Massenverlust,
- Sauerstoffverbrauch,
- Abschätzung über das Flammenvolumen.

Für die Bestimmung der Energiefreisetzungsrate über den Massenverlust wird mit Hilfe der Kraftmessdosen der Verlust an Masse pro Zeiteinheit während des Brandversuches erfasst. Die Bestimmung der Energiefreisetzungsrate über den Massenverlust basiert auf der Multiplikation des Massenstroms mit dem Heizwert des Brandgutes. Der Massenstrom stellt die Ableitung des Massenverlusts über die Zeit da.

$$\dot{Q}_m = \dot{m}_i \cdot h_u \quad (1)$$

$\dot{m}$ Masse des verbrannten Stoffes pro Zeiteinheit in [kg/s]

h_u unterer Heizwert in [kJ/kg]

$\dot{Q}$ Energiefreisetzungsrate in [kW]

Eine weitere Methode zur Bestimmung der Energiefreisetzungsrate ist die Ermittlung über den Sauerstoffverbrauch. Die bei einem Brand freigesetzte Energie pro Massenanteil an verbrauchtem Sauerstoff ist für viele Materialien annähernd konstant (ca. 13 MJ pro kg O_2). Liegt eine unvollständige Verbrennung vor, muss die CO -Konzentration hierbei berücksichtigt werden. Auf Grund dieser Tatsache lässt sich die Energiefreisetzungsrate mit Hilfe der Zu- und Abluftvolumenströme und der Sauerstoff- und Kohlenmonoxydkonzentrationen bestimmen.

$$\dot{Q} = E^{O_2} (\dot{n}_0 c_0^{O_2} - \dot{n}_K c_0^{O_2}) + \frac{c_0^{CO} \dot{n}_K}{2} (E^{O_2} - E^{CO}) \quad (2)$$

E^{O_2} Heizwert des Brennstoff pro kg O_2 – Verbrauch (konst. 13,2 MJ)

E^{CO} Heizwert des Kohlenmonoxids pro kg O_2 – Verbrauch (ca. 23,1 MJ)

$\dot{n}_0$ Zuluftvolumenstrom

$\dot{n}_K$ Abluftvolumenstrom

$c_0^{O_2}$ Sauerstoffkonzentration in der Zuluft

c_0^{CO} Kohlenmonoxidkonzentration in der Abluft

Eine Abschätzung der Energiefreisetzungsrate über das Flammenvolumen wurde nicht vorgenommen.

Ergebnisse

Der Brandversuch wurde mit Fotos und Filmaufnahmen dokumentiert. Die zeitliche Abfolge des Brandversuchs sah folgendermaßen aus. Die Zündung mittels der IMO-Kissen dauert etwa eine halbe Minute. Nach drei Minuten brennt die Sitzlehne. Der Brand breitet sich im Stadtbahnwagen aus, so dass nach 8 Minuten eine Durchzündung im Deckenbereich des Fahrzeuges erfolgt. Der Vollbrand mit seiner maximalen Energiefreisetzungsrate wird nach etwa 22 Minuten erreicht (Bild 9). Nach ca. 41 Minuten ist das Fahrzeug vollständig ausgebrannt.

Die markanten Punkte im Brandverlauf können in den Kurven der Energiefreisetzungsrate und in der Temperaturentwicklung identifiziert werden.

Bild 10 zeigt die gemessenen Temperaturen im Brandversuch zu verschiedenen Zeiten. Dargestellt sind Isothermen.

Im Rahmen der nachträglichen Auswertung wurde der Verlauf der Energiefreisetzungsrate sowohl über den Massenverlust als auch über den Sauerstoffverbrauch ermittelt. Beide Verläufe sind Bild 11 zu entnehmen. Als Vorschlag einer Bemessungskurve der Energiefreisetzungsrate wurde anschließend pragmatisch eine gemittelte Kurve aus beiden Verläufen (Bild 11) verwendet.



Bild 9 Vollbrand der Stadtbahn im Experiment

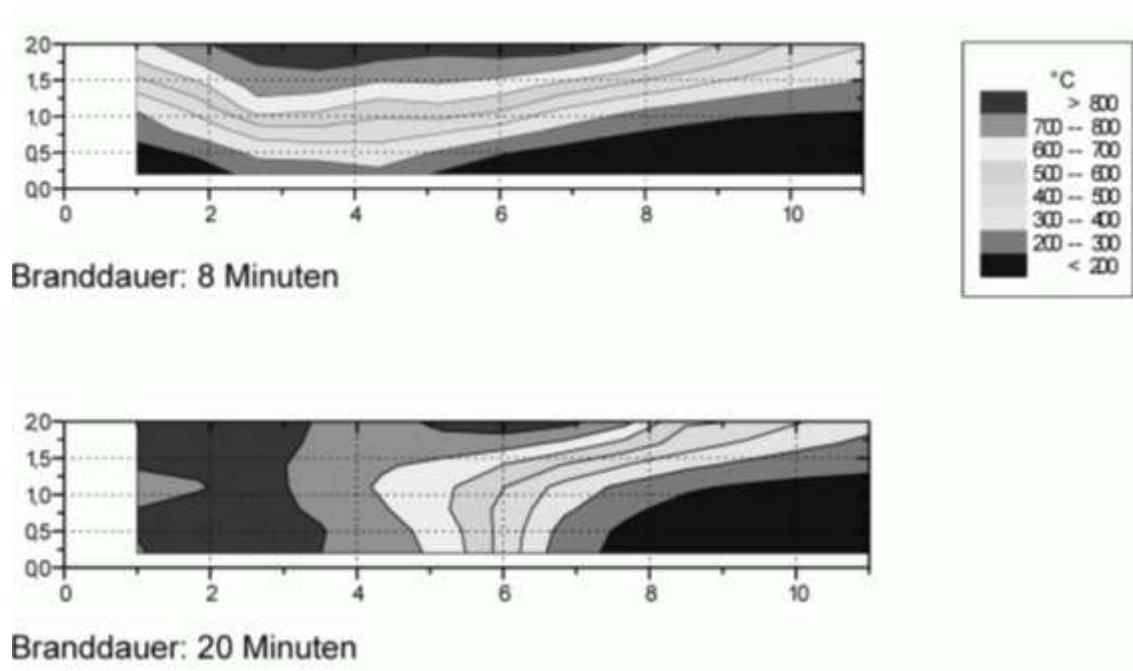


Bild 10 Vertikaler Schnitt durch die Stadtbahn mit gemessenen Temperaturen im Brandversuch innerhalb des Fahrzeuges zu verschiedenen Zeitpunkten

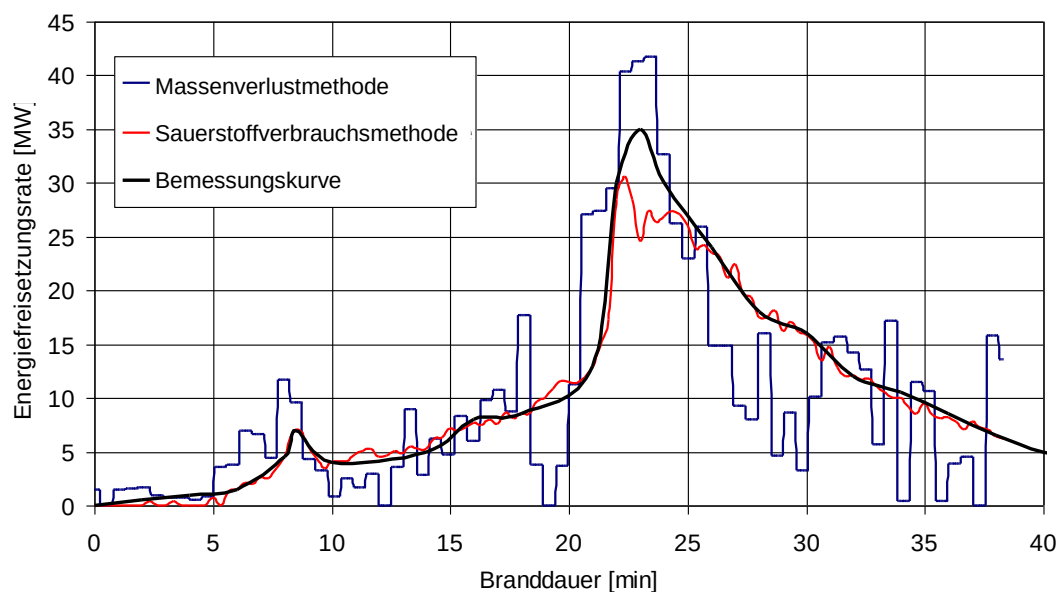


Bild 11 Aus dem Brandversuch ermittelte Energiefreisetzungsrate und vorgeschlagene Bemessungskurve für die Energiefreisetzungsrate der Stadtbahnwagen Typ M8S

Bewertung

Bild 12 enthält eine Gegenüberstellung der Energiefreisetzungsrate für verschiedene Schienenfahrzeuge. Die maximale Energiefreisetzungsrate aller Brandversuche und Bemessungskurven liegt auf einem ähnlichen hohen Niveau, wobei das Maximum der Energiefreisetzungsrate der Essener Stadtbahn mit bis zu 35 MW die Spitze darstellt.

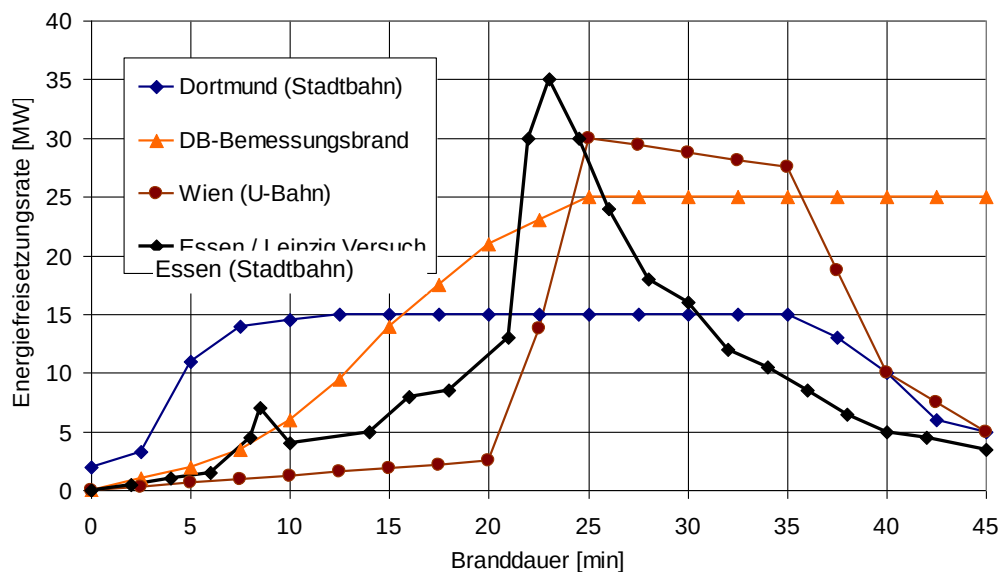


Bild 12 Vergleich verschiedener Energiefreisetzungsrate mit den Versuchsergebnissen

3.1

Der Vergleich der Versuchsergebnisse mit den aus den EUREKA-Versuchen abgeleiteten Energiefreisetzungsraten für Schienenfahrzeuge zeigt, dass die aus dem Brandversuch gewonnene Energiefreisetzungsrate einen flacheren Anstieg besitzt. Die Brandentwicklungsdauer ist deutlich länger als bisher angenommen.

Die folgenden Bilder sollen exemplarisch zeigen, dass die Brandversuche mit Erfolg mit dem Feldmodell FDS [4] rechnerisch simuliert werden konnten.

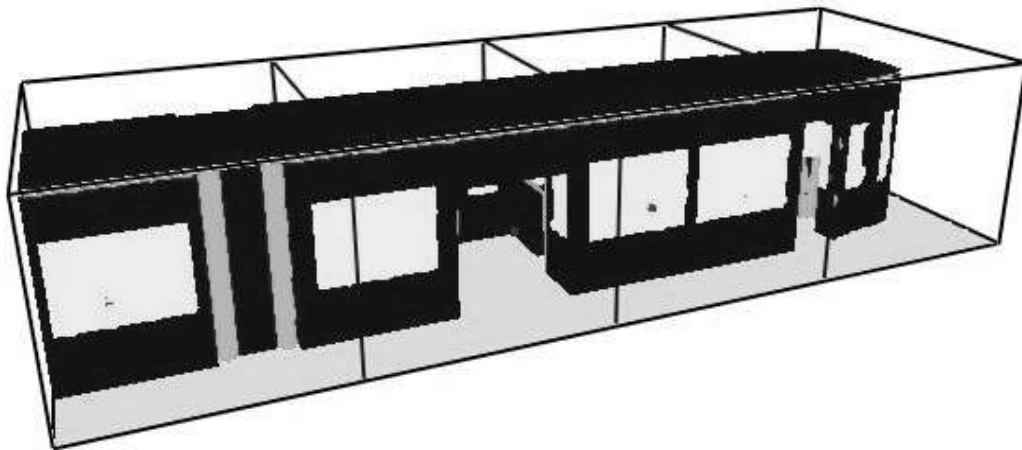


Bild 13 Computermodell des Stadtbahnwagens der Essener Verkehrs AG aus der Feldmodellberechnung mit FDS [4] im Zuge der Brandsimulationsrechnung

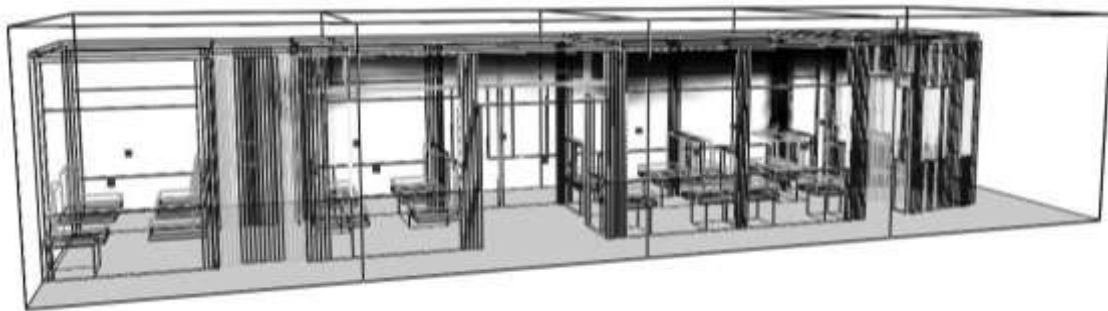


Bild 14 Brandsimulation: Zünden der IMO-Kissen

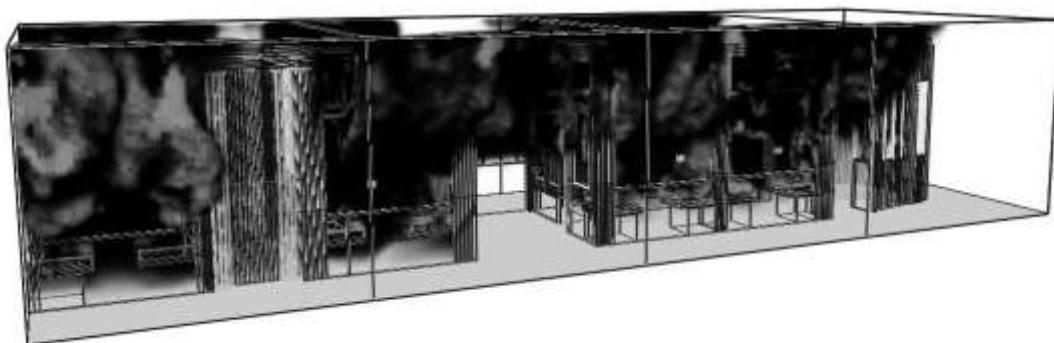


Bild 15 Brandsimulation: Vollbrand

AUSWIRKUNGEN AUF DAS BRANDSCHUTZKONZEPT

Die aus dem Brandversuch gewonnenen Ergebnisse dienen im Nachgang als Eingangsparameter für die erneuten Simulationsberechnungen für die unterirdischen Bahnhöfe „Hauptbahnhof“ und „Berliner Platz“. Insbesondere gingen hierbei die Größe und der Verlauf der neuen Energiefreisetzungsrate als das maßgebende Brandszenario ein.

Die erneuten Berechnungen der Verrauchung der unterirdischen Bahnhöfe „Hauptbahnhof“ und „Berliner Platz“ in Essen, hinsichtlich einer sicheren Evakuierung mit der neuen Bemessungskurve, ergaben auf Grund des flachen Anstiegs der Energiefreisetzungsrate in den ersten 20 Minuten eine langsamere Verrauchungszeit als bei den ersten Simulationsberechnungen.

Die geringere Rauchentwicklung in den ersten Minuten des Brandverlaufs wirkt sich positiv auf die für die Evakuierung zur Verfügung stehende Zeit aus. Der Vollbrand und damit auch das Maximum der Energiefreisetzungsrate tritt erst nach Abschluss der Räumung auf. Damit liegen die Zeiten für die Räumung der U-Bahnhöfe unterhalb der Zeitdauer bis zur Verrauchung der Rettungswege.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen von Brandschutzkonzepten für unterirdische Verkehrsanlagen wurden rechnerische Simulationen durchgeführt. Mit diesen Simulationen wurden auf der Basis von Feldmodellen Verrauchungszeiten berechnet. Weiterhin wurden mit Evakuierungsmodellen Evakuierungszeiten berechnet. Der Vergleich der Zeiten führte zu der Erkenntnis, dass eine gesicherte Evakuierung nicht für alle Szenarien nachgewiesen werden konnte.

Es wurde daher der Frage nachgegangen, ob die Eingangsparameter für die Simulationen für die im Brandschutzkonzept betrachteten Randbedingungen, realistisch sind. Schließlich wurde entschieden, die Eingangsparameter, insbesondere die Energiefreisetzungsrate (in Abhängigkeit von der Zeit) experimentell zu bestimmen. Dazu wurde unter Berücksichtigung von Vorversuchen ein Fahrzeug der Essener Verkehrs AG präpariert. Im Experiment sollte ein Vollbrand einer in einen unterirdischen Bahnhof eingefahrenen Bahn als relevanter Lastfall simuliert werden. Hierfür wurde ein realitätsnahes, reproduzierbares und risikorelevantes Zündinitial festgelegt.

Die mit verschiedenen Methoden ermittelte Zeitfunktion der Energiefreisetzungsrate diene als Eingangsparameter für weiterführende rechnerische Simulationen im Rahmen des Brandschutzkonzeptes. Die experimentellen Daten wurden ausgewertet, um als weiteres Brandszenario einen Brand in der Bahn selbst simulieren zu können und als Ergebnis derartiger Simulationsrechnungen Energiefreisetzungsraten für unterschiedliche Randbedingungen zu ermitteln. Die Ergebnisse eröffnen Möglichkeiten, zukünftig Lastfälle für Brandereignisse in unterirdischen Verkehrsanlagen rechnerisch zu ermitteln.

LITERATUR

- [1] Haak, A.; Blennemann, F.; Schreyer J.; Meyeroltmanns, W.; Grünwald, M.: Notfallszenarien für Tunnelanlagen des schienengebundenen ÖPNV und deren Bewältigung. Schlussbericht im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V., Juli 2004
- [2] EUREKA-Project EU 499: FIRETUN: Fires in Transport Tunnels. Report on Full-Scale Tests. Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., November 1995
- [3] Hosser, D.(Hrsg.): Leitfaden – Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdb TB 04/01, 1. Auflage Mai 2006. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 2006
- [4] McGrattan: Fire Dynamics Simulator (FDS) (Version 4) – Technical Reference Guide – NIST Special Publication 1018 – National Institut of Standards and Technology, Stand: Juli 2004
- [5] ASERI Evakuierungsmodell – Referenzhandbuch, I.S.T. integrierte Sicherheitstechnik GmbH Frankfurt am Main, 1995
- [6] Hagen, E.: Zur Prognose des Gefährdungspotentials von Raumbränden, Dissertation, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 93, 1992
- [7] Upmeyer, J.: Nachweis der Brandsicherheit von kammerbetonierten Verbundbauteilen über Grenzbrandlasten, Institut für Stahlbau, Schriftenreihe, Heft Nr. 19, Universität Hannover, Dissertation, 2001
- [8] ZTV – ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5: Tunnelbau, Januar 2003
- [9] Eisenbahn-Bundesamt, Leitfaden für den Brandschutz in Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen des Bundes, 2001
- [10] Wilk, E.: Initialfeuer an Schienenfahrzeugen, BCL – Brandschutz Consult Leipzig, 2003, unveröffentlicht
- [11] Wilk, E.: Bericht zur Bestimmung des Bemessungsbrandes der Triebfahrzeuge der U-Bahn Frankfurt am Main, BCL – Brandschutz Consult Leipzig, 2002, unveröffentlicht
- [12] Wittbecker, F.-W.; Bansemer, B.: Vergleichende Untersuchung zum Brandverhalten von Fahrgastsitzen im Auftrag der Essener Verkehrs AG, ibw - Institut für Brandtechnologie, Leverkusen, 2006, unveröffentlicht
- [13] Schneider, U.; Oswald, M.; Lebeda, C.: Entrauchungsmaßnahmen als Teil der Brandschutzplanung in unterirdischen Verkehrsanlagen, Bauingenieur, Band 77, Seite 344-352, 2002

BRANDSCHUTZKONZEPT FÜR EIN AUTOMATISCHES PARKSILO IM WANDEL DER ZEIT

Udo Kirchner
Halfkann + Kirchner, Erkelenz

EINLEITUNG

Das Brandschutzkonzept ist eine zielorientierte Gesamtbewertung des baulichen und abwehrenden Brandschutzes bei Sonderbauten [1]. Demgemäß ist der Einfluss von Bauweise und Größe, aber auch der Nutzung eines Gebäudes auf ein Brandschutzkonzept evident. Gegebenenfalls mag auch der Bauort und entsprechende Umwelteinflüsse auf den Inhalt von Brandschutzkonzepten wirken. Schließlich ist der baurechtliche Bezugsrahmen mit ggf. unterschiedlich anzuwendenden Anforderungen als Einflussgröße auf Brandschutzkonzepte erkennbar.

Spielt aber auch der Zeitpunkt des Bauens eine Rolle für den Inhalt von Brandschutzkonzepten? Verändern sich Herangehensweise, Zielvorstellungen und Inhalt von Brandschutzkonzepten ggf. auch bei gleichbleibender Vorschriftenlage? Gibt es einen Wandel der Zeit auch hier?

Diese spannende Frage möchte der nachfolgende Beitrag am Beispiel eines automatischen Parksilos untersuchen, welches im Jahr 1963 in Düsseldorf in Betrieb genommen wurde. Dabei wird die seltene Gelegenheit genutzt, ein bereits damals hervorragend dokumentiertes Brandschutzkonzept [2] auszuwerten und mit einer erforderlichen aktuellen Bewertung gegenüberzustellen.

OBJEKTDESCHEIBUNG PARKSILO

Das vom äußeren Anblick vermeintlich unscheinbare Parksilo besitzt eine Grundfläche von rund 15,50 m x 16 m und dürfte mit seiner Errichtung in den Jahren 1962/63 das erste automatische Parksysteem in der Bundesrepublik Deutschland sein. Die Gebäudehöhe des freistehenden Objektes liegt mit etwa 17 m auf dem Niveau der umgebenden Bebauung. Eine Gebäudetiefe von ca. 27,80 m ermöglicht jedoch, auf zehn unterirdischen Ebenen zuzüglich vier oberirdischer Ebenen insgesamt 166 Stellplätze für Pkw auszuweisen.

Das Gebäude ist in Stahlbeton-Massivbauweise entstanden und wird durch eine mittige Stahlbetonwand auf der gesamten Höhe nahezu symmetrisch unterteilt. Jenseits der brandschutztechnischen Belange ist das seinerzeit durch die Firma Hoch-Tief AG, Essen errichtete Bauwerk auch wegen des angewandten Bauverfahrens hochinteressant: Infolge des hohen Grundwasserspiegels wegen des nahe gelegenen Rheins wurde als so genannte Druckluftgründung ein Senkkasten oberirdisch betoniert und abschnittsweise an den Untergrund abgesenkt [2].

Die für die Pkw-Einstellplätze vorgesehenen Parkebenen sind jeweils als Stahlbetondecken errichtet, die in Gebäudemitte (und somit quer zur beschriebenen Trennwand) eine über das Gesamtgebäude reichende Deckenöffnung als gemeinsamen Luftraum aufweist. In diesem Bereich wird je Gebäudehälfte ein Parksystem verfahren, welches automatisch die Ein- und Auslagerung der Pkw zu den Einstellplätzen vornimmt.

Die Umfassungsbauteile sind im unteren Bereich der oberirdischen Fassade als Waschbeton-Elemente und in dem gegenüber der Außenfassade zurückspringenden Dachraum als Blechverkleidung zu erkennen. Hier sind die Technikräume für die Förderanlage sowie Lüftungstechnik untergebracht.

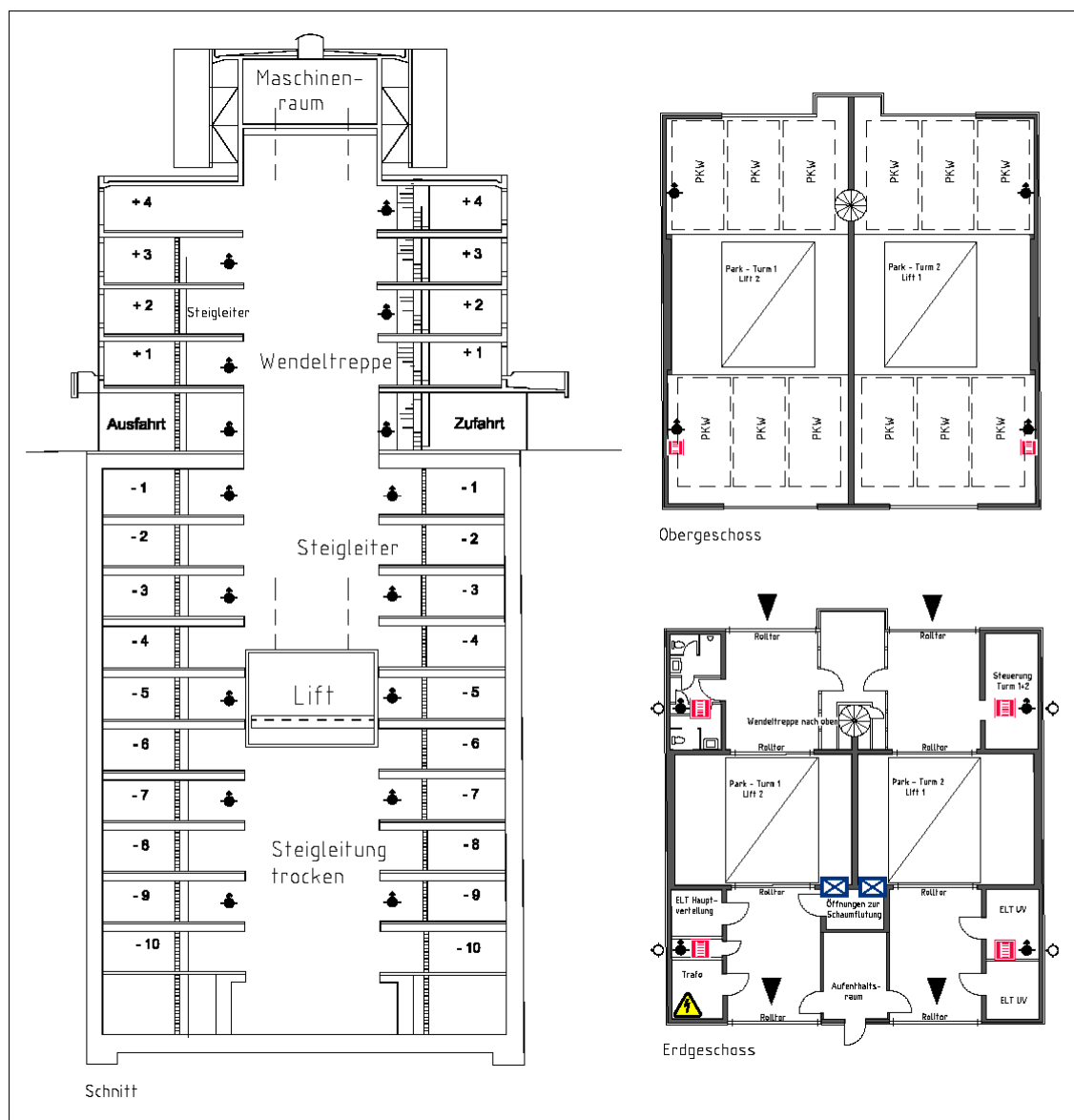


Bild 1 Schnitt und Grundrisse des Parksilo



Bild 2 Außenansicht Parksilo-Einfahrtsbereich

Die Betriebsabläufe werden in Stichpunkten wie folgt beschrieben:

- Im Einfahrbereich wird das Fahrzeug unmittelbar von der öffentlichen Verkehrsfläche auf ein Stahl-Tablar gefahren, das Fahrzeug abgestellt und der Fahrer verlässt den Wagen.
- Automatisch öffnet sich die Toranlage zum dahinter liegenden Förderzeug (Bild 3).
- Das Stahl-Tablar mit dem Auto wird auf das Förderzeug gefahren, eine Austauschpalette in den Einfahrbereich gebracht.
- Die Tore schließen sich, der Einfahrbereich ist zur Aufnahme des nächsten Fahrzeuges vorbereitet.
- Mit dem Förderzeug wird das Fahrzeug im Luftraum der Deckenöffnung vor die Einlagerposition verfahren.
- Das Auto wird auf dem Tablar in die Einlagerungsebene auf den Stahlbetondecken verschoben (Bild 4).
- Die gesamten Steuerungsvorgänge werden in der Betriebszentrale EDV-mäßig überwacht (bei Errichtung wurde noch eine führerbediente Aufzugsanlage verwendet, wobei Anweisungen über Gegensprechanlage zwischen Pforte und Aufzugsführer übermittelt wurden).
- Die Auslagerung erfolgt analog zu einer Übergabebox an der Gebäuderückseite.



Bild 3 Fahrzeugübergabe am Förderzeug



Bild 4 Einstellen der KFZ

Es stehen 14 Einlagerungsebenen, die jeweils bis zu drei Fahrzeuge nebeneinander aufnehmen können, je Gebäudehälfte an der Vorder- und Rückseite zur Verfügung. Insgesamt ergeben sich die genannten 166 Einstellplätze somit rechnerisch aus $3 \times 2 \times 2 \times 14 - 2$ Reserveplätze.

Spezifische Brandschutzeinrichtungen des Gebäudes werden im Zusammenhang mit den nachfolgend beschriebenen Brandschutzkonzepten erläutert.

DAS FRÜHERE BRANDSCHUTZKONZEPT

Das für die Inbetriebnahme in 1963 entwickelte Brandschutzkonzept ist einschließlich der damals beabsichtigten Schutzziele, Risikobewertung und Einzelmaßnahmen in einem Fachbeitrag der vfdb-Zeitschrift [2], von Oberbrandrat Dipl.-Ing. Horst Rother, Abteilung vorbeugender Brandschutz der Berufsfeuerwehr Düsseldorf, dokumentiert. Da die seinerzeit gültige Garagenverordnung für Nordrhein-Westfalen vom 01.10.1962 keine objektspezifisch maßgeblichen Regelungen enthielt, wurde das Brandschutzkonzept individuell, insbesondere unter den Aspekten der Durchführung von Löschmaßnahmen entwickelt und optimiert.

Damalige Risikoeinschätzung

„Die seinerzeitige Risikoabschätzung wurde im Abgleich zu typischen Rampengaragen“ entwickelt. Als wesentlicher Nachteil gegenüber diesen wird das Fehlen horizontaler Brandabschnitte festgestellt. Gleichfalls wird erkannt, dass die Gefahr einer vertikalen Brandübertragung durch die nach oben steigende Wärme und Flammeneinwirkung am größten ist, andererseits aber die betonierten Decken dieser entgegenwirken. Ebenso wird die Zugänglichkeit über einen notwendigen Treppenraum in einer „Rampengarage“ günstiger bewertet, aber auch für ein Parksilo erkannt, dass wegen der fehlenden Aufenthaltsräume in den oberen Ebenen dieser baurechtlich nicht gefordert ist.

Ebenso wird im Themenkreis der Zündgefahren eine eher günstige Bewertung vorgenommen und ausgeführt, dass Kraftwagenbrände sowie Großbrände in Garagen „verhältnismäßig selten sind“ [2]. Für das Parksilo werden sogar darüber hinausgehend günstige Aspekte wie folgt vermerkt:

- Im Parksilo werden Fahrzeuge nur mit abgestelltem Motor übernommen und automatisch verfahren, so dass keine Abgase auftreten.
- Das Gesamtgebäude wird mit Ausnahme der Fahrstuhlführer und des Wartungspersonals nicht von Personen betreten.
- Die Gefahr von Entstehungsbränden ist geringer als in einer normalen Garage, da das Fahrzeug nicht gestartet wird.

Trotz der eingeschränkten Entstehungspotenziale von Bränden werden diese z. B. durch Masseschluss der elektrischen Anlage, durch zurückgelassene glimmende Rauchwarenreste etc. oder auch das Auslaufen von Kraftstoff nicht außer Acht gelassen und demgemäß im Brandschutzkonzept berücksichtigt.

Komponenten des baulichen Brandschutzes

Als wesentliche Maßnahme des baulichen Brandschutzes wird eine feuerbeständige Bauweise der Gesamtkonstruktion vorgesehen. Dies betrifft auch die Geschossdecken unter den Pkw-Einstellplätzen.

Wie bereits erwähnt, wird mittig die Anordnung einer feuerbeständigen Trennwand vorgesehen, die das Gebäude gleichsam in zwei Brandabschnitte separiert.

Innerhalb dieser Trennwand werden Verbindungsöffnungen zwischen den Gebäudehälften angeordnet und mit feuerhemmenden Abschlüssen versehen. Um ein Auslaufen von Benzin aus einem etwa undicht gewordenen Fahrzeugtank über die Vorderkante der einzelnen Geschossdecken in den mittigen Luftraum zu verhindern, werden die Decken mit einem Gefälle in Richtung der Außenwände ausgelegt.

Weiterhin wird die Möglichkeit eines explosionsfähigen Dampf-Luft-Gemisches beschränkt und das Gebäude mit einer betrieblichen Lüftungsanlage versehen, die auf einen 5-fachen Luftwechsel für den gesamten Silobau bemessen ist. Diese saugt die Luft am Siloboden an und bläst sie mittels Schachtbauwerken über Dach. Für den oberirdischen Garagenbereich sind offenbare Flächen zur Querlüftung vorgesehen. Die Fensteröffnungen werden mit elektrischer Betätigung im Ruhestromprinzip angesteuert.

Es wird eine steuerungstechnische Verknüpfung mit der Fahrstuhl-Anlage vorgesehen, so dass diese ausschließlich bei Funktion der Lüftungsanlage entsprechende Einlagerungs-Fahrten vornehmen kann.

Für das Gebäude wird eine Sicherheitsbeleuchtung vorgesehen.

Die elektrischen Betriebsmittel sind in explosionsgeschützter Bauweise vorgesehen.

Komponenten des abwehrenden Brandschutzes

Für das Konzept des abwehrenden Brandschutzes, insbesondere die Zugänglichkeit für Einsatzkräfte der Feuerwehr, wurde zugrunde gelegt, dass infolge der feuerbeständigen Abtrennung zwischen den Gebäudeteilen die Löschmannschaft ggf. für die Brandbekämpfung mit dem Fahrstuhl im nicht betroffenen Siloteil bis zur Decke unterhalb der Brandstelle fahren und dort die beschriebene Verbindungstür erreichen kann.

Für Kontroll- und Erkundungszwecke sind in dieser Mitteltrennwand jeweils Schauöffnungen eingebaut worden.

Zur Anbindung der unterirdischen Ebenen sind insgesamt vier Leiterebenen (Bild 5) angeordnet, wobei die Deckendurchbrüche so ausgelegt sind, dass ein Mann mit schwerem Atemschutzgerät in den Schacht einsteigen kann. Die Leitern werden senkrecht alle zwei Ebenen um Schachtbreite versetzt, so dass Unfällen durch Herabstürzen vorgebeugt werden kann.

Die oberirdischen Ebenen werden durch eine Wendeltreppenanlage angebunden, die in einem feuerbeständig gegenüber dem Parkbereich abgeschlosse-

nen Treppenraum liegt und somit einen vom Fahrstuhl unabhängigen Angriffsweg ermöglicht.

Zum Zwecke der Brandbekämpfung sind ferner vier trockene Steigleitungen angeordnet, die auf jedem 2. Geschoss eine Entnahmevorrichtung mit C-Festkupplung besitzen. Eine Einspeisung wird jeweils im Erdgeschoss vorgesehen (vgl. Bild 1).



Bild 5 Steigleiter zur KFZ-Einstellebene

DAS AKTUELLE BRANDSCHUTZKONZEPT

In den 1990er Jahren wurden die personenbedienten Fahrstühle gegen automatisch, führerlos verfahrbare Regalbediengeräte ausgetauscht. Ein Genehmigungsverfahren ist in diesem Zusammenhang jedoch nicht dokumentiert. Im Zuge einer wiederkehrenden Prüfung im Sommer 2005 wurde festgestellt, dass im Bereich des Treppenaufgangs zu den oberirdischen Ebenen die Stahlbetonwandung entfernt und gegen eine Blecheinhausung ausgetauscht wurde (um den für das neue Tablarsystem größeren Stellplatzbreiten Rechnung zu tragen). Folgerichtig wurde die Wiederherstellung in den genehmigten Zustand beauftragt und ergänzend die Prüfung der anlagentechnischen Maßnahmen (Lüftungsanlage, Sicherheitsbeleuchtung, Aufzugsanlage und Feuerlöscher) nach Technischer Prüfverordnung verlangt. Alternativ wurde im bauaufsichtlichen Verfahren die Vorlage eines aktualisierten fortgeschriebenen Brandschutzkonzeptes nach § 9 BauPrüfVO NRW [1] vorgegeben.

Baurechtliche Einordnung; Vorschriftenabgleich

Für das aktualisierte Brandschutzkonzept wird die Garagenverordnung in der Fassung vom 02.11.1990 zugrunde gelegt [3] und die weitere Einordnung wie folgt vorgenommen. Ausgehend von 166 Stellplätzen mit ca. 15 m² zuzüglich etwa 80 m² Parkgasse und Förderanlage ergibt sich eine Nutzfläche von insgesamt 2.500 m². Hieraus entsteht eine Zuordnung als geschlossene Großgarage. Die Garagenverordnung NRW 1990 enthält - abweichend von der Muster-Garagenverordnung [4] - Regelungen für „automatische Garagen“ lediglich insoweit, als unter § 22 für „Garagen ohne Fahrverkehr“ [3] festgelegt wird, dass die Anforderungen nach § 6, § 9 (1-3), § 12 (3), § 13 (2 + 3), § 14 (2) sowie § 15 nicht gelten. Für die Risikobewertung des Brandschutzkonzeptes wurde daher ein vollständiger Abgleich der verbleibenden Regelungen zwischen den Vorgaben der nordrhein-westfälischen Garagenverordnung und den Verhältnissen des Beurteilungsobjektes vorgenommen und tabellarisch aufgelistet. Ein Auszug für die wichtigsten Themen und Paragraphen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1 Abgleich GarVO NRW mit Objektsituation

Nr.	Thema	Objekt-Abgleich
§ 1	Geltungsbereich im Sinne § 2 (7) BauO NRW	§ 2 (8) „umschlossene Räume zum Abstellen von Kraftfahrzeugen“, somit zutreffend
§ 2	Begriff	...
§ 3	Zu- und Abfahrten	...
§ 4	Rampen	...
§ 5	Kraftbetätigte Tore	...
§ 6	Einstellplätze und Verkehrsflächen	entfällt gemäß § 22
§ 7	Arbeitsgruben	...
§ 8	Bauliche Anforderung, Frauenparkplätze	...
§ 9 (4)	Allgemeine Anforderungen, Frauenparkplätze lichte Höhe von mind. 2 m für allgemein begehbbare Bereiche	entfällt gemäß § 22 für Absatz 1-3 Im Objekt ausschließlich die Räume auf Geländenniveau als allgemein begehbar

Nr.	Thema	Objekt-Abgleich
§ 10	Wände, Pfeiler, Stützen und Decken	
(1)	Anforderungen jeweils für geschlossene (offene) Garagen tragende und aussteifende Bauteile, Treppenraumwände, Decken: F 30-A(A), in unterirdischen Garagen: F 90-AB(A), nichttragende Außenwände: F 30-AB oder A (F 30-AB oder A), Trennwände: F 90-AB (F 90-AB)	Sämtliche Bauteile sind in Stahlbeton-Massivbauweise entstanden, für welche eine Feuerwiderstandsklasse F 90-AB vorausgesetzt werden kann. Somit sind die Forderungen eingehalten bzw. weisen Sicherheitsreserven auf.
(2 - 6)	...	...
§ 11	Rauchabschnitte	
(1)	Die geschlossenen Großgaragen Wände F 30-A mit maximaler Nutzfläche: - 5.000 m ² in oberirdisch geschlossenen - 2.500 m ² in sonstigen geschlossenen - doppelt so groß bei selbsttätiger Feuerlöschanlage Rauchabschnitte auch über mehrere Geschosse zulässig	Rauchabschnitt überschlägig 2 x 1.250 m ² ; insgesamt ca. 8.500 m ³
(2)	In Wänden zwischen Rauchabschnitten Abschlüsse dicht- und selbstschließend, nicht für Schlupftüren	In der Trennwand zwischen den Gebäudehälften Stahlabschlüsse ohne Feuerwiderstandsdauer vorhanden, somit ausreichend.
§ 12	Verbindung zu Garagen und Zwischen-Garagengeschossen	...
§ 13	Rettungswege	
(1)	In jedem Geschoss mind. zwei voneinander unabhängige Rettungswege; 2. RW auch über Rampe; ohne eigene Treppenräume bei Einstellplätzen nicht mehr als 3 m über Gelände	Im Beurteilungsgebäude liegen keine Geschosse im Sinne der Vorschrift vor.
(2 + 3)	...	entfällt gemäß § 22

Nr.	Thema	Objekt-Abgleich
§ 14	Beleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung	
(1)	Elektrische Beleuchtung mit mind. 20 Lux während der Betriebszeit; im übrigen ständig 1 Lux, gemessen 0,85 m über Fußboden in der Mitte der Fahrgassen	Fahrgassen liegen im Objekt nicht vor; für Ein- und Ausfahrbereich im Objekt gewährleistet.
(2)	Sicherheitsbeleuchtung unabhängig vom Netzstrom innerhalb von 15 Sekunden einzuschalten, auf mind. einstündigen Betrieb ausgelegt mit mind. 1 Lux; Ausnahme: eingeschossige Großgarage mit festem Benutzerkreis	Nach § 22 GarVO greift dies nicht für Garagen ohne Fahrverkehr
§ 15	Lüftung	Nach § 22 GarVO gilt nicht für Garagen ohne Fahrverkehr.
§ 16	Brandmeldeanlage	
(1)	Großgaragen müssen Brandmeldeanlagen haben; offene Großgaragen einen unmittelbar erreichbaren Fernsprechhauptanschluss	In Umsetzung dieser Vorschrift ist eine Brandmeldeanlage erforderlich, wobei nicht ausdrücklich eine automatische Brandmeldeanlage vorgegeben ist.
(2)	Geschlossene Mittelgaragen müssen eine Brandmeldeanlage haben in Gebäuden, für welche Erfordernis besteht	Greift nicht im Beurteilungsobjekt.
(3)	Auslösung selbsttätiger Feuerlöschanlage über Brandmeldeanlage anzuzeigen	Löschanlage nach § 17 im Objekt nicht erforderlich.
§ 17	Feuerlöschanlagen	
(1)	Unterirdische Mittel- und Großgaragen in allen Geschossen Wandhydrant an nasser Steigleitung in der Nähe Treppenraum	Im Objekt gemäß Bauauflage trockene Steigleitung mit Einspeisung und Entnahmestellen in den Ebenen versetzt vorhanden

Nr.	Thema	Objekt-Abgleich
(2)	Unterirdische Großgaragen müssen Sprinkleranlagen haben, wenn die Gebäude nicht allein der Garagennutzung dienen; Ausnahme wenn Garage zu Geschossen mit anderer Nutzung keine Verbindung	Da das Gebäude allein der Garagennutzung dient, keine Anforderung an Sprinkleranlage.
§ 18	Betriebsvorschriften für Garagen	...
§ 19	Abstellen von Kraftfahrzeugen in anderen Räumen als Garagen	...
§ 20 - § 25	...	...

Der systematische Vorschriften-Abgleich zeigt insbesondere, dass auch nach der heute in Nordrhein-Westfalen geltenden Garagenverordnung der Einbau einer automatischen Löschanlage nicht erforderlich ist. Es ergibt sich also ein deutlicher Unterschied zur Muster-Garagenverordnung [4], welche im dortigen § 16 Sprinkleranlagen für automatische Garagen mit mehr als 20 Garageneinstellplätzen vorgibt. Allerdings müssen Wände und Decken gemäß § 6 (4) MGarVO [4] lediglich aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, sofern das Gebäude allein als automatische Garage genutzt wird.

Risikobewertung und Lösungsansatz

Der vorstehende formale Vorschriftenabgleich zeigt, dass eine brandschutztechnisch befriedigende Lösung nur eingeschränkt abgeleitet werden kann. Wie in der Praxis häufiger, wird auch für das Beurteilungsobjekt eine konkrete Risikobewertung erforderlich, zumal es auch in baurechtlicher Einordnung wohl einen atypischen Sonderfall darstellt, welcher nicht vollständig von dem zitierten Vorschriftenwerk erfasst ist.

Diese Auffassung wurde auch in intensiven Behördengesprächen deutlich, wobei zugleich von den Vertretern der Feuerwehr eine vom oben zitierten früheren Konzept abweichende Einsatztaktik formuliert wurde. Hiernach erschien zweifelhaft, ob Einsatzkräfte tatsächlich auch in den unteren Ebenen den Angriff vornehmen, zumal als besondere Einsatzbedingung auch etwaige Stolpergefahren durch die neu hinzugekommenen Schienen- und Tablar-Einbauten auf den Stahlbetondecken vorliegen und ggf. seinerzeit die mögliche Beeinträchtigung durch Rauchausbreitung nicht vollständig erkannt bzw. berücksichtigt wurde. Weiterhin muss festgehalten werden, dass die Deckenöffnungen im Bereich der Leiterabstiege bzw. zwischen den Ebenen einen vergleichsweise geringen Querschnitt aufweisen und somit nur eingeschränkt von Feuerwehrkräften mit Pressluftatmern und sonstiger moderner Einsatzausrüstung genutzt

werden können. Insofern wurde auch die formale Anpassung an den früheren genehmigten Zustand nicht als belastbare Lösung angesehen.

Es wird aber ebenso gegenüber dem seinerzeitigen Beurteilungsstand eine erhebliche Verbesserung erkannt durch den Umstand, dass die Regalförderzeuge nunmehr nicht mannbedient, sondern automatisch durch Computersteuerung den gewünschten Stellplatz anfahren. Hieraus resultiert eine erhebliche Reduzierung des Personenrisikos, weil auch für den Einsatzfall der Feuerwehr nicht mehr berücksichtigt werden muss, dass ggf. betriebsmäßig im Gebäude sich aufhaltende Personen zu retten sind. Schließlich beschränkt sich heute ein möglicher Personenaufenthalt auf die seltene und dann kurzfristige Zeit von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten.

Ferner ist gegenüber den zwischenzeitlich an verschiedenen Standorten neu errichteten automatischen Parksyste men für das vorliegende Gebäude als erheblicher Vorteil die Ausbildung der horizontal trennenden Stahlbeton-Ebenen festzuhalten.

Die Gefahr einer vertikalen Brandausbreitung ist nicht mit der Brisanz und Geschwindigkeit in einem Hochregallager zu vergleichen, vielmehr wird bei einem evtl. Brandereignis ähnlich einer konventionellen Parkgarage zunächst eine Brandausbreitung auf das benachbarte Fahrzeug und dann erst die vertikale Ausbreitung eintreten. Die aus vielen Brandversuchen und aus Erfahrung von realen Parkhausbränden bekannte Brandentwicklungsdauer liegt dabei in der Größenordnung von 10 - 15 Minuten, so dass wirksame Löschmaßnahmen insbesondere bei einem frühzeitigen Erkennen eines Brandereignisses und Einsetzen der Brandbekämpfung möglich sind. Auf dieser Erkenntnis und Bewertung baut der nachfolgende Lösungsvorschlag auf.

Dementsprechend wird im Gesamtgebäude eine automatische Brandmeldeanlage nachgerüstet und mittels Übertragungseinrichtung auf die Leitstelle der Feuerwehr aufgeschaltet.

Auf diese Weise ist ein Brandereignis wesentlich frühzeitiger zu erkennen und die Vorbereitung eines Löschangriffs dementsprechend beschleunigt.

Zusätzlich wird eine steuerungstechnische Verknüpfung der Brandmeldeanlage mit der Steuerung des Regalbediengerätes vorgesehen und entsprechend einer intensiven Erörterung unter Berücksichtigung der Einsatzpraxis der Feuerwehr in folgender Matrix ausgelegt:

- Mit der ersten Anfahrt fährt das Regalförderzeug ein mit Kfz. belegtes Tablar aus der branddetektierten Ebene und verbringt dieses in die Ausfahrposition/Auslagerbox. Das Innentor dort wird als Absturzsicherung geschlossen, das Außentor fährt auf und erleichtert so die Zugänglichkeit für die Brandbekämpfung.

- Mit der zweiten Anfahrt verbringt das Regalförderzeug ein weiteres belegtes Tablar aus der branddetektierten Ebene in die Ebene -10 und setzt es dort an einen ansonsten ständig frei zu haltenden Einstellplatz ab.
- Mit der dritten Anfahrt schließlich wird das Tablar auf der letzten ggf. belegten Seite der brandgemeldeten Ebene angefahren und auf die Ebenen -10 abgesenkt; dort bleibt es in der Mittellasse stehen.
- Gleichzeitig wird bei Branddetektion die Lüftungsanlage auf volle Leistung geschaltet.

Bei dieser Steuerung kann berücksichtigt werden, dass die eingebaute Regaltechnik im Betriebszustand ohne Lichtschranken-Systeme arbeitet und somit nicht die Sorge besteht, dass durch Verrauchung Fehlfunktionen eintreten.

In der Realisierungsplanung dieses Lösungsvorschlages wurde deutlich, dass es infolge der glatten Unterseite der Stahlbetondecke und der vergleichsweise geringen Höhe nicht möglich sein wird, mit sinnvollem und vertretbarem technischen Aufwand gezielt den Stellplatz des Brandereignisses zu erkennen. Vielmehr kann durch die Anordnung eines Melders je Bühnenebene zuverlässig der Bereich bzw. die betroffene Ebene selektiert und gemeldet werden.

Im Sinne einer Optimierung wurde daher die Programmierung des Rechners für die Stellplatzvergabe so modifiziert, dass zunächst die Außenpositionen der einzelnen Einstellebenen belegt werden, d. h. die mittlere der drei Einstellplätze zunächst frei bleibt und nur belegt wird, wenn sonst keine weiteren Plätze im Objekt zur Verfügung stehen. Dadurch wird zum einen erreicht, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit jeweils ein großer horizontaler Abstand zwischen den eingestellten Fahrzeugen vorliegt und somit die Gefahr einer Brandausbreitung bzw. eines Feuerübersprungs reduziert ist. Für ein evtl. Brandereignis wird (ausgelöst durch die automatische Brandmeldetechnik) stets zunächst die Position in der Mitte der jeweiligen Einstellebene angefahren, sofern diese nach der im Rechner hinterlegten Information belegt ist. Wenn diese nicht belegt ist, wird sofort die in der Ebene linke Position angefahren (sofern diese belegt) und zuletzt die (belegte) rechte Position. Bei dieser Steuermatrix wird insgesamt die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass bereits mit der ersten Fahrt des Förderzeuges das potenzielle Brandobjekt in den Ausfahrbereich überführt wird.

Von der Steuerzentrale ist darüber hinaus ein übergeordneter Eingriff unter Nutzung der am Förderzeug angebrachten Videoanlage möglich.

Über spezifische Maßnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Regalförderzeugs einschließlich der Steuerung kann aus patentrechtlichen Gründen in diesem Beitrag nicht näher eingegangen werden.

Sofern trotz obiger Steuerung das vom Brand betroffene Fahrzeug nicht in der Ausgabebox und damit in guter Zugänglichkeit für Einsatzkräfte der Feuerwehr abgestellt wurde, sondern sich auf der Ebene -10 in der Einstellfläche oder gar der Fahrgasse befindet, erfolgt eine Brandbekämpfung durch Schaummittelein-

speisung von einer Luke in der Ausgabebox. Die Feuerwehr Düsseldorf hat in verschiedenen Löschanversuchen festgestellt, dass die im Objekt hierfür erforderliche Schaumhöhe von ca. 6 m in einer ausreichend kurzen Einsatzdauer und mit der notwendigen Beständigkeit eingebracht werden kann. Dies wäre für die Gesamthöhe der unterirdischen Parkgarage von 27 m im Übrigen nicht möglich.

Mit diesem Lösungsansatz entfällt somit die Notwendigkeit, dass Einsatzkräfte der Feuerwehr zur Brandbekämpfung in den Siloraum einsteigen müssen, so dass die in der früheren Baugenehmigung inkludierte Gefährdung der Einsatzkräfte nahezu ausgeschlossen wird. Ein Begehen für Inspektionszwecke nach erfolgter Brandbekämpfung kann über den nicht vom Brand betroffenen Abschnitt und entsprechende Verbindungstüren erfolgen, wobei nach Einsatzerfahrung der Feuerwehr ein leichtes Filtergerät ausreichend ist, so dass keine Veränderung an den vorhandenen Leiterabstiegen bzw. Deckenöffnungen erfolgen muss.

Kurzdokumentation des Brandschutzkonzeptes

Das letztendlich aktualisierte Brandschutzkonzept wird in der Gliederung des Themenkatalogs zu § 9 BauPrüfVO NRW für die objektspezifischen Verhältnisse wie folgt dargestellt:

- a) Das Objekt ist bereits im Bestand unmittelbar von der öffentlichen Straßenfläche erreichbar, so dass keine zusätzlichen Maßnahmen für Aufstell- oder Bewegungsflächen der Feuerwehr erforderlich werden. Da keine Aufenthaltsräume in erhöhter Position vorliegen, ist der Einsatz einer Kraftfahrdrehleiter zum Zwecke der Personenrettung nicht planmäßig zu berücksichtigen.

Für die Verbesserung der Zugänglichkeit ist in Verbindung mit der neu vorgesehenen automatischen Brandmeldeanlage ein Feuerwehrschrüsseldepot vorgesehen, das den Zugang zum Gebäude und hier insbesondere zum Tor am Ausfahrbereich und der Steuerzentrale ermöglicht.

- b) Die Löschwasserversorgung ist infolge der innerstädtischen Lage Düsseldorf im Gebäudebestand ausreichend.
- c) Maßnahmen zur Löschwasserrückhaltung werden auch angesichts der Kraftstoffbehälter in den eingestellten Fahrzeugen nicht erforderlich, da sich daraus nicht der Anwendungsbereich der Löschwasserrückhalte-Richtlinie ergibt.
- d) Das Gebäude besitzt einen ausreichenden Abstand zur bestehenden übrigen Bebauung, die Umfassungsbauteile sind aus weitgehend nichtbrennbaren Baustoffen erstellt, so dass keine Bedenken bestehen.

Für die innere Unterteilung wird im Rahmen dieses Brandschutzkonzeptes die mittige Trennwand nicht als wesentlicher bzw. notwendiger Bestandteil berücksichtigt. Insoweit besteht nicht die Erfordernis, die vorhandenen Öffnungen zu verschließen oder die Abschlüsse auszutauschen.

Mit der ausgeführten Stahlbetonbauweise für die tragenden und aussteifenden Bauteile ist eine ausreichende Feuerwiderstandsdauer gewährleistet.

Die elektrischen Betriebsräume und auch der Raum Steuerung werden gegenüber dem Restgebäude durch Trennwände in der Feuerwiderstandsklasse F 90 und Abschlüsse T 30 separiert; eventuelle Mängel im Gebäudebestand werden beseitigt.

- e) Der Nachweis der Sicherstellung der Flucht- und Rettungswege wird im baurechtlichen Bezugsrahmen lediglich für die Aufenthaltsräume erforderlich, welche sich unmittelbar auf Geländeneiveau befinden. Diese weisen in ausreichend kurzer Entfernung unmittelbar bzw. über die Fahrzeugübergabeböden ins Freie führende Fluchtwege auf.

In den übrigen oberirdischen und unterirdischen Ebenen des Gebäudes sind die vorhandenen Verhältnisse für die Zugänglichkeit ausreichend. Es werden keine weiteren Maßnahmen zur Ausbildung oder Ertüchtigung von Treppenhäusern erforderlich. Ebenso ist ein zweiter Rettungsweg nicht nachzuweisen, da es sich nicht um Geschosse mit Aufenthaltsräumen handelt.

Die vorhandenen Durchstiegsöffnungen und Steigleitern sind in der vorhandenen Form ausreichend, da diese nach Maßgabe des Brandschutzkonzeptes nicht für Einsatzkräfte der Feuerwehr zum Zwecke der Brandbekämpfung genutzt werden müssen.

Die Ausgänge im Gebäude sowie die Zugänge zu den Treppenabstiegen und Steigleitern werden durch fluoreszierende Schilder gekennzeichnet. Eine Sicherheitsbeleuchtung oder hinterleuchtete Schilder werden nicht vorgesehen.

- f) Als Kriterium für die Nutzung wird im Zusammenhang mit der nachfolgend noch näher beschriebenen Steuermatrix vorgesehen, bevorzugt die Einstellplätze in den äußeren Positionen zu vergeben, d. h. den Stellplatz in der Mitte der jeweils drei Positionen erst bei vollständiger Auslastung anzufahren.
- g) Die haustechnischen Anlagen werden auf Basis der einschlägigen Vorschriften, insbesondere VDE, gewartet und instand gehalten.

Sofern Leitungen und Leitungsanlagen die Trennwände oder Decken durchdringen, werden zugelassene Schottungsmaßnahmen für 90 Minuten Feuerwiderstand ausgeführt.

Zur möglichst langen Aufrechterhaltung der Funktion der beiden Förderzeuge wird deren Stromversorgung getrennt abgesichert.

Die Störungsabschaltung für elektrische Anlagen wird in Abstimmung der Berufsfeuerwehr Düsseldorf gekennzeichnet.

- h) Die Lüftungsanlage wird im Gebäude in der vorhandenen Form fortbetrieben. Bei eventuellem Brandalarm wird die Lüftung bei voller Abluftleistung angesteuert.
- i) Als Maßnahme für den Rauch- und Wärmeabzug stehen Öffnungen in der Fassade sowie in der Dachfläche (Aufzugsmaschinenraum) zur Verfügung. Weitergehende Maßnahmen sind nicht vorgesehen und im Rahmen dieses Brandschutzkonzeptes nicht erforderlich.
- j) Besondere Vorkehrungen für eine elektroakustische Alarmierung werden im Gebäude nicht erforderlich, zumal betriebsmäßig keine Personenbelegung vorliegt.
- k) In den Ausgabeboxen wird jeweils in der derzeitigen Einstellnische ein Wanddurchbruch mit Türabschluss geschaffen, welcher als Einbringöffnung für Schaum für Einsatzkräfte der Feuerwehr genutzt werden kann. Die Öffnung wird mit einem abschließbaren Griff verschlossen, der Schlüssel wird im Feuerweherschlüsseldepot hinterlegt. Die Wandöffnung wird mit dem Hinweisschild DIN 4088 „Beschäumungsöffnung Feuerwehr“ gekennzeichnet. Die Öffnung dient zugleich als Inspektions-/Sichtöffnung in die Fahrgasse des Förderzeugs.

Der Einbau einer automatischen Löschanlage sowie weitere Selbsthilfeeinrichtungen werden nicht erforderlich.

- l) Als Maßnahme zur Verbesserung der Brandbekämpfung werden in den Übergabeboxen tragbare Feuerlöscher zusätzlich angeordnet und in ständig betriebsbereitem Zustand gehalten. Ein weiterer Feuerlöscher wird für das Betriebspersonal im Aufsichtsraum vorgesehen.
- m) Besondere Vorkehrungen zur Ersatzstromversorgung sowie zur Verbesserung der Betriebsbereitschaft der Regalförderzeuge einschließlich Steuerung werden mit den ausführenden Unternehmen unmittelbar abgestimmt.
- n) Die Vorlage von Hydrantenplänen ist entbehrlich, da die öffentliche Wasserversorgung unmittelbar herangezogen werden kann.
- o) Für das Objekt wird die Nachrüstung einer automatischen Brandmeldeanlage nach den Vorgaben der DIN 14 675, VDE 0833 und den Anschlussbedingungen der Stadt Düsseldorf erforderlich und vorgesehen. Dabei wird je ein Branderkennungselement je Box mit maximal 3 Fahrzeugen vorgesehen.

Mit Auslösen der Brandmeldeanlage werden folgende Steuerfunktionen aktiviert:

- Übertragungseinrichtung zur Leitstelle der Feuerwehr;
- Einschaltung der betrieblichen Lüftung auf volle Leistung im gesamten Parksilo;

- Förderzeug zur Auslagerung der Kraftfahrzeuge gemäß separater Steuermatrix.

Für den betrieblichen Einlagerungsvorgang wird beachtet, dass die Mittelposition stets erst dann genutzt wird, wenn die Außenpositionen bereits belegt sind.

Es wird gewährleistet, dass die beschriebene Steuerung nicht durch automatische Sensoren, Lichtschranken etc. beeinträchtigt ist.

- p) Für das Gebäude wird ein Feuerwehrplan erstellt, der in ständig aktualisiertem Zustand über die Brandschutzmaßnahmen und die spezifischen Verhältnisse informiert.

Im Feuerwehrplan wird ebenso vermerkt, wie die Beleuchtung der Parksilanlage insbesondere im Bereich der Fahrgassen-Schächte im Brandfall bei Nachteinsätzen eingeschaltet werden kann.

- q) Als Maßnahme des betrieblichen Brandschutzes wird eine Brandschutzordnung nach DIN 14 096 Teil 1 und 2 ausgearbeitet, mit welcher insbesondere die Einweisung des Betriebspersonals in die besonderen Brandschutzvorkehrungen vorgenommen werden kann.

Durch die Betriebsvorschrift wird ebenso sichergestellt, dass sich ohne Kenntnis des Betriebspersonals keine Personen allein innerhalb der Garage aufhalten können.

Die beschriebene Steuermatrix wird in einer Gewerke übergreifenden Prüfung durch einen Sachverständigen nach TPrüfVO auf Betriebssicherheit und Wirksamkeit überprüft und gegenüber der Bauaufsichtsbehörde bescheinigt.

- r) Wie in der vorstehenden baurechtlichen Bewertung gezeigt, bestehen im formalen Abgleich zur aktuellen Garagenverordnung keine Abweichungen; vielmehr berücksichtigt das vorstehend beschriebene Brandschutzkonzept insgesamt die besondere, atypische Situation des Objektes.

- s) Das Brandschutzkonzept basiert auf einer qualitativen Risikobewertung und macht keinen Gebrauch von Rechenverfahren des Brandschutzingenieurwesens.

ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

Am Beispiel des wohl ersten automatischen Parksilos der Bundesrepublik Deutschland wurde aufgezeigt, welche Schutzziele und Überlegungen im Jahr 1963 zum Brandschutzkonzept der seinerzeitigen Baugenehmigung geführt hatten. Bei einer im Jahr 2005 durchgeführten wiederkehrenden Prüfung wurde eine inzwischen veränderte Bauausführung festgestellt. Diese wurde nicht dem seinerzeit genehmigten Stand angepasst, sondern es wurde eine Neubewertung nach aktuellem Stand der Brandschutztechnik vorgenommen.

Während das frühere Brandschutzkonzept auf Maßnahmen zur Ermöglichung und Verbesserung der Zugänglichkeit für die Brandbekämpfung im Innenangriff ausgerichtet war, wurde nunmehr die neue automatische Fördertechnik in Verbindung mit einer optimierten Steuerung und einer automatischen Brandmelde-technik genutzt, um das potenzielle Brandobjekt in eine für die Brandbekämpfung geeignete Position zu verbringen. Dabei wurden Erkenntnisse der Berufsfeuerwehr zum wirkungsvollen Einsatz von Löschschaum berücksichtigt.

Das Beispiel zeigt, dass sich Brandschutzkonzepte im Wandel der Zeit durchaus verändern können und auch ohne Veränderung von Bauweise und Nutzung andere Lösungswege im Rückgriff auf die Möglichkeiten der modernen Technik entstehen. Dies gilt umso mehr, wenn - wie im konkreten Objekt - ein atypischer Sonderbau vorliegt, welcher im unmittelbaren Vorschriftenabgleich nur schwer beurteilt werden kann.

Im konkreten Beispiel erweist es sich als erheblicher Vorteil, dass das frühere Brandschutzkonzept einschließlich der beabsichtigten Schutzziele und Risikobewertung in einer Fachzeitschrift dokumentiert war. Dies stellt für damalige Verhältnisse eine Ausnahmesituation dar. In der heutigen Zeit ist mit den in einigen Bundesländern baurechtlich verpflichtend und in anderen Ländern als geübte Praxis vorzulegenden Brandschutzkonzepten eine erhebliche Verbesserung eingetreten.

LITERATUR

- [1] Verordnung über bautechnische Prüfungen (BauPrüfVO) für das Land Nordrhein-Westfalen vom 20.02.2000
- [2] Rother, H.: Auto-Tiefsilo in Düsseldorf; vfdB 1/66, Seite 25
- [3] Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen (Garagenverordnung - GarVO) für das Land Nordrhein-Westfalen vom 02.11.1999
- [4] Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen (Muster-Garagenverordnung - MGarVO) der ARGEBAU in der Fassung der Änderung vom 18.09.1997.

INDUSTRIEPARKS IM WANDEL DER ZEIT - BRANDSCHUTZKONZEPTE MIT ODER OHNE WERKFEUERWEHR?

Thomas Heins und Rainer Gellings
Sachverständigenbüro für Brandschutz Dr. Heins, Kleve

AUSGANGSSITUATION

Die ersten Werkfeuerwehren wurden von großen Betrieben insbesondere der chemischen Industrie in Deutschland bereits um 1880 gegründet. Die Initiative ging dabei von den Betrieben selbst aus, um das Eigentum zu schützen und Produktionsausfälle durch Brandereignisse zu beschränken [1]. In den folgenden Jahrzehnten entwickelten sich die Wehren dann zu schlagkräftigen Einheiten der betrieblichen Brandbekämpfung und Gefahrenabwehr und wurden zum wesentlichen Bestandteil von Sicherheitskonzepten. Auch wenn die Werkfeuerwehren nicht von staatlicher Seite gefordert wurden, wurden sie doch bei der Formulierung von Genehmigungsaufgaben berücksichtigt, indem Erleichterungen von brandschutztechnischen Anforderungen gewährt wurden. Insbesondere in Städten und Gemeinden, in denen nur eine freiwillige Feuerwehr gestellt wird, leisten Werkfeuerwehren nicht zuletzt wegen ihrer besonderen Kenntnisse über die Örtlichkeiten, die Betriebsabläufe, die Vernetzung der Betriebe sowie über Gefahrstoffe in Lagern und Produktionsprozessen einen unverzichtbaren Beitrag zur Brandbekämpfung und Gefahrenabwehr.

Seit Beginn der 1990er Jahre haben sich an vielen Standorten von Großbetrieben so genannte Industrieparks gebildet. Ursächlich hierfür ist der zunehmende Wettbewerbsdruck im Zeitalter der Globalisierung, der zu einer Umstrukturierung von Großunternehmen geführt hat. Dabei wurden Geschäftsfelder rechtlich verselbständigt, um sie fortan unter dem Dach einer Holding zu führen oder aber auch zu veräußern. In den neuen Bundesländern ist dieser Trend auf die Privatisierung von Kombinat zurückzuführen, wobei überlebensfähige Betriebsteile an unterschiedliche Besitzer veräußert, andere geschlossen und neue Firmen, teilweise auch mit anderen Geschäftsfeldern auf dem Werks Gelände angesiedelt wurden.

In beiden Fällen führte die Entwicklung dazu, dass anstelle *eines* verantwortlichen Betreibers *eine Vielzahl* von unabhängigen Produktions- und Dienstleistungsunternehmen getreten ist, für die es oft einen wirtschaftlichen Zusammenhang nicht mehr gibt. Die rechtlich selbständigen Einzelunternehmen sind nur noch über Holding- oder Servicegesellschaften verknüpft, die z. B. für die Energieversorgung und Abfallentsorgung sowie die Unterhaltung des Verkehrsnetzes verantwortlich sind und teilweise auch die Übernahme von Betreiberpflichten anbieten. Hierzu gehören z. B. die Bereitstellung von Störfall- oder Brandschutzbeauftragten, eines Sicherheitsdienstes oder einer Werkfeuerwehr.

Durch die oben skizzierten Umstrukturierungen bisher einheitlicher Werke mit einer verantwortlichen Führung zu Industrieparks geraten Werkfeuerwehren

unter zunehmenden Druck. Vielfach entspricht es zwar dem Wunsch der Aufsichtsbehörden, die Werkfeuerwehr aufrecht zu erhalten, die zum Teil auch Brandschauen durchführt und die Aufgaben der Brandschutzdienststelle im Genehmigungsverfahren übernimmt. Die Produktions- und Dienstleistungsgesellschaften im Industriepark hingegen pochen auf ihre Eigenständigkeit und haben nicht zuletzt mit Hinweis auf die Kosten ein geringeres Interesse an der Unterhaltung einer Werkfeuerwehr. Dies trifft umso mehr zu, wenn für vergleichbare Betriebe außerhalb des Industrieparks die für sie kostenlose öffentliche Feuerwehr im Brand- und Gefahrfall zuständig ist [2].

AUFSTELLUNGS- UND UNTERHALTUNGSPFLICHT EINER WERKFEUERWEHR

Nach dem Feuerschutzrecht der Länder

Die Pflicht zur Aufstellung und Unterhaltung einer Feuerwehr resultiert zunächst aus den Feuerschutzgesetzen der Bundesländer. Im Land Nordrhein-Westfalen ist dies das Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung (FSHG [4]), das die Gemeinden verpflichtet, den örtlichen Verhältnissen entsprechende leistungsfähige Feuerwehren zu unterhalten, um Schadenfeuer zu bekämpfen sowie bei Unglücksfällen und bei öffentlichen Notständen Hilfe zu leisten (§ 1(1) FSHG). Diese Aufgaben übernehmen in der Regel die öffentlichen Feuerwehren wie die Berufsfeuerwehren, die freiwilligen Feuerwehren oder die Pflichtfeuerwehren.

Werkfeuerwehren sind dagegen private Feuerwehren, die staatlich angeordnet oder anerkannt sein können. Die Verpflichtungen zur Aufstellung und Unterhaltung einer Werkfeuerwehr erfolgt bei Betrieben, bei denen die Gefahr eines Brandes oder einer Explosion besonders groß ist oder bei denen im Schadenfall eine große Anzahl von Personen gefährdet wird (§ 15(1) FSHG), durch die Bezirksregierung.

Wegen der erforderlichen Ortskenntnisse und der Betriebsabläufe müssen die Angehörigen der Werkfeuerwehr auch Werksangehörige sein (§ 15(2) FSHG). Ausnahmen hiervon lässt das Gesetz nur dann zu, wenn die Werkfeuerwehr ausschließlich wegen der Gefährdung einer großen Anzahl von Personen angeordnet oder anerkannt worden ist. Dieses ist aber bei Industrieanlagen in der Regel nicht der Fall; hier gehören die Brandbekämpfung und die Gefahrenabwehr zu den wesentlichen Aufgaben einer Feuerwehr. Feuerwehren mit Betriebsfremden, die z. B. von Service- oder Infrastrukturgesellschaften gestellt und den einzelnen Betrieben eines Industrieparks angeboten werden, können daher nicht Werkfeuerwehren i.S. des FSHG sein.

An Werkfeuerwehren werden grundsätzlich die gleichen Anforderungen hinsichtlich des Aufbaus, der Ausstattung und der Ausbildung gestellt wie an öffentliche Feuerwehren. Darüber hinaus muss sich ihre Leistungsfähigkeit an

dem Gefahrenpotential des Betriebes orientieren. Die Werkfeuerwehren übernehmen auf dem Betriebsgelände alle Aufgaben der öffentlichen Feuerwehr wie

- die Brandbekämpfung und Hilfeleistung,
- die Durchführung von Brandschauen,
- die Stellung von Brandsicherheitswachen,
- die Brandschutzerziehung sowie die Brandschutzaufklärung und die Selbsthilfe.

Die Werkfeuerwehren sind also hinsichtlich ihrer Ausstattung und Aufgaben den öffentlichen Feuerwehren gleichgestellt, die auf dem Betriebsgelände in der Regel nur nach Anforderung tätig werden.

Nach dem Immissionsschutzrecht des Bundes

Neben den Anforderungen aus den Feuerschutzgesetzen der Länder kann eine Verpflichtung zur Aufstellung und Unterhaltung einer betrieblichen Feuerwehr aus dem Immissionsschutzrecht des Bundes abgeleitet werden. Rechtsgrundlage für eine entsprechende Anordnung ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG [5]) in Verbindung mit der Störfallverordnung (12. BImSchV [6]).

Gemäß § 5 (1) BImSchG haben Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen diese so zu betreiben, dass u. a. schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Für Betriebe, die unter den Anwendungsbereich der Störfallverordnung fallen, werden unter § 3 (3) StörfallV vorbeugende Maßnahmen verlangt, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten. Zu den vorbeugenden Maßnahmen zählt u. a. die betriebliche Feuerwehr (2. StörfallVwV [7]).

Im Unterschied zu den Feuerschutzgesetzen der Länder spricht das Störfallrecht nicht von einer *Werkfeuerwehr*, sondern von einer *betrieblichen Feuerwehr*. Auch setzt die Forderung zum Aufstellen und Unterhalten einer betrieblichen Feuerwehr voraus, dass die Anlage unter die Störfallverordnung fällt, was an konkrete Stoffe und Mengenschwellen gebunden ist, die sich in einem Betrieb befinden. Im Gegensatz dazu liegt es nach den Feuerschutzgesetzen der Länder (hier: exemplarisch das FSHG NRW) im Ermessen der Bezirksregierung, bei einer „besonders großen“ Gefahr eines Brandes die Aufstellung und Unterhaltung einer Werkfeuerwehr zu verlangen.

DIE WERKFEUERWEHR IM BESTAND

Unabhängig davon, ob eine Werkfeuerwehr angeordnet oder anerkannt wurde, wurde bzw. wird sie von den zuständigen Aufsichtsbehörden in den Genehmi-

gungen dahingehend berücksichtigt, dass von einer kurzen Hilfsfrist aufgrund der Ortsnähe, einer effektiven Brandbekämpfung aufgrund der Ausbildung und Ausstattung der Feuerwehr sowie einer wirksamen Vorsorge durch betriebliche Brandschauen und werksinterne Ausbildungen ausgegangen werden kann. Schon vor der Aufnahme der Werkfeuerwehr in das Bauordnungsrecht (z. B. durch die Industriebaurichtlinie (IndBauR [8]) oder vor Einführung der Störfallverordnung [6]) finden sich in alten Genehmigungsunterlagen Erleichterungen/Abweichungen, die mit dem Vorhandensein der Werkfeuerwehr begründet wurden. Diese Abweichungen betreffen z. B.

- die tragenden Bauteile, die mit unzureichendem oder nicht definiertem Feuerwiderstand hergestellt wurden,
- übergroße Brandabschnitte oder ihre unzureichende Unterteilung,
- fehlende Maßnahmen zur Löschwasserrückhaltung bei Lageranlagen,
- die Überschreitung der zulässigen Rettungsweglänge und eine abweichende Ausführung,
- die schwierige Zugänglichkeit einzelner Gebäudeteile insbesondere in komplexen Industrieanlagen.

Im Bauordnungsrecht wurden erstmals Erleichterungen bei vorhandener Werkfeuerwehr mit Einführung der Industriebaurichtlinie im Jahre 1985 konkretisiert. Aufgrund dieser Richtlinie wurden Brandlasterhebungen für Industriebauten nach DIN 18 230 [13] durchgeführt, aus denen sich über so genannte Brandschutzgutachten die heute üblichen Brandschutzkonzepte bzw. -nachweise entwickelten. Eine anerkannte Werkfeuerwehr wird nach der aktuellen IndBauR in Abhängigkeit von ihrer Stärke durch die Klassifizierung der Gebäude nach Sicherheitskategorien als brandschutztechnische Infrastruktur berücksichtigt. Dabei werden vier Unterkategorien unterschieden,

K 3.1:	Werkfeuerwehr in Staffelstärke	(1/ 5),
K 3.2:	Werkfeuerwehr in Gruppenstärke	(1/ 8),
K 3.3:	Werkfeuerwehr mit zwei Staffeln	(2/10),
K 3.4:	Werkfeuerwehr mit drei Staffeln	(3/15),

aus denen die zulässigen Größen der Brandabschnitte (s. Tab. 1 IndBauR) bzw. der Brandbekämpfungsabschnitte (s. Abschnitt. 7.5 IndBauR) resultieren.

Eine vergleichbare Vorgehensweise wird in der als Technische Baubestimmung eingeführten Löschwasserrückhalterichtlinie (LÖRüRL [9]) beschrieben, die u. a. aus den Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF 100 [11]) und für Gefahrstoffe (TRGS 514 [12]) abgeleitet wurde. Auch die LÖRüRL gestattet bei vorhandener Werkfeuerwehr (Sicherheitskategorie K 3) Erleichterungen bei der Bemessung der Größe von Lagerabschnitten und des Löschwasserrückhaltevolumens.

Tabelle 1: Zulässige Größe der Brandabschnittsflächen in m² in Abhängigkeit von der Sicherheitskategorie (aus [8])

Sicherheits- kategorie	Anzahl der Geschosse des Gebäudes								
	erdgeschossig		2geschossig		3geschossig		4geschossig	5geschossig	
	Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile								
	ohne Anforderungen	F 30	F 30	F 60	F 90	F 60	F 90	F 90	F 90
K 1	1.800 ¹⁾	3.000	800 ²⁾³⁾	1.600 ²⁾	2.400	1.200 ²⁾³⁾	1.800	1.500	1.200
K 2	2.700 ¹⁾	4.500	1.200 ²⁾³⁾	2.400 ²⁾	3.600	1.800 ²⁾	2.700	2.300	1.800
K 3.1	3.200 ¹⁾	5.400	1.400 ²⁾³⁾	2.900 ²⁾	4.300	2.100 ²⁾	3.200	2.700	2.200
K 3.2	3.600 ¹⁾	6.000	1.600 ²⁾	3.200 ²⁾	4.800	2.400 ²⁾	3.600	3.000	2.400
K 3.3	4.200 ¹⁾	7.000	1.800 ²⁾	3.600 ²⁾	5.500	2.800 ²⁾	4.100	3.500	2.800
K 3.4	4.500 ¹⁾	7.500	2.000 ²⁾	4.000 ²⁾	6.000	3.000 ²⁾	4.500	3.800	3.000
K 4	10.000	10.000	8.500	8.500	8.500	6.500	6.500	5.000	4.000

¹⁾ Breite des Industriebaus ≤ 40 m und Wärmeabzugsflächen (nach DIN 18230-1) ≥ 5 %

²⁾ Wärmeabzugsfläche (nach DIN 18230-1) ≥ 5 %

³⁾ Für Gebäude geringer Höhe ergibt sich nach § 29 Tabelle Zeile 1a i.V.m. § 32 Abs. 1 BauO NRW eine zulässige Größe von 1.600 m²

Was im Bauordnungsrecht mit dem Brandschutzkonzept erreicht werden soll, soll bei Betrieben, die die erweiterten Pflichten gemäß § 9 StörfallV zu erfüllen haben, der Sicherheitsbericht (auch: die Sicherheitsanalyse) leisten. Beschrieben werden hier für denkbare Störfälle die erforderlichen Maßnahmen zur Begrenzung der Störfallauswirkungen. Bei Betrieben mit einer Werkfeuerwehr gehört diese regelmäßig zu den wirksamsten Maßnahmen des Sicherheitskonzeptes. Einen konkreten Bezug zu einem Regelwerk gibt es dabei meistens nicht. Die Verwendung und die Lagerung von größeren Mengen an Gefahrstoffen wie brennbaren Flüssigkeiten, explosionsgefährlichen Stoffen, giftigen und wassergefährdenden Stoffen werden in den Sicherheitsberichten mit den kurzen Eingriffszeiten einer Werkfeuerwehr und ihrer Ausstattung begründet, z. B.

- zur Bekämpfung von Gefahrstoffbränden und zur Verhinderung der Brandausbreitung durch feuerwehrtechnische Maßnahmen,
- zur Aufnahme von Leckagen wassergefährdender Flüssigkeiten,
- zum Niederschlag von toxischen Gasen (z.B. von Ammoniak und Salzsäure) beim Austritt aus Rohrbrüchen, Behältern und Anlagen.

Als weitere Normen und technische Regeln, die eine Werkfeuerwehr bei der brandschutztechnischen Auslegung honorieren, seien exemplarisch die DIN 18232-2 [14] zur Bemessung von Rauchabzugsanlagen und die Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten – Lager – (TRbF 20 [10]) genannt.

AUSWIRKUNGEN AUF BRANDSCHUTZKONZEPTE OHNE WERKFEUERWEHR

Gibt es in einem Industriepark von Seiten des Betreibers oder der Einzelunternehmen Bestrebungen, eine anerkannte Werkfeuerwehr aufzulösen oder in eine private Hilfsorganisationen umzuwandeln, sind hiervon die Genehmigungen und die dazugehörigen Brandschutzkonzepte und Sicherheitsberichte unmittelbar betroffen. Mit den Genehmigungsbehörden sind im Einzelnen Kompensationsmaßnahmen wie die Installation von Brandmelde- und Löschanlagen unter Beachtung der aktuellen Bauvorschriften und der Gefahrensituation abzustimmen. Einen hohen Stellenwert ist dabei der Frage beizumessen, ob die bestehende öffentliche Feuerwehr überhaupt einen ausreichenden Feuerschutz gewährleisten kann.

Von Bedeutung ist selbstverständlich auch die Frage, inwieweit sich die Gefahr eines Brandes oder einer Explosion in dem Industriepark durch die Änderung von Produktionsprozessen, die Entwicklung der Gefahrstoffmengen und den Personalbestand auf dem Gelände verändert hat. Durch die Schließung ganzer Betriebe oder Betriebsteile hat sich die Anzahl der Mitarbeiter in den Industrieparks in den letzten Jahren oft erheblich verringert (Bild 1). Lagerkapazitäten auf dem Werksgelände wurden häufig durch Betriebsschließungen und Änderungen in der Logistik abgebaut (Bild 2).

Auf der anderen Seite werden die vorhandenen Gebäude weiterhin genutzt, bei denen oft schon aufgrund ihres Alters erhebliche Abweichungen von den aktuellen Bauvorschriften bestehen und die gerade in jüngeren Genehmigungen mit dem Vorhandensein einer Werkfeuerwehr gerechtfertigt werden, da in kleineren Städten und Gemeinden die öffentlichen Wehren nicht auf die Betreuung eines bislang außerhalb ihres Zuständigkeitsbereiches liegenden Industrieparks vorbereitet sind.

Untersuchung der bestehenden Genehmigungen

Die Einzelunternehmen eines Industrieparks nutzen meistens bestehende Gebäude, für die es Baugenehmigungen teilweise noch aus der Gründerzeit des mittlerweile aufgelösten Industriebetriebes gibt und die um verschiedene Nachträge ergänzt wurden. Brandschutzkonzepte, wie sie heute bekannt sind, gibt es in der Regel erst seit Einführung der Industriebaurichtlinie. Zum Aufstellen und Unterhalten einer Werkfeuerwehr finden sich in den Unterlagen unterschiedlich konkrete Hinweise:

1. In den alten Genehmigungen gibt es meistens keine Hinweise zum abwehrenden Brandschutz. Die Auflagen zum Brandschutz beschränken sich auf Anforderungen an den Feuerwiderstand einiger Bauteile wie Brandwände, tragende Bauteile und Feuerschutzabschlüsse. Teilweise datieren diese Genehmigungen aus einer Zeit, bevor es eine Werkfeuerwehr gab.

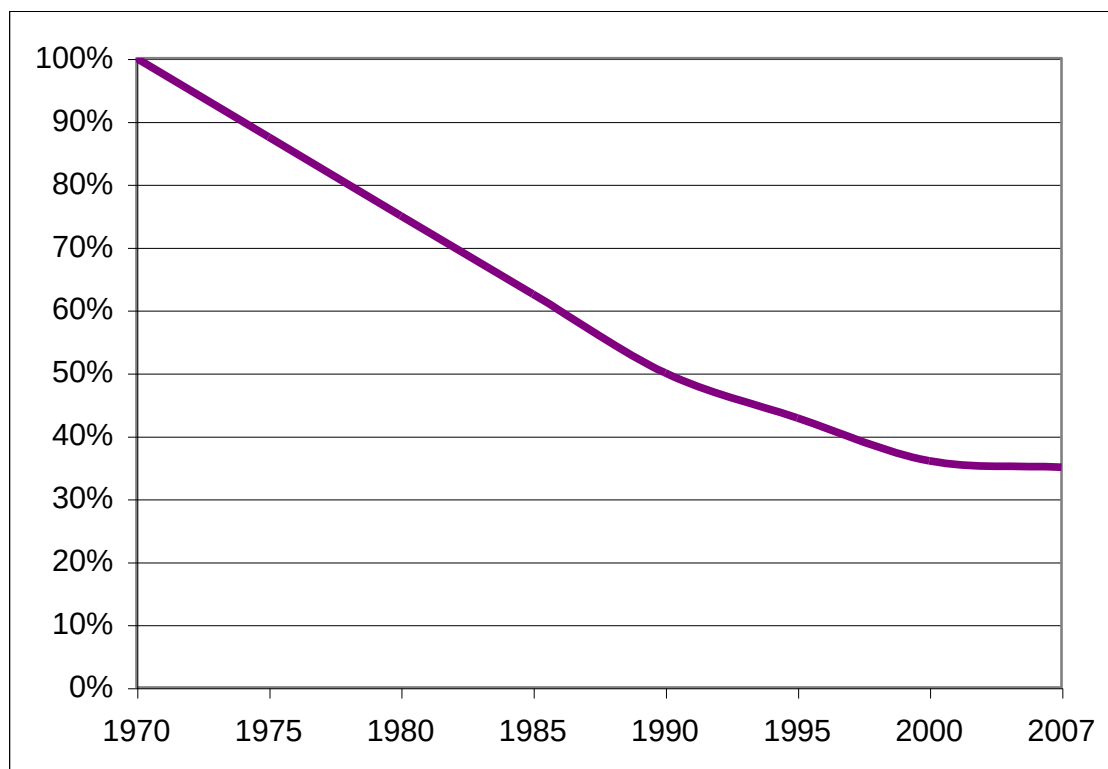


Bild 1 Entwicklung des Mitarbeiterbestandes im Industriepark

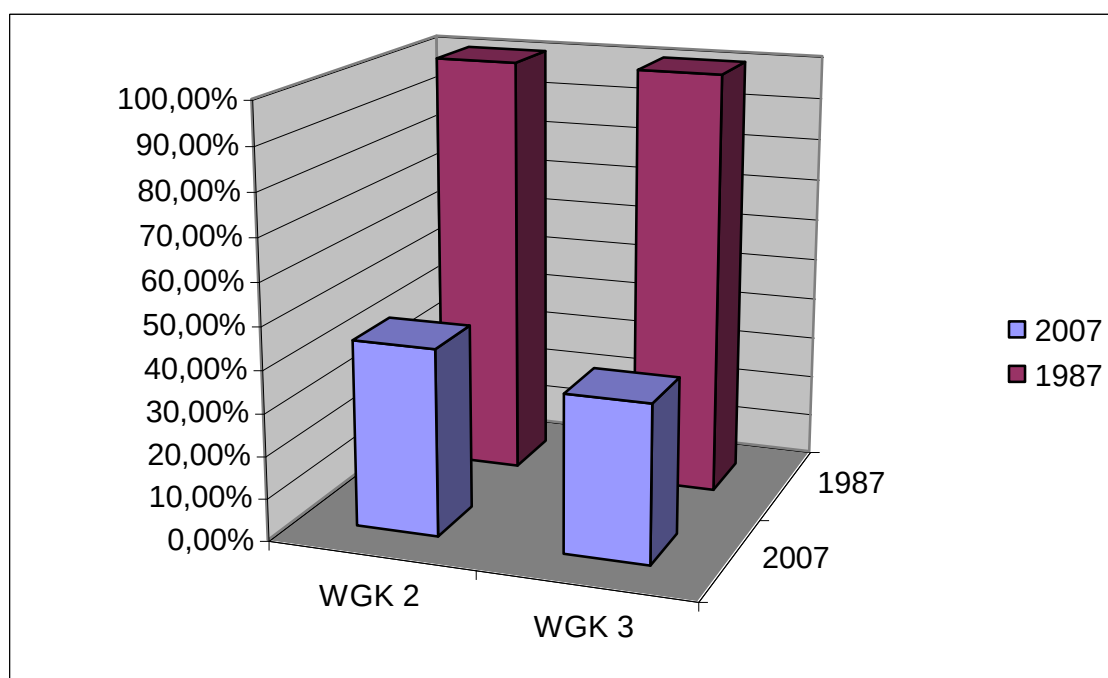


Bild 2 Entwicklung Gefahrstoffe in einem Industriepark (bezogen auf die Wassergefährdungsklassen WGK 2 und WGK 3)

2. Jüngere Genehmigungen verweisen zumeist auf ein Brandschutzkonzept, das anlässlich wesentlicher Änderungen, baulicher Erweiterungen oder Neubauten erstellt wurde. In den Brandschutzkonzepten wird auf eine bestehende Werkfeuerwehr in unterschiedlicher Weise eingegangen:
 - a. Die Werkfeuerwehr wird z. B. in der Gebäudebeschreibung erwähnt, jedoch im Brandschutzkonzept nicht weiter berücksichtigt. Dies gilt insbesondere für Büro- und Verwaltungsnutzungen oder kleinere Produktions- und Lagergebäude. Der Hinweis beschränkt sich auf die Zuständigkeit im Brandfall.
 - b. Die Werkfeuerwehr wird als Kompensationsmaßnahme für Abweichungen von bauordnungsrechtlichen Anforderungen insbesondere im Bestand, z. B. bei der Überschreitung der zulässigen Brandabschnittsgröße, bei unzureichendem Feuerwiderstand der Bauteile und bei Abweichungen in der Rettungswegführung herangezogen. Als Begründung werden oftmals die kurze Hilfsfrist und die Ortskenntnisse der Einsatzkräfte genannt.
 - c. Die Werkfeuerwehr ist wesentlicher Bestandteil des Brandschutzkonzeptes für Industriebauten auf der Grundlage der IndBauR. Brandschutztechnische Einrichtungen wie die zur Löschwasserrückhaltung und zur Rauchableitung sind unter Berücksichtigung der Werkfeuerwehr bemessen.
3. Für Betriebe, die in den Anwendungsbereich der StörfallV fallen, existiert ein Sicherheitsbericht, in dem der Werkfeuerwehr eine besondere Aufgabe bei der Begrenzung von Störfallauswirkungen zukommt.

Für die unter 2a) skizzierten Fälle spielt es meistens keine Rolle, ob der abwehrende Brandschutz von einer Werk- oder öffentlichen Feuerwehr wahrgenommen wird. Es handelt sich um Gebäude mit geringem Gefahrenpotential, die man auch in einem Gewerbe- oder Industriegebiet findet. Die Erstellung oder Überarbeitung eines Brandschutzkonzeptes ist bei einer geänderten Zuständigkeit im Brandfall in der Regel nicht erforderlich.

Für die unter 2b) genannten Gebäude ist im Einzelfall zu prüfen, ob eine bauliche Anpassung des Gebäudes an geltende Bauvorschriften erforderlich ist oder ob technische Einrichtungen wie eine Brandmelde- oder Löschanlage zur Kompensation installiert werden müssen. Dabei ist objektspezifisch zu prüfen, mit welchen Alarmierungszeiten und Hilfsfristen gerechnet werden muss. Während für anerkannte Werkfeuerwehren bei unverzüglicher Brandmeldung eine Brandentwicklungsdauer von fünf Minuten angesetzt werden kann, unterliegen die Hilfsfristen der öffentlichen Feuerwehren wegen der größeren Entfernung zum Einsatzort und dem tageszeitabhängigen Verkehrsaufkommen auf öffentlichen Straßen naturgemäß einer viel größeren Bandbreite.

Für die unter 2c) genannten baulichen Anlagen wird eine grundlegende Anpassung des Brandschutzkonzeptes erforderlich werden, wenn die betriebliche Feuerwehr als anerkannte Werkfeuerwehr nicht mehr zu Verfügung steht. Dies kann beispielsweise

- über eine Brandlastberechnung nach DIN 18230-1 erfolgen, insbesondere dann, wenn sich die Brandlast vermindert hat, und / oder
- durch Installation brandschutztechnischer Einrichtungen wie einer selbsttätigen Löschanlage, um über eine höhere Sicherheitskategorie die Werkfeuerwehr zu kompensieren.

Durch die Umstrukturierung eines einheitlichen Betriebes in Einzelunternehmen sind in allen Fällen

- die Zugänglichkeit für die Einsatzkräfte zu den Einzelunternehmen,
- die Trennung der Gebäude durch Abschlusswände und der Nutzungseinheiten untereinander und
- die unabhängige Führung der Rettungswege

zu hinterfragen. Bei der Anwendung von Ingenieurmethoden des Brandschutzes, wie sie gerade im Bestand zur brandschutztechnischen Bemessung von Bauteilen und zur Beurteilung der Rettungswege angezeigt sind, sind im Einzelnen die Einflüsse auf das Brandszenarium wie

- die Anwesenheit von Betriebspersonal,
- die Einrichtungen zur Brandmeldung,
- die Zugänglichkeit der Gebäude,
- die Entfernung zur Feuerwache

zu beleuchten, da die erfolgreiche Brandbekämpfung der öffentlichen Feuerwehr von der Hilfsfrist und ihrer Ausrüstung mehr abhängt als bei einer auf dem Werksgelände stationierten und ortskundigen Werkfeuerwehr [3].

Die unter 3) genannten baulichen Anlagen fallen nach Umwandlung eines Großbetriebes in Einzelunternehmen u. U. nicht mehr in den Anwendungsbereich der Störfallverordnung, da die Mengenschwellen gemäß Anhang I zur StörfallV nach einer Umstrukturierung zu einem Industriepark nicht mehr für das gesamte Werk, sondern jeweils für die Einzelunternehmen maßgebend sind. Daher sind die am Standort vorhandenen Unternehmen einzeln unter Berücksichtigung der Auswirkung auf benachbarte Betriebe im Brand- und Störfall (sog. Domino-Effekt) zu untersuchen. Änderungen im Brandschutzkonzept ohne anerkannte Werkfeuerwehr betreffen organisatorische Maßnahmen wie die Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, aber auch personelle und

technische Vorkehrungen, soweit die nun zuständige öffentliche Feuerwehr die besonderen Gefahren mit der üblichen Ausstattung nicht abwenden kann (§ 24 FSHG NRW).

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch die Umstrukturierungen einstiger Großbetriebe zu Industrieparks und die damit einhergehende Änderung der Besitzverhältnisse werden die bestehenden Strukturen nachhaltig verändert. Bei einer Betrachtung der am Standort ansässigen Einzelunternehmen ergeben sich für die Betriebe zum größten Teil keine Anforderungen an die Aufstellung und Unterhaltung einer Werkfeuerwehr. Dadurch können sich in demselben Industriepark werkfeuerwehrepflichtige und nichtwerkfeuerwehrepflichtige Betriebe befinden.

Das Bauordnungsrecht bietet zum Beispiel mit der Industriebaurichtlinie die Möglichkeit, für die einzelnen Gebäude und Betriebe Brandschutzkonzepte unter Berücksichtigung der brandschutztechnischen Infrastruktur zu entwickeln. Eine anerkannte Werkfeuerwehr kann durch technische Einrichtungen wie eine selbsttätige Löschanlage kompensiert werden.

Komplexer gestaltet sich die Situation bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Industrieparks. Auch wenn an die Stelle eines Betreibers/Bauherrn eine Vielzahl von Verantwortlichen treten, bleiben Verknüpfungen der Einzelunternehmen, z. B. über Versorgungseinrichtungen, Verkehrswege und gemeinsam genutzte Gebäude, bestehen. Im Bestand werden Abweichungen von brandschutztechnischen Anforderungen oft gerade wegen einer vorhandenen Werkfeuerwehr zugelassen, und für eine rasche und erfolgreiche Brandbekämpfung sind in bestehenden Industrieparks gute Kenntnisse der örtlichen Verhältnisse und Betriebsabläufe unerlässlich.

Besonders in kleineren Städten und Gemeinden, die über keine Berufsfeuerwehr verfügen, stellt sich die Frage, ob die vorhandene freiwillige Feuerwehr über eine ausreichende personelle und technische Ausstattung für eine Brandbekämpfung und Gefahrenabwehr auch in störfallrelevanten Betrieben verfügt. Bestehende Brandmeldeanlagen entsprechen oft nicht den aktuellen Regeln der Technik [15], [15] und führen zu übermäßigen Fehlalarmen, die eine freiwillige Feuerwehr an den Rand ihrer Leistungsfähigkeit bringen können.

Es besteht ein Anpassungsbedarf der bestehenden gesetzlichen Regelungen über Werkfeuerwehren, um einerseits zersplitterte Zuständigkeiten in einem Industriepark zu vermeiden. Die ehemaligen Werkfeuerwehren sollten ihre Zuständigkeit für den gesamten Industriepark, mindestens jedoch für Betriebe, die in einem räumlichen und betrieblichen Zusammenhang stehen, behalten. Andererseits dürfen die Einzelfirmen in einem Industriepark nicht gegenüber Unternehmen außerhalb des Industrieparks wirtschaftlich benachteiligt werden. Um dem steigenden Kostendruck innerhalb der Unternehmen Rechnung zu tragen,

sollten die öffentlichen Feuerwehren und die Werkfeuerwehren kooperieren und Synergieeffekte nutzen [17].

LITERATUR

- [1] Werkfeuerwehren Historie. Hrsg.: WFV Deutschland - Bundesverband Betrieblicher Brandschutz, Werkfeuerwehrverband Deutschland e.V., Mai 2007
- [2] Jochum, Ch.; Friedenstab, Th.; Spindler, G.; Peter, J.: Industriepark und Störfallrecht – Erarbeitung von Kriterien zur Regelung der Sicherheitsverantwortung bei Störfallbetrieben in Industrieparks. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berichts-Nr.: 299 48 325 UBA-FB 000324, Berlin, 2002
- [3] Technischer Bericht TB 04/01: Leitfaden - Ingenieurmethoden des Brand-schutzes, 1. Auflage. Hrsg.: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB), Referat 4, Dietmar Hosser, Altenberge, Braunschweig, 2006
- [4] Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung (FSHG NRW), Okt. 1998
- [5] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), vom Sept. 2002
- [6] Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-gesetzes (Störfall-Verordnung - 12. BImSchV), vom Juni 2005
- [7] Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung (2. StörfallVwV), vom 27. April 1982
- [8] Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Industriebau-richtlinie – IndBauR –) RdErl. d. Ministeriums für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport vom 28. Mai 2001
- [9] Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (LöRüRL) RdErl. des Ministeriums für Städtebau und Wohnen vom 14. Oktober 1992
- [10] TRbF 20-A: Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten - Lager, vom 01.02.2001, zuletzt geändert am 15. Mai 2002
- [11] TRbF 100: Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten – Allgemeine Sicherheitsanforderungen, Nr. 5.3 sowie Anlage 1 vom Juli 1987 und Anlage 2 vom März 1989
- [12] TRGS 514: Technische Regeln für Gefahrstoffe – Lagern giftiger und sehr giftiger Stoffe in Verpackungen und ortsbeweglichen Behältern, Anhang I vom September 1987
- [13] DIN 18.230-1: Baulicher Brandschutz im Industriebau, Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Mai 1998

- [14] DIN 18.232-2: Rauch- und Wärmefreihaltung, Rauchabzüge; Bemessung, Anforderungen und Einbau, Juni 2003
- [15] DIN 14.675: Brandmeldeanlagen - Aufbau und Betrieb, November 2003
- [16] DIN VDE 0833-2: Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall - Festlegungen für Brandmeldeanlagen (BMA), Februar 2004
- [17] Kooperationsmodell der Werkfeuerwehr ThyssenKrupp Stahl mit der Berufsfeuerwehr Duisburg, Christoph Wachholz, Vortrag am IdF Münster, 3. November 2004

INNOVATIVE BRANDSCHUTZKONZEPTE FÜR SONDERBAUTEN UND BEREICHE MIT BESONDEREN ANFORDERUNGEN

Reiner Milski

Wagner Alarm- und Sicherungssysteme GmbH, Berlin

EINLEITUNG

Die Entwicklung im Brandschutz der letzten Jahre hat zunehmend gezeigt, dass es heute mehr denn Schutzkonzepte benötigt werden die den verschiedensten Anforderungen immer genauer gerecht werden. So ist es vielen in Unternehmen elementar wichtig, dass die Betriebsprozesse ungestört ablaufen. Ausfälle beispielsweise der EDV-Technik führen nicht selten zum Stillstand der gesamten Produktion, der Logistik, der Materialbestellung oder des Warenverkaufs. Brandereignisse in großen Sonderbauten wie automatisch betriebenen Hochregallagern oder anderen Logistikzentren führen im hart umkämpften Logistikgeschäft zu hohen Sachschäden, zu Lieferausfällen oder sogar Totalschäden und damit oft verbunden zum Kundenverlust. Übergroße materielle Schäden und ein nicht zu unterschätzender Imageschaden sind oft die Folge.

Herkömmliche Schutzkonzepte greifen teilweise wegen der großen Volumina der Lager nicht oder sind nicht wirtschaftlich. Wasser- oder Schaumlöschanlagen können die eingelagerten hochwertigen Waren ebenso wie das Feuer selbst beschädigen.

Ein Brandschaden, aber auch die Intervention mittels Wasser-Löschanlagen in einem Rechenzentrum einer Bank oder eines anderen IT-Dienstleisters hätte verheerende Auswirkungen. Auch Gas-Löschanlagen setzen vor der Auslösung das eigentliche Brandereignis voraus, das selbst bei einem Schmelzbrand durch die starke Rauchentwicklung bereits erhebliche schädigende Auswirkungen auf die installierte Technik haben kann.

Denkt man z. B. an das Brandereignis in der Amalia-Bibliothek in Weimar, so wird deutlich, dass auch im kulturhistorischen Bereich unserer Gesellschaft oder in der Archivierung verschiedenster Dokumente, ob in Behörden, Museen oder auch in Firmen, neue Schutzkonzepte gefragt sind. Sie sind eine sinnvolle Ergänzung zu den bereits lange Jahre im Einsatz befindlichen Brandschutzsystemen, die entwickelt und weiterentwickelt wurden, sich im täglichen Einsatz bewährt haben, die aber eben nicht bei Objekt die vom Betreiber gewünschten oder auch behördlich geforderten Schutzziele ohne negative Konsequenzen erreichen.

Das Brandereignis überhaupt zu vermeiden, ist die höchste Stufe des Brandschutzes und stellt damit eine sinnvolle Erweiterung der bisherigen bekannten und bewährten Schutzkonzepte dar.

Durch die Installation von Sauerstoffreduzierungsanlagen kann dieses Schutzziel erreicht werden. Darüber hinaus kann gegebenenfalls auf andere bauliche oder technische Brandschutzmaßnahmen verzichtet werden.

SAUERSTOFFREDUZIERUNGSANLAGEN - WIRKUNGSWEISE

Brände entstehen, wenn folgende drei Voraussetzungen gegeben sind:

- der Brandstoff selbst,
- die notwendige Stützenergie und natürlich
- der für den Verbrennungsprozess wichtige Sauerstoff.

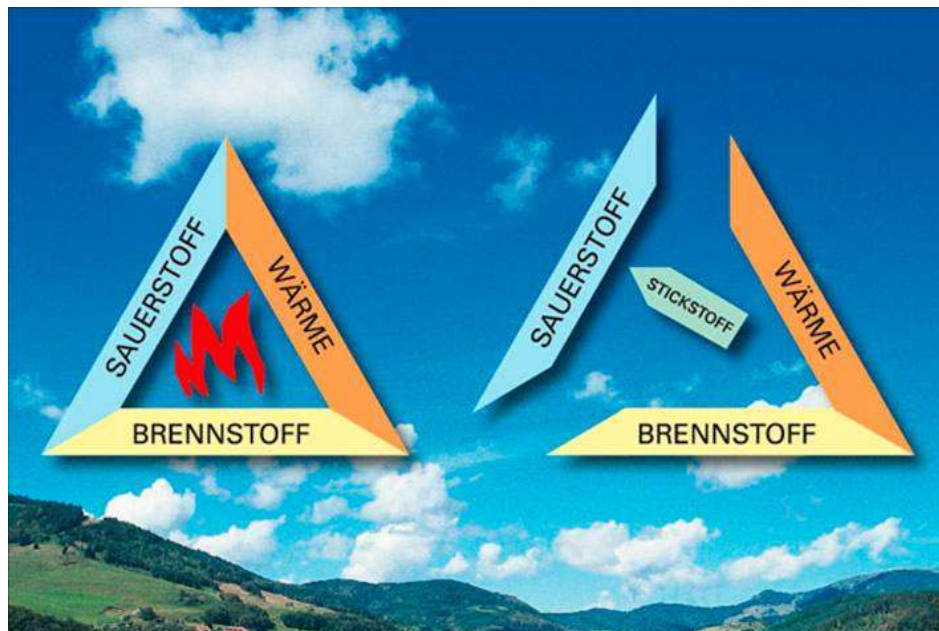


Bild 1 Feuertreieck

Für die Entwicklung der Sauerstoffreduzierungsanlagen machte man sich folgende Erkenntnis zu Nutze. Die Brennbarkeit von Stoffen nimmt mit der Sauerstoffkonzentration der Umgebungsluft ab. Je nach Stoff gilt, dass ab einer bestimmten Sauerstoffuntergrenze diese Stoffe nicht mehr brennen (Bild 2). Ein selbstständiges Brennen der Stoffe ist dann praktisch ausgeschlossen.

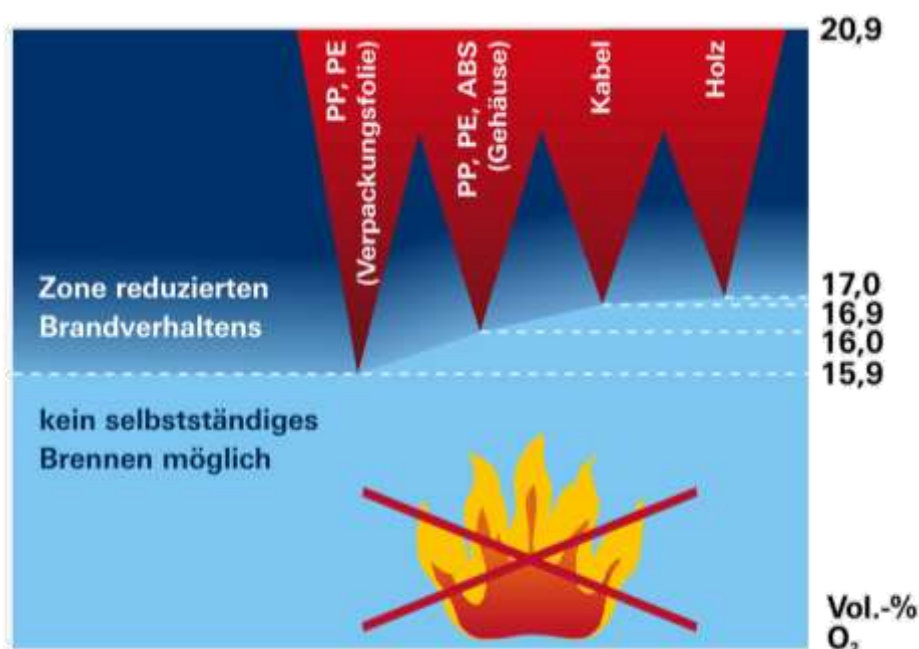


Bild 2 Entzündungsgrenzen

Der als Entzündungsgrenze bezeichnete Wert wurde in praktischen Versuchen ermittelt. In den VdS-Richtlinien VdS 3527 „VdS-Richtlinien für Intertisierungs- und Sauerstoffreduzierungsanlagen“ sind gesicherte Entzündungsgrenzen und Auslegungskonzentrationen vorgegeben. Für viele weitere Stoffe werden diese Grenzen laufend ermittelt. Je nach Lagergut oder Art der in dem Schutzbereich vorzufindenden Stoffe wird diese Entzündungsgrenze aus VdS 3527 entnommen - oder ggf. bei noch nicht bekanntem Wert experimentell ermittelt - und findet anschließend Berücksichtigung bei der Anlagenauslegung.

AUFBAU UND FUNKTION

Die sauerstoffreduzierte Atmosphäre wird durch den zusätzlichen kontrollierten Eintrag von Stickstoff in den zu schützenden Raum erreicht.

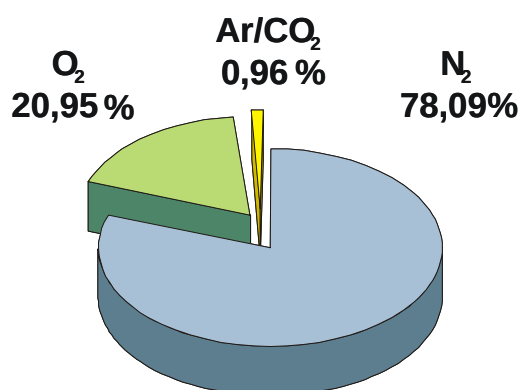


Bild 3 Zusammensetzung der natürlichen Atmosphäre

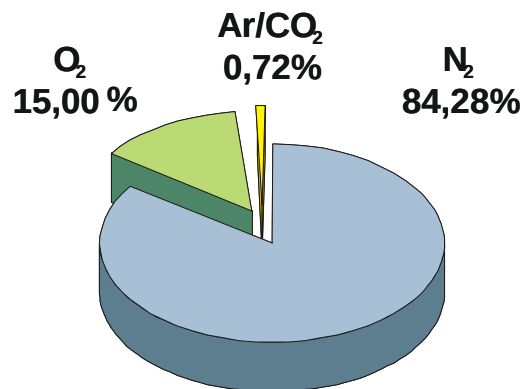


Bild 4 *Zusammensetzung der Schutzatmosphäre*

Redundant ausgeführte Sensoren messen die Sauerstoffkonzentration im Raum (Bild 3) und geben die Messergebnisse an eine Steuerzentrale weiter. Die zum Einstellen für die betreffenden Stoffeigenschaften ermittelten Entzündungsgrenze (Sollwert der Sauerstoffkonzentration) benötigte Menge an Stickstoff (Bild 4) wird ermittelt, durch eine eigens installierte Anlage zur Luftzerlegung vor Ort hergestellt oder bauseitig zur Verfügung gestellt und in den Raum geführt (Bild 5).

Ein zusätzlich installiertes Brandfrühsterkennungssystem überwacht den Raum auf mögliche Pyrolyseartikel durch fehlerhafte Bauteile, Geräte oder andere Brandgefahrenquellen. Damit kann durch frühestmögliche Detektion die Quelle eines potenziellen Brandereignisses (das ohne Einsatz einer Sauerstoffreduzierungsanlage eintreten würde) ermittelt und beseitigt werden. Das Entstehen eines offenen Feuers ist somit ausgeschlossen.

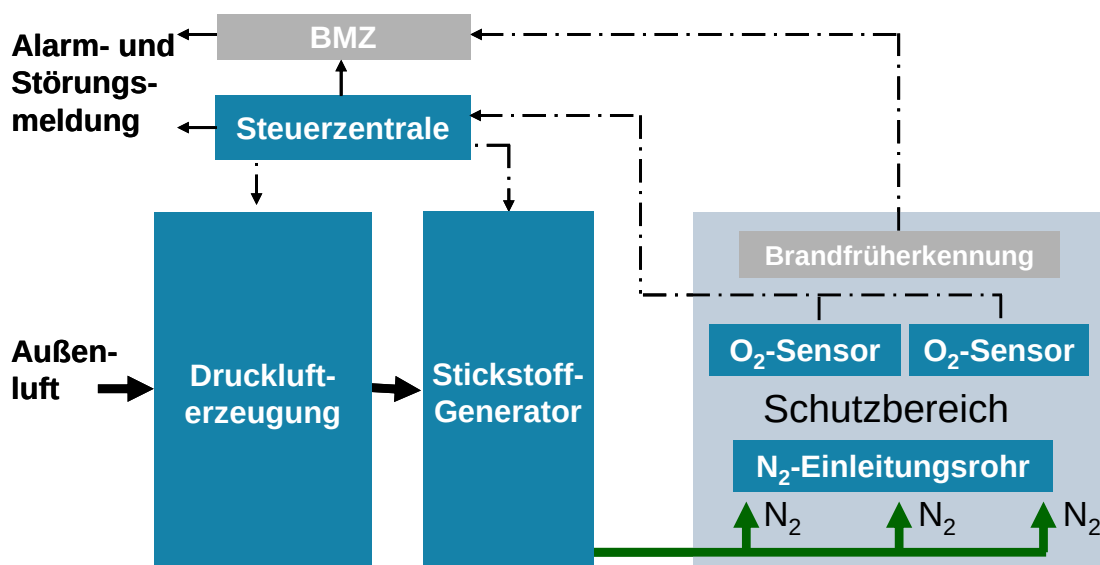


Bild 5 Genereller Anlagenaufbau

Optische und akustische Anzeige- und Alarmierungsmittel zeigen die jeweiligen aktuellen Betriebszustände im Schutzbereich an, weisen auf besondere Umgebungsbedingungen in den mit Sauerstoffreduzierungsanlagen geschützten Räumen vor einem Betreten des Raumes hin und signalisieren vom Sollwert abweichende Betriebs- und Alarmzustände.

Die Anlagen werden immer objektspezifisch geplant und ausgelegt und den besonderen Bedürfnissen der Betreiber angepasst (Bild 6). Kundenspezifische Lösungen werden mit verschiedensten Anlagenvarianten realisiert. Eine dauerhafte Absenkung des Sauerstoffniveaus ist nur eine Anlagenvariante. Eine weitere trägt der Notwendigkeit der zeitweisen freien Begehrbarkeit durch ein flexibles Sauerstoffniveau der Schutzbereiche Rechnung. Möglich ist auch eine Auslegung der Anlage auf einem Sauerstoffniveau oberhalb der Entzündungsgrenze und der im Brandfall ausgelösten Schnellabsenkung auf Schutzniveau.



Bild 6 Anlagenbeispiel eines Rechenzentrums

BEGEHBARKEIT DER SCHUTZBEREICHE

Durch den Einsatz einer Sauerstoffreduzierungsanlage wird eine Schutzatmosphäre geschaffen, in der es nicht mehr brennen kann. Dennoch können diese Bereiche durch Personen weiterhin betreten werden. Die Berufsgenossenschaft empfiehlt hierzu, dass alle Personen ohne bekannte Herz-, Kreislauf-, Gefäß- und Atemwegserkrankungen sich bei einer Sauerstoffkonzentration zwischen 20,9 Vol. % und 17 Vol.% in Bereichen aufhalten dürfen, in

denen zum Zwecke des Brandschutzes die Sauerstoffkonzentration der Luft mit OxyReduct®-Anlagen abgesenkt wurde. Personen mit arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchung hingegen dürfen sich in Bereichen mit einer Sauerstoffkonzentration zwischen 17 und 15 Vol.% für 4 Stunden aufhalten.

Die Auswirkungen der reduzierten Sauerstoffkonzentration auf den Menschen sind denen unter Bedingungen in großen Höhen gleichzusetzen.

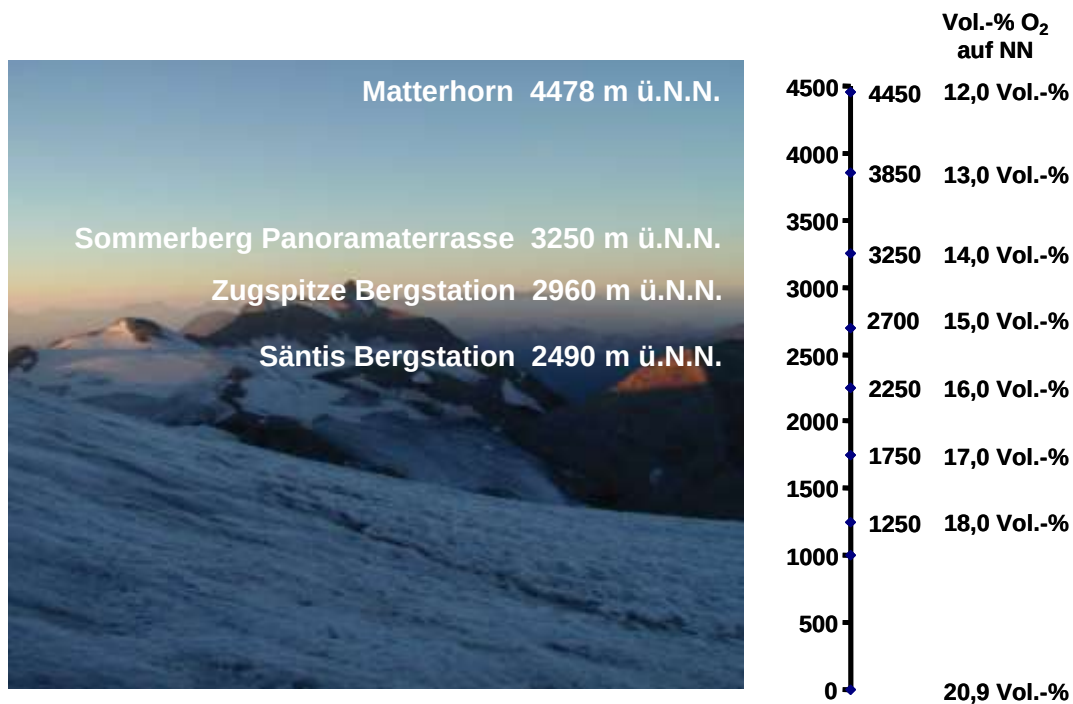


Bild 7 Auswirkungen auf den Menschen

EINSATZGEBIETE

Sauerstoffreduzierungsanlagen sind heute im EDV- und IT-Umfeld, in Sonderbauten wie Hochregallager oder Logistikzentren sowie in Archiven hundertfach im Einsatz. Unter Berücksichtigung der notwendigen technischen Maßnahmen zum Personenschutz und der organisatorischen Maßnahmen zur Begehrbarkeit der Schutzbereiche wird ein Schutzkonzept „Einsatz einer Sauerstoffreduzierungsanlage“ oftmals nicht nur aufgrund der hohen Anforderungen an die Anlagenausfallsicherheit der Rechenzentrumsbetreiber, der Forderung nach 100-prozentiger Verfügbarkeit bei Lager- und Logistik-Dienstleistungen oder der Unwiederbringlichkeit von seltenen Kunst- und Kulturgütern gewünscht. Ein solches Konzept dient auch als Kompensationsmaßnahme, wenn aus wichtigem Grund bauliche Anforderungen oder baurechtliche Auflagen nicht zu erfüllen sind.

SYSTEMANERKENNUNG UND AUSWIRKUNGEN AN KONKRETEN BAUVORHABEN

Sauerstoffreduzierungsanlagen sind vom VdS anerkannt und werden Gaslöschanlagen gleichgestellt. Eine eigene Norm für Planung und Einbau ist erarbeitet und unter der Nummer VdS 3527 veröffentlicht worden. Zwei Firmen haben ihre Systeme zertifizieren lassen und sind als Errichter anerkannt.

Sauerstoffreduzierungsanlagen bieten gegenüber den Gaslöschanlagen den Vorteil, dass Brände gar nicht erst entstehen können. Mit einer Rauchentwicklung muss nicht gerechnet werden. Dadurch kann in Räumen, die unter der Erdgleiche liegen, auf Entrauchungsanlagen verzichtet werden. So wurde beispielsweise bei einer Vielzahl von Rechenzentren in Untergeschossen auf den Einsatz solcher Entrauchungsanlagen verzichtet (z. B. bei der Kassenärztlichen Vereinigung Bayern, dem Hochhausneubau des Süddeutschen Verlag, dem Laimer Würfel oder der Druckerei Giesecke & Devrient).

Bei der Erstellung eines Schutzkonzeptes für mehrere Hochregallager konnte ebenfalls auf die Installation von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen verzichtet werden; zugleich bildete die Sauerstoffreduzierungsanlage die Kompensationsmaßnahme für die Vergrößerung der Brandabschnitte (z. B. Hochregallager der BASF in Münster, HRL der Wacker Chemie in Burghausen oder das Lager der Hugo Boss AG in Metzingen).

Der Einsatz einer Sauerstoffreduzierungsanlage kann auch zur Herabsetzung der Anforderungen an die Feuerwiderstandsklassen der Trennwände zwischen nebeneinander liegenden Räumen führen. Anstelle einer F 90-Ausführung kann durch diese Kompensationsmaßnahme eine Ausführung in F 30 ausreichend sein.

Es ist daher dringend geboten, bereits im Vorentwurfsstadium das Schutzkonzept zu erörtern. Eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Bauherrn, dem Planer und dem Brandschutzsachverständigen bietet die Möglichkeit einer Optimierung.

ZUSAMMENFASSUNG

Durch den Einsatz von Sauerstoffreduzierungsanlagen können heute auch Bereiche geschützt werden, in denen durch bauliche Gegebenheiten oder betriebliche Abläufe das gewünschte Schutzziel beim Einsatz herkömmlicher Löschanlagen bisher nur unzureichend oder gar nicht erreicht wurde. Irreparable Schäden an kulturhistorischen Gütern können verhindert werden, große Schäden durch Brand- oder Löschwassereinwirkung gehören der Vergangenheit an. Eine 100 %-Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit im EDV- und IT-Umfeld sowie im Lager- und Logistikbereich sind erreichbar.

Bisher bekannte und in der Praxis vielfach bewährte Schutzkonzepte können durch den Einsatz von Sauerstoffreduzierungsanlagen erweitert werden. Damit können auch für Anlagen, in denen mit herkömmlichen Wasser- oder Gaslöschanlagen kein ausreichender Schutz erzielt wird oder bei denen aufgrund objektspezifischer Gegebenheiten bauaufsichtliche Auflagen nicht erfüllt werden können, Brandschutzkonzepte erarbeitet und umgesetzt werden, die sowohl die baurechtlich geforderten Schutzziele als auch erhöhte Schutzinteressen des Betreibers oder des Sachversicherers sicherstellen können.

VERWENDUNG VON SPRINKLERANLAGEN IM WOHNUNGSHOCHHAUSBAU – EINE PERSPEKTIVE AUS U.K.

Gary Daniels und Karl Wallasch
Hoare Lea Fire Engineering, Manchester / London (U.K.)

ABSTRACT

Building regulations within England and Wales have changed. From April 2007 onwards sprinkler systems have to be provided within residential units in buildings with or over a height of 30 m. Research taken out in the past has proved that sprinkler will be able to reduce the number of deaths in fire accidents. This article will discuss current regulations from England, Wales and Scotland and discuss results of previous research, which was taken out to analyse effectiveness of residential sprinklers. Also, this article deals with impacts, which the design team is faced, if residential sprinklers have to be provided including a special focus on advantages and disadvantages of residential sprinkler systems.

EINFÜHRUNG

Die Annahme, dass im Vereinigten Königreich Großbritannien (bestehend aus den vier Teilstaaten England, Wales, Schottland und Nordirland) nur eine allgemein gültige Bauverordnung gilt, entspricht nicht der Realität. Während England und Wales eine gemeinsame Bauverordnung haben, gelten in Schottland und Nordirland jeweils eigene Verordnungen, vergleichbar mit den Landesbauordnungen der deutschen Bundesländer.

Die Unterschiede zwischen den für die einzelnen britischen Teilstaaten geltenden abweichenden gesetzlichen Bestimmungen resultieren aus unterschiedlichen Ausgangssituationen und Ansichten. In diesem Artikel wird vor allem auf die gesetzlichen Baubestimmungen in England und Wales eingegangen (also dem sog. Approved Document B) und weniger auf die gesetzlichen Bestimmungen in Nordirland. Das Approved Document B (AD-B) [1] ist das allgemein gültige gesetzliche Regelwerk für alle Bauwerke im Hinblick auf die brandschutztechnischen Anforderungen. Neben den Neuerungen des Approved Document B, welche ab April 2007 in England und Wales gültig sind, wird ebenfalls auf das sog. Technical Handbook (domestic) [2] verwiesen, welches geltendes Baurecht in Schottland darstellt.

Der erste Teil dieses Artikels ist eine Diskussion über Untersuchungen zu dem Nutzen, der Effektivität und dem Erfordernis selbsttätiger Löschanlagen im Wohnungsbau. Im speziellen wird dazu auf die theoretischen und praktischen Untersuchungen von BRE (Building Research Establishment – www.bre.co.uk), einer weltweit anerkannten Forschungs- und Testeinrichtung, eingegangen. Die Änderungen des Approved Document B, im speziellen der Passus, wonach ab

April 2007 Sprinklerlöschanlagen im Wohnungsbau ab einer Höhe von 30 m flächendeckend in jeder Wohnungseinheit des Gebäudes erforderlich sind, basieren hauptsächlich auf den Untersuchungen von BRE.

Im zweiten Teil werden die aus dem Einbau von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau resultierenden Auswirkungen auf den Planungsprozess diskutiert, basierend auf den bisher gesammelten Erfahrungen in England und Wales. Viele dieser Auswirkungen sind nicht länderspezifisch, sondern allgemeingültig.

GESETZLICHE BESTIMMUNGEN UND PLANUNGSANLEITUNGEN

Alle Gebäude in England und Wales müssen in Übereinstimmung mit den Building Regulations 2000 geplant und errichtet werden, während in Schottland die sog. Building (Scotland) Regulations 2004 [3] gelten. Diese gesetzlichen Grundlagen legen jedoch generelle Prinzipien (oder auch Schutzziele) für ein Gebäude fest: bei Planung und Bau eines Gebäude ist der Lärmeinfluss zu minimieren, das Risiko einer Brandentstehung ist zu minimieren und die Stand-sicherheit eines Gebäudes ist zu gewährleisten. Dies entspricht dem § 3 "Allgemeine Anforderungen" Absatz 1 der Musterbauordnung [4] aus Deutschland:

„Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.“

Die Baubestimmungen für England, Wales und Schottland, basierend auf den Building Regulations, stellen allgemein gültige Anforderungen dar, legen jedoch nicht fest, wie diese Schutzziele zu erreichen sind. Ein Auszug aus den Building Regulations 2000 betreffend der Anforderung (in England und Wales) an ausreichende Alarmierung und Fluchtmöglichkeit verdeutlicht dies:

“The building shall be designed and constructed so that there are appropriate provisions for the early warning of fire, and appropriate means of escape in the case of fire from the building to a place of safety outside the building capable of being safely and effectively used at all material times.”

Demnach soll ein Gebäude so geplant und errichtet werden, dass die Möglichkeit einer frühzeitigen Alarmierung besteht und die Flucht aus dem Gebäude in einen sicheren Bereich im Brandfall jederzeit gewährleistet ist.

Diese allgemeingültige Aussage ist weder für den Architekten noch den Fachplaner hilfreich, wenn es um die praktische Umsetzung in einem bestimmten Gebäude geht, da weder maximale Fluchtweglängen noch die Art des Alarmsystems usw. festgelegt sind. Die Regulierungen beschreiben nur qualitative Anforderungen, keine quantitativen Richtwerte, welche von dem Planungsteam verwendet werden müssten. Aus diesem Grund hat der Gesetzgeber das Approved Document B [1] eingeführt, um die qualitativen Anforderungen der

Building Regulations 2000 für England und Wales quantitativ zu belegen (z. B. maximale Fluchtweglängen, minimale Öffnungsmaße von Türen etc). In Schottland wurde im Vergleich dazu das Technical Handbook (domestic) [2] eingeführt, um die Building (Scotland) Regulations 2004 [3] mit quantitativen Anforderungen zu belegen. Zusätzlich zu den länderspezifischen Anforderungen, können die British Standards (vergleichbar den DIN-Normen in Deutschland), herausgegeben vom British Standards Institute, herangezogen werden, um detailliertere Planungsgrundlagen zu erhalten. Die British Standards gelten in allen Teilstaaten innerhalb des Vereinigten Königreiches.

Durch die Anwendung von Ingenieurmethoden im Brandschutz kann eine von dem Technical Handbook [2] oder dem Approved Document B [1] abweichende Planung durchgeführt werden. In beiden Bestimmungen wird auf die Anwendung der Ingenieurmethoden verwiesen, wobei die Architekten und Fachplaner darauf hingewiesen werden, dass diese abweichende Planung sowohl vom Bauamt als auch von der Feuerwehr genehmigt werden muss. Seit Jahren finden die Ingenieurmethoden im Brandschutz eine weite Verbreitung, vor allem im Bereich der Sonderbauten. Das Technical Handbook und das Approved Document B wiederum können nur unter (schwierigen) Umständen auf bestimmte Gebäudetypen (wie große Lagerhäuser, komplexe Shoppingcenter, Flughäfen, etc.) angewendet werden.

Im Folgenden wird erläutert, welche Vorschriften im Hinblick auf die Erfordernis von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau, unter Anwendung des Approved Document B oder des Technical Handbook, zu beachten sind.

DER EINSATZ VON SPRINKLERANLAGEN IM WOHNUNGSBAU GEMÄß DEN ANFORDERUNGEN DES APPROVED DOCUMENT B

Sprinkleranlagen zur Anwendung im Wohnungsbau sollen, im Gegensatz zu Sprinkleranlagen in Gewerbebauten, in Übereinstimmung mit dem British Standard BS 9251 (2005) [5] geplant und errichtet werden. Die Vorschriften gemäß BS EN 12845 (2004) [6] werden an späterer Stelle erläutert.

Die auf dem Approved Document B [1] basierende Vorschrift besagt, dass alle Wohneinheiten mit einer Sprinkleranlage zu versehen sind, sobald die Höhe des Gebäudes 30 m oder mehr beträgt (ausschlaggebend ist dabei die Höhe von der Feuerwehrrzufahrtsebene bis zur Oberkante des fertigen Fußbodenaufbaus des höchsten bewohnten Geschosses). Sprinkleranlagen sind dabei nur in den einzelnen Wohnungen flächendeckend einzubauen, jedoch nicht in den gemeinschaftlich genutzten Fluren oder Treppenträumen. Seit Einführung der Neuauflage des Approved Document B im April 2007 ist diese neue Vorschrift geltendes Recht in England und Wales. In früheren Ausgaben des Approved Document B waren weder Sprinkleranlagen in Wohnungsbauten vorgeschrieben, noch als Option für das Planungsteam benannt.

Zusätzlich zu der Forderung nach dem Einbau von Sprinkleranlagen in Gebäuden mit einer Höhe von 30 m und mehr, wird ebenfalls der Einbau von Sprinkleranlagen als eine Option genannt, falls es sich um eine mehrgeschossige Wohneinheit handelt. Falls keine Sprinkleranlage vorgesehen ist, müsste ansonsten ein zweiter Rettungsweg sichergestellt werden. Dies bedeutet, dass in jeder Etage mindestens eine Fluchtwegmöglichkeit sowie ein geschützter Treppenraum vorhanden sein sollte. In Abbildung 1 ist die grundsätzliche Gestaltungsmöglichkeit von mehrgeschossigen Wohneinheiten gemäß dem Approved Document B dargestellt, mit einem zweiten Fluchtweg im zweiten Obergeschoss.

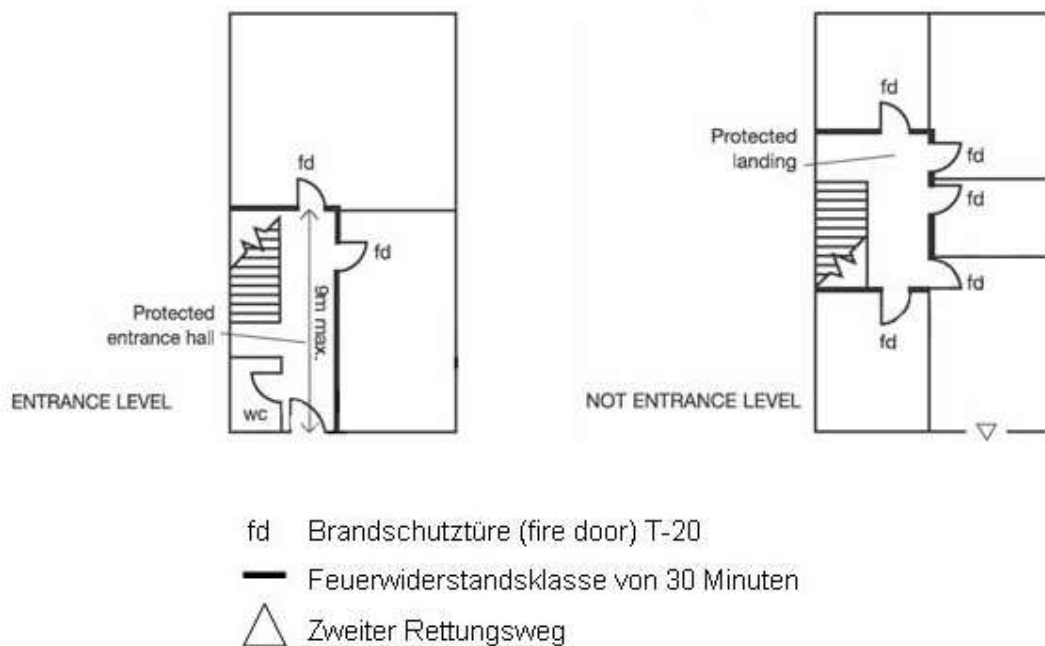


Bild 1 Typische Grundrissgestaltung von zweigeschossigen Wohnungen gemäß Approved Document B

Bei Einsatz einer Sprinkleranlage müssen die Treppenraumwände mit einer Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten ausgeführt werden, die entsprechenden Treppenraumtüren (in Abbildung mit *fd* gekennzeichnet) der Feuerwiderstandsklasse T-20 entsprechen. Diese Anforderung gilt unabhängig von der Anzahl der zur Wohnung gehörenden Räume, ein zweiter Fluchtweg muss jedoch nicht zwingend vorhanden sein. Diese Prinzipien sind denen der Vorschrift für Wohnungsbau aus dem NFPA Life Safety Code [7] vergleichbar.

DER EINSATZ VON SPRINKLERANLAGEN IM WOHNUNGSBAU GEMÄß DEN ANFORDERUNGEN DES TECHNICAL HANDBOOK: DOMESTIC

Gemäß dem Technical Handbook [2] müssen alle Wohnungseinheiten in Gebäuden mit einer Höhe über 18 m (wiederum ist dabei die Höhe von der Feuerwehruzufahrtsebene bis zur Höhe des fertigen Fußbodenaufbaus des obersten bewohnten Geschosses ausschlaggebend) mit Sprinkleranlagen versehen werden. Entsprechend dem Technical Handbook werden Sprinkleranlagen nur in den Wohnungen vorgesehen und nicht in den öffentlichen Fluren oder Treppenhäusern. Im Gegensatz zum Approved Document B wird jedoch im Technical Handbook erläutert, warum diese Teile des Gebäudes nicht mit Sprinklern versehen werden müssen: man geht im Vereinigten Königreich davon aus, dass ein Wohnungsbrand zunächst innerhalb der Wohnung verbleibt und deshalb zuerst nur die Bewohner der direkt betroffenen Wohnungseinheit evakuiert werden. Benachbarte Bewohner werden nicht automatisch, sondern nur auf Grund expliziter Aufforderung durch die Feuerwehreinsetzkkräfte zur Evakuierung aufgefordert. Das Konzept der sog. stay-in-place-Strategie unterscheidet sich damit von anderen weltweit angewendeten Konzepten. Auf diese unterschiedlichen Ansätze kann innerhalb dieses Artikels nicht eingegangen werden, auf die Arbeiten von Proulx [8] und Brennan [9] wird verwiesen.

Ausgehend von den Bestimmungen des Approved Document B und des Technical Handbook betreffend der Forderung nach Sprinkleranlagen in Wohnungsbauten, ist weiterhin eine Feuerwiderstandsdauer für die Wände zwischen zwei benachbarten Wohnungseinheiten von mindestens 60 Minuten gefordert. Ebenso müssen Wände zwischen einer Wohnungseinheit und dem öffentlich genutzten (notwendigen) Flur derselben Feuerwiderstandsklasse entsprechen.

In dem Technical Handbook werden zusätzlich die Anforderungen an die Durchflussgeschwindigkeit in Sprinkleranlagen und an den Typ der Sprinklerköpfe definiert.

Planungsdetails für Sprinkleranlagen im Wohnungsbau

Durch Einsatz einer Sprinkleranlage (eine korrekte Planung und Ausführung vorausgesetzt) kann ein Brand frühzeitig detektiert und bereits in der Brandentstehungsphase bekämpft werden. Zur frühzeitigen Alarmierung der Wohnungsnutzer und Einleitung einer Entfluchtung in einem frühen Brandstadium sind zusätzlich automatische Brandmelder (Rauchmelder) erforderlich, welche im Vereinigten Königreich im Bereich des Wohnungsbaues stets gefordert sind. Eine aktivierte Sprinkleranlage wirkt der Entstehung von Brandgasen entgegen, und die Produktion von Brandrauch wird einschränkt. Dadurch steht ein längerer Zeitraum zur Entfluchtung zur Verfügung. Somit nehmen Sprinkleranlagen eine bedeutende Stellung im vorbeugenden Brandschutz ein.

Innerhalb des Vereinigten Königreiches müssen alle Sprinkleranlagen zunächst gemäß des BS 9251 [5] geplant werden. In der Regel wird angenommen, dass ein typischer Wohnungsbrand auf Grund des hohen Feuerwiderstandes der Trennwände zwischen den einzelnen Wohnungseinheiten räumlich auf die entsprechende Wohnungseinheit beschränkt bleibt, im Gegensatz zu Bränden und ihrer möglichen Ausbreitung in z. B. Bürogebäuden oder Industriebauten. Daher wird in der Vorschrift des BS 9251 auf die Spezifikation von Wohnungen Bezug genommen.

Der britische Standard BS 9251 enthält Informationen über Planung, Installation, Löschwasserversorgung, Wartungsarbeiten und Prüfung von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau.

Typische Sprinkleranlagen im Wohnungsbau, welche nach der o. g. Vorschrift geplant und ausgeführt werden, bestehen aus einer Löschwasserversorgung, einem Rückflussverhinderer, einem Absperrventil, einer automatischen Meldeeinrichtung, sowie Rohrleitungen und Sprinklerköpfen. Die Positionen der Sprinklerköpfe werden auf Grund ihrer Wirkungsweise festgelegt, wobei der Typ von Sprinklerkopf ebenfalls je nach Anforderung unterschiedlich bestimmt werden kann.

Wie bei den meisten üblichen Sprinkleranlagen (solche, die nicht für den Wohnungsbau geeignet sind) werden die Sprinklerköpfe nach einer bestimmten Reaktionszeit ausgelöst, jedoch nur die Sprinklerköpfe aktiviert, welche direkt durch heiße Rauchgase ausgelöst werden. Damit wird sicher gestellt, dass die Sprinklerköpfe in der Nähe des Brandherdes auf den Brand reagieren und nur dort Löschwasser austritt, wo es gebraucht wird.

In den Bestimmungen wird grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Sprinklertypen unterschieden: Haus- und Wohnungssprinkleranlagen. Eine Haussprinkleranlage ist eher geeignet für ein Einfamilienhaus, während eine Wohnungssprinkleranlage für Einheiten im Wohnungsbau mit den folgenden Randbedingungen geeignet ist:

- Wohnungsbauten, die eine Höhe von 20 m nicht überschreiten,
- Wohnungsbauten mit einer Grundfläche von nicht mehr als 180 m² wie Apartments, Wohnungsbauten mit einer Vielzahl von kleinen Wohnungseinheiten, Häuserwohnblöcke, Alten- und Pflegeheime etc.

Siehe dazu auch die Definition (3.17 Residential Occupancy) aus dem BS 9251:

“Occupancy for multiple occupation not exceeding 20 m in height, with a maximum individual room size of 180 m², such as apartments, residential homes, houses of multiple occupancy (HMOs), blocks of flats, boarding houses, aged persons homes, nursing homes, residential rehabilitation accommodation and dormitories.”

In der Verordnung des BS 9251 wird die maximale Höhe von Wohnungsbauten, in denen Sprinkleranlagen vorgesehen werden sollten, auf 20 m begrenzt. Falls die Bauhöhe von 20 m überschritten wird, empfiehlt der Gesetzgeber die Baubehörden zu kontaktieren und verweist auf die aktuelle Arbeit innerhalb des Komitees der British Standards, welches sich zur Zeit mit dieser Problematik beschäftigt. Folgender Originaltext kann der Richtlinie entnommen werden:

"Where multiple occupation buildings exceed 20 m in height, special circumstances need to be considered and the authority having jurisdiction should be consulted. This matter is receiving the attention of the relevant British Standards Institute committee with a view to issuing an amendment." [Note 1 zu 3.17, BS 9251]

In der neuen Ausgabe des Approved Document B (Edition 2006) wird folgende Anmerkung zu der Problematik der Verwendung von Sprinkleranlagen in Gebäuden mit einer Höhe über 20 m in Bezug auf den BS 9251 gemacht: die Vorschrift aus dem BS 9251 betreffend Limitierung der Verwendung von Sprinkleranlagen auf eine Gebäudehöhe bis zu 20 m soll, trotz des Hinweises auf das British Standard Institutes, ignoriert werden.

Basierend auf den Festlegungen aus dem British Standard sind für die Wasserversorgung der Sprinkleranlagen folgende Möglichkeiten gegeben:

- a) Wasserversorgungsnetz (mains water supply),
- b) Druckbehälter (pressure tank),
- c) automatische Löschwasserpumpe, welche auf einen Wasserspeicher zurückgreift (automatic fire pump drawing from a stored water facility),
- d) automatische Löschwasserpumpe, welche auf ein Wasserversorgungsnetz zurückgreift (automatic fire pump drawing water from a mains water supply),
- e) selbsttätige Feuerlöschanlagen, deren Wirkungsweise auf Schwerkraft beruhen (gravity fed stored water system).

Die in dem Vereinigten Königreich gebräuchlichste Wasserversorgung ist die einer automatischen Löschwasserpumpe, welche aus einem Wasserauffangbecken gespeist wird, da die meisten Gegenden keine ausreichende Löschwasserversorgung aus dem Wasserleitungsnetz gewährleisten können.

Die Dimensionierung der Wasserversorgung basiert auf den folgenden Gesichtspunkten:

- ein Wasserdurchfluss von 60 l/min, falls ein einzelner Sprinklerkopf aktiviert ist oder
- ein Wasserdurchfluss von 42 l/min für jeden aktivierten Sprinklerkopf bei gleichzeitiger Aktivierung von maximal vier Sprinklerköpfen in demselben Raum.

Normalerweise wird ein gemeinsames Wasserauffangbecken sowohl für Sprinkleranlagen in einem Wohnhaus als auch in einem Wohnungsblock vorgesehen. Das Volumen des Auffangbeckens sollte dabei mit einem Sicherheitsfaktor von 1,1 dimensioniert werden. Für die Verwendung in einem Mehrfamilienhaus sollte sich das Wasserauffangbecken mindestens ein Geschoss über den installierten Sprinklerköpfen befinden. Bezüglich der Dimensionierung für Wohngebäude gilt folgende Regelung zur Bemessung der Wassermengen: die benötigte Wassermenge muss für einen Zeitraum von bis zu 30 Minuten bei maximaler Anzahl von gleichzeitig aktiven Sprinklerköpfen (jedoch nicht mehr als vier aktive Sprinklerköpfe in einem Raum) dimensioniert werden.

UNTERSUCHUNGEN ZUR EFFEKTIVITÄT VON SPRINKLERN IM WOHNUNGSBAU

Die Entscheidung der schottischen Regierung, die Verwendung von Sprinkleranlagen in Gebäuden mit einer Höhe über 18 m im Jahr 2004 vorzuschreiben, beruht auf keiner speziellen Analyse über Einsatz und Effektivität von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau. Vielmehr beruht diese Entscheidung lediglich auf der Tatsache, dass im direkten Vergleich zu den anderen Teilstaaten des Vereinigten Königreiches eine durch Brände verursachte höhere Sterblichkeitsrate in Wohngebäuden innerhalb Schottlands zu verzeichnen war.

Damit war Schottland der erste Staat weltweit, in dem die Verwendung von Sprinkleranlagen in jedem Wohngebäude vorgeschrieben wurde.

Dagegen wurde in England und Wales von dem für das Bauwesen verantwortlichen Reglementierungs-Institut (dem sog. Department for Communities and Local Government) ein Auftrag an das Building Research Institute (BRE) vergeben, eine Analyse zur möglichen Verwendung und der Effektivität von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau anzufertigen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung ist der BRE Bericht "Effectiveness of Sprinklers in Residential Buildings" ("Effektivität von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau") [10], welcher zu Beginn des Jahres 2004 veröffentlicht wurde und seitdem zum kostenlosen Download zur Verfügung steht. Kontext ist eine Eingrenzung der Untersuchung, sowohl eine Beispielstudie über bisher angestellte Untersuchungen, Ergebnisse von Realbränden die zum Zwecke der Untersuchung durchgeführt worden sind, und einer Wirtschaftlichkeitsstudie. Da die Dokumentation der von BRE durchgeführten Untersuchung 737 Seiten umfasst, werden innerhalb dieses Beitrages nur einige wesentliche Ergebnisse erläutert.

Realbrandtests von BRE

Mit Hilfe von Realbrandszenarien, unter Annahme realistischer Brandlasten aus Wohngebäuden, sollte die Effektivität von Sprinkleranlagen im Hinblick auf Per-

sonensicherheit und den Brandverlauf im Entstehungsbrandraum getestet werden. Die Effektivität wurde über die folgenden Faktoren beurteilt:

- Toxizität,
- Temperatur und
- Verhältnisse der Sichtweiten.

Insgesamt wurden in der Realbrandtestphase acht Wohnzimmerbrände (mit und ohne Einsatz von Sprinkleranlagen) in einem typischen zweigeschossigen Gebäude durchgeführt. Um den Einfluss des Wohnzimmertyps festzustellen, wurden die Tests an einem geschlossenen Wohnzimmer (der Standard-Wohnzimmertyp) und an einem Wohnzimmer mit offenem Grundriss durchgeführt. Zusätzlich wurden insgesamt 29 weitere Brände untersucht in welchen sowohl der Brandraum als auch der benachbarte Flurabschnitt betrachtet worden sind; wiederum mit und ohne Einsatz von Sprinkleranlagen.

Folgende Einteilung der Brandszenarien wurden von BRE festgelegt:

- a) Kerzen- und Fernseherbrand im Wohnzimmer,
- b) Feuer unter einem Tisch direkt unter einem Sprinklerkopf im Wohnzimmer,
- c) Bettdeckenbrand im Schlafzimmer,
- d) Sofabrand im Wohnzimmer und
- e) Offene Flamme in einer Ölwanne in der Küche.

Auch wurden die Randbedingungen der jeweiligen Bränden, z. B. offene bzw. geschlossene Tür zum Brandraum, Größe des Brandraumes, verwendeter Sprinklertyp, Anordnung der Sprinklerköpfe im Brandraum, Wasserdurchflussrate etc., untersucht, um deren Einfluss auf die Effektivität von Sprinklern zu ermitteln. Die wichtigsten Ergebnisse dieses Projektes sind im Folgenden zusammengefasst.

Für die Mehrheit aller Brandszenarien ergaben die durchgeführten Tests, dass die Sprinkleranlagen den Brandverlauf stark beeinflussen und somit mögliche Personen- und Gebäudeschäden verringern. Sprinkleranlagen können dennoch nicht das gesamte Gefahrenpotential, welches von einem Wohnungsbrand ausgeht, beseitigen. Auch bei einer aktiven Sprinkleranlage besteht weiter ein Risiko eines sich langsam entwickelnden Brandes bzw. eines abgeschirmten Brandes (z. B. unter einem Tisch).

Rauchmelder, welche in dem Brandraum installiert sind, können meistens innerhalb der ersten bis zweiten Brandminute einen Brand detektieren. Damit wird der Brand bereits in der Hälfte der Zeit, in welcher die Sprinkleranlagen ausgelöst wird, detektiert. Personen können somit bereits zu einem Zeitpunkt alarmiert werden, wo eine Selbstrettung noch möglich ist. Um ausreichende Bedingungen für die Flucht auch in angrenzenden Bereichen (andere Zimmer, Flur)

zu gewährleisten, sollten Türen zum Brandraum geschlossen werden. Die Experimente ergaben, dass eine geschlossene Tür zum Brandraum das effektivste Mittel ist, um eine Ausbreitung von Feuer und Rauch in andere Bereiche der Wohnung über einen ausreichend langen Zeitraum zu behindern.

Wirtschaftlichkeitsstudie von BRE

Ein weiteres Ziel der von BRE durchgeführten Untersuchung war die Analyse von Statistiken zur Effektivität von Sprinkleranlagen im Hinblick auf Reduzierung der Sterberate und der Gebäudeschäden sowie eine Risikobewertung, um möglichen Nutzen für den Wohnungsbau im Vereinigten Königreich festzustellen.

Die Kosten-Nutzen-Analyse von BRE ergab, dass der Einsatz von Sprinkleranlagen vor allem im Wohnungshochhausbau wirtschaftlich ist, im speziellen für Wohnungsbauten mit elf und mehr Geschossen (also ab einer Bauhöhe von ca. 30 m). Sprinkleranlagen in Wohnungsbauten mit einer geringeren Geschosshöhe sind dagegen unrentabel.

In dem BRE Bericht wird empfohlen, dass die Kosten für die Installation und die Unterhaltung von Sprinkleranlagen gering gehalten werden müssten und / oder eine Art Kompensationsmaßnahme vorgesehen werden sollte, damit für die meisten Wohnhäuser die Verwendung von Sprinkleranlagen kostengünstig ausfällt. Erwähnt wird ebenfalls, dass sich die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsstudie mit Erfahrungen aus anderen Ländern decken: Sprinkleranlagen sind nur rentabel, wenn die Installations- und Unterhaltungskosten gering sind oder im Ausgleich anderweitige Kosten eingespart werden können.

Der Gebäudehöhe kommt in den Ergebnissen von BRE eine wesentliche Rolle zu. Statistiken ergaben, dass das jährliche Risiko eines Wohnungsbrandes in unterschiedlichen Wohnungstypen (z. B. Einpersonen-, Mehrpersonenhaushalt, Apartment, etc.) relativ gleich ist, wogegen das Risiko bei unterschiedlichen Gebäudehöhen variiert.

Mit zunehmender Gebäudehöhe nimmt zwar insgesamt die Häufigkeit der Brandentstehung in einer der Wohnungseinheiten zu, jedoch hängt das Risiko von Personenschäden bezeichnenderweise nicht mit der Gebäudehöhe zusammen.

Die Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit zwischen der Gebäudehöhe und der Sterberate durch Brände in unterschiedlichen Wohnungstypen, während in Abbildung 3 die Abhängigkeit zwischen der Gebäudehöhe und der Häufigkeit von Bränden dargestellt ist. Beide Darstellungen zeigen zahlreiche Brände im Erdgeschoss, verbunden mit einer hohen Personenschadensrate.

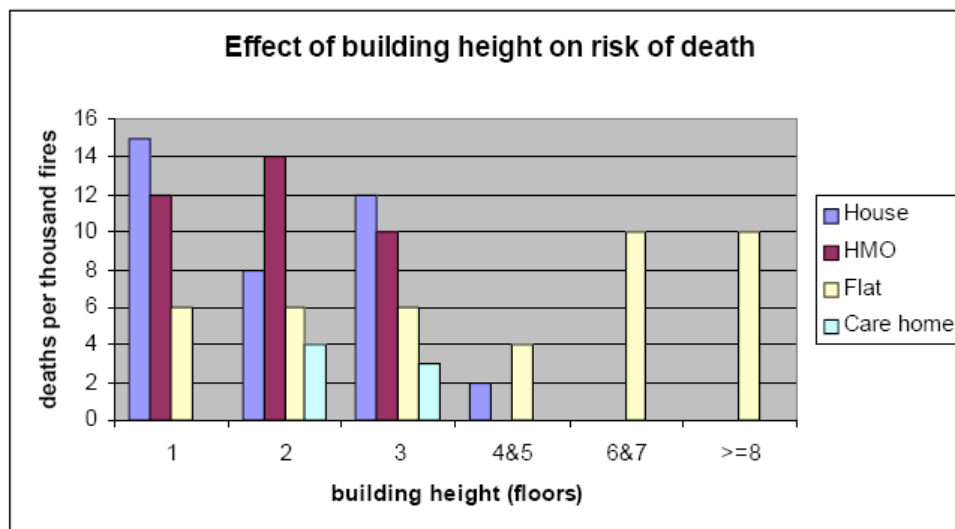


Bild 2 Einfluss der Gebäudehöhe auf die Brandopferquote (aus dem BRE Bericht 204505)

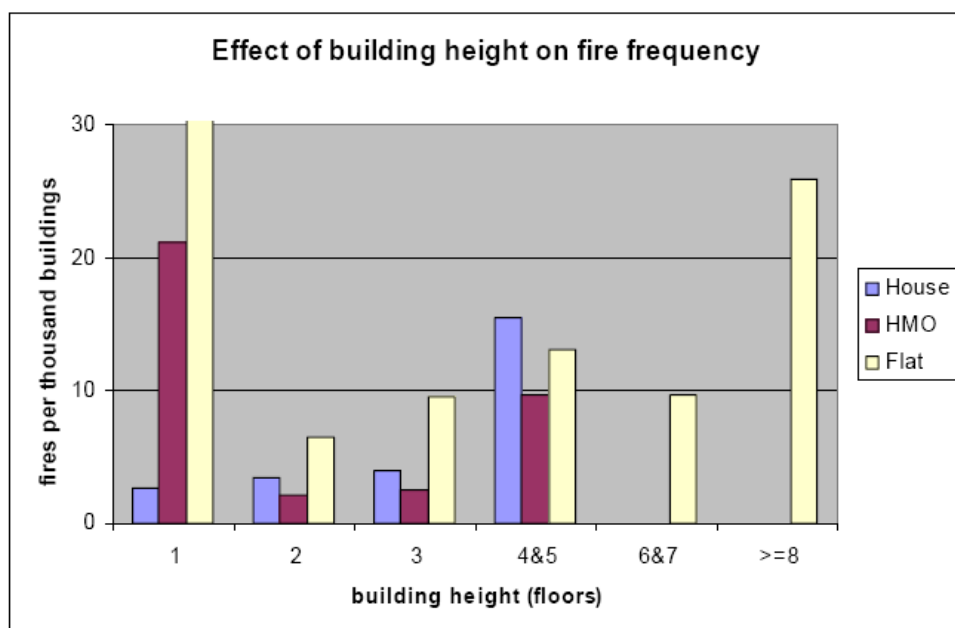


Bild 3 Einfluss der Gebäudehöhe auf die Häufigkeit von auftretenden Bränden (aus dem BRE Bericht 204505)

Dabei bedeuten:

- *House* = Einfamilienhaus
- *HMO* (Houses of multiple occupancy) = Wohnheime in denen die Bewohner zwar einzelne Zimmer bewohnen, aber Einrichtungen wie Küche, Bad, Gemeinschaftsraum etc. gemeinschaftlich genutzt werden können
- *Flat* = Wohnung bzw. Apartment
- *Care home* = Betreutes Wohnen, Pflegeheim

Der BRE Bericht erwähnt zwar die hohe Anzahl von Bränden im Erdgeschoß, geht jedoch nicht näher auf die Ursache ein. Die Autoren verweisen diesbezüglich auf Untersuchungen von Beamten der Feuerwehr London (London Fire Brigade) aus den Jahren 1996 bis 2000 [11]. Diese Untersuchungen ergaben, dass 32% der Personen, welche durch Wohnungsbrände starben, entweder physische und/oder psychische Behinderungen hatten. Insgesamt 21% dieser Personen waren durch physische Behinderungen während des Fluchtvorgangs eingeschränkt (z. B. Arthritis, hohes Alter der Personen, etc.). Die Mehrheit der Brandopfer waren Pensionäre und Rentner mit 54 %, gefolgt von der Personenklasse der Arbeitslosen mit 14 %. Dies könnte einer der Gründe sein, dass eine Vielzahl von Bränden im Erdgeschoß stattfinden. Ältere und/oder körperlich eingeschränkte Personen werden eher im Erdgeschoss untergebracht, um eine Benutzung der Treppen bzw. Personenaufzüge zu vermeiden.

Die Studie zeigt ebenfalls, dass häufiger in Apartments als in Wohnhäusern mit Bränden zu rechnen ist. Die Rate von Todesopfern für Brände in Apartments wird doppelt so hoch angegeben. Dabei ist aber weniger der Gebäudetyp ausschlaggebend als eher die sozialen und wirtschaftlichen Verhältnisse der Bewohner.

Soziale und wirtschaftliche Faktoren nehmen in der Statistik der Todesopfer, hervorgerufen durch Wohnungshochhausbrände, eine bedeutende Stellung ein. Wohnungsbauprojekte innerhalb des Vereinigten Königreiches waren in der Vergangenheit mehrheitlich staatliche Projekte und vornehmlich für sozial schwächere Personen gedacht. Derzeit werden jedoch die Mehrzahl von Wohnungshochhausprojekten von privaten Investoren finanziert, wobei die Anzahl der Wohneinheiten und damit die Gebäudehöhe durch finanzielle Faktoren bestimmt werden.

Es wird an dieser Stelle auf die von Brennan [9] durchgeführte Untersuchung verwiesen, in der auf Opfer und Überlebende von Bränden in Wohnungsbauten eingegangen wird. Dabei stellte sich heraus, dass gerade die Bewohner der vom Brand betroffenen Wohnung eine entscheidende Rolle im Brandfall spielen und das Risiko von möglichen Personenschäden eben nicht vom Gebäudetyp abhängig ist. Diese Erkenntnis wird ebenfalls im BRE Bericht angesprochen.

In dem Bericht von BRE werden auch mögliche Ausgleichsmaßnahmen bei Verwendung von Sprinkleranlagen erwähnt. Diese Ausgleichsmaßnahmen bieten dem Planungsteam die Möglichkeit, anderweitige Kosten einzusparen und somit den Einsatz von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau rentabler zu gestalten. Im folgenden Abschnitt werden diese Maßnahmen dargestellt.

AUSGLEICHSMABNAHMEN UNTER VERWENDUNG VON SPRINKLERANLAGEN

Sowohl in dem Approved Document B als auch in der Richtlinie des NFPA (NFPA Life Safety Code) wird erwähnt, dass die Forderung nach einem zweiten Rettungsweg entfällt, wenn eine Sprinkleranlage flächendeckend eingebaut wird.

Der NFPA Life Safety Code beinhaltet die Forderung eines zweiten Rettungsweges für jede Wohnung (entweder einstöckige Apartments oder auch mehrgeschossige Wohnungen). Dabei werden keine Anforderungen an den inneren Aufbau des Apartments gestellt (Feuerwiderstandsklasse von Wänden, Anforderungen an Türen etc.), wenn in den Wohnungen Sprinkleranlagen installiert werden. Somit kann bei Vorhandensein einer Sprinkleranlage ein offener Grundriss geplant werden, z. B. mit einem innen liegenden Schlafzimmer, welches nur über das Wohnzimmer begangen werden kann, und mit einer offenen inneren Verbindungstreppe. In Abbildung 4 und 5 ist ein Beispiel eines solchen offenen Grundrisses dargestellt.

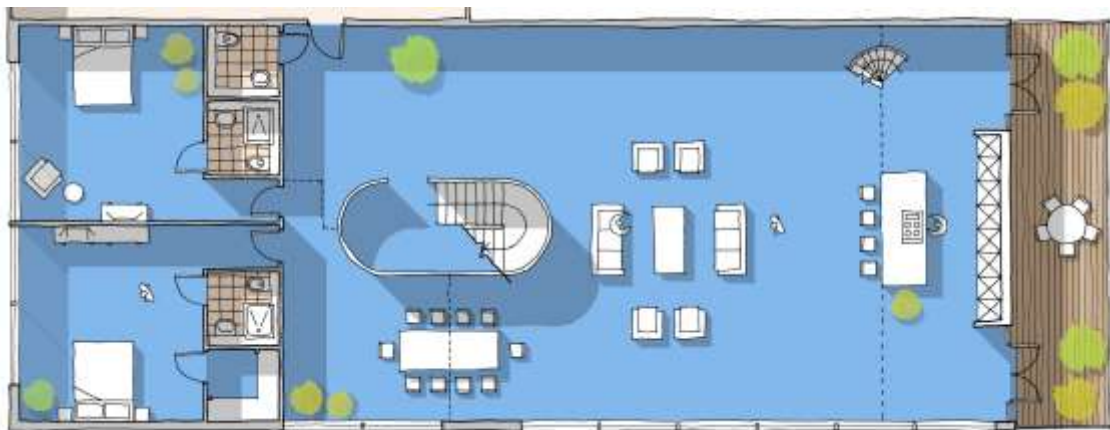


Bild 4 Beispiel einer offenen Grundrissplanung – Erdgeschoss (Broadway Malyan Architects, London)

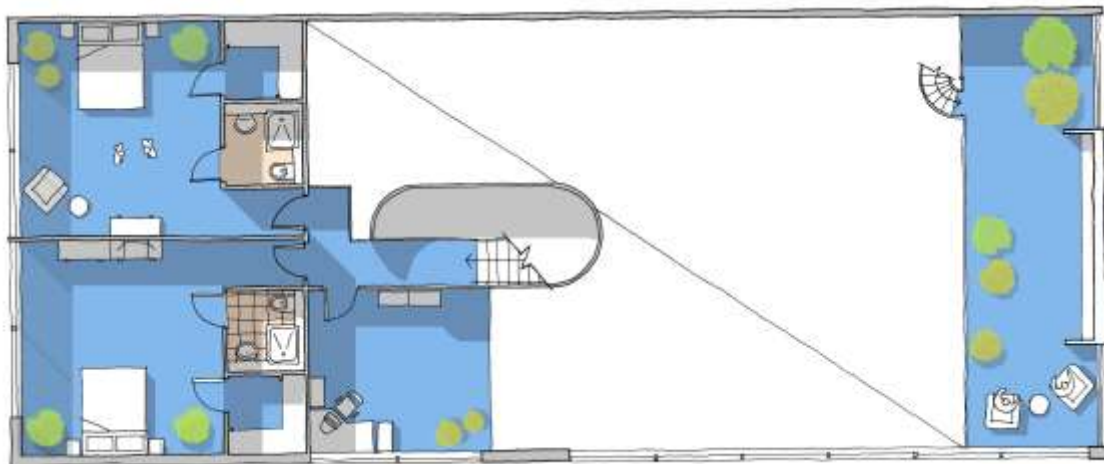


Bild 5 Beispiel einer offenen Grundrissplanung – Erstes Obergeschoss (Broadway Malyan Architects, London)

Die Planung offener Grundrisse (wie sie zum Teil aus amerikanischen Fernsehsendungen bekannt sind) ist derzeit nicht konform mit den gesetzlichen Bestimmungen im Vereinigten Königreich. Die Regelungen sehen eine geschützte Eingangshalle vor, von der alle Zimmer zugänglich sind, ebenso wie ein geschütztes inneres Treppenhaus. Die Wände der Eingangshalle und des inneren Treppenhauses müssen eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 30 Minuten aufweisen, zusätzlich müssen Rauchmelder in der Eingangshalle installiert sein. Gemäß Approved Document B müssen Sprinkleranlagen ab einer Bauhöhe von 30 m flächendeckend in einer Wohnungseinheit installiert werden. Ist eine Sprinkleranlage vorgesehen, sollte jedoch die Planung eines offenen Grundrisses möglich sein, ohne eingehende Untersuchungen unter der Verwendung von CFD (Computational Fluid Dynamic) Simulationen zu fordern. Dadurch wird zum einen dem Architekten die Möglichkeit der freien Raumgestaltung gegeben, und zum anderen dem Nutzer das Gefühl, großer freie Räume zu erleben.

Ein weiterer Vorteil ist die Reduzierung von Bauteilanforderungen hinsichtlich des Feuerwiderstandes. Sprinkleranlagen nehmen Einfluss auf den Brandverlauf und behindern die Brandausbreitung. Die Bestimmungen aus dem Approved Document B fordern eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 60 Minuten für die Trennwände zwischen Wohnungseinheiten, falls Sprinkleranlagen verwendet werden. Weitere Reduzierungen sind möglich, falls ein Nachweis über die Eurocodes geführt wird oder eine ganzheitliche Betrachtung mittels der Ingenieurmethoden des Brandschutzes erfolgt.

Vor der Einführung des Approved Document B (Edition 2006) wurde die zusätzliche Verwendung von Sprinkleranlagen in Wohngebäuden als Bestandteil des Brandschutzkonzeptes vorgesehen, um im Zusammenhang mit anderen Vorkehrungen (wie mechanische Belüftung von gemeinschaftlich genutzten Fluren), trotz Abweichung von den Bauvorschriften, die Personen- und Gebäudesicherheit zu gewährleisten. Beispielsweise wurde von Hoare Lea Fire Engineering bei mehreren Bauobjekten durch den Einsatz von Sprinkleranlagen in den Wohnungseinheiten und die Installation von mechanischen Lüftungsanlagen in den gemeinschaftlich genutzten Flurbereichen die Verlängerung der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen maximalen Stichflurlänge von 7,5 m auf 20 m gerechtfertigt. Dabei wurde mit Hilfe von CFD-Simulationen demonstriert, dass die Bedingungen in dem mechanisch belüfteten Flur (bei einer Gesamtflurlänge von über 40 m) bei Betrieb einer mechanischen Lüftungsanlage während der Flucht- und aktiven Brandbekämpfungsphase erheblich besser sind als bei Verwendung einer natürlichen Belüftungsanlage gemäß der Vorschrift des Approved Document B und Einhaltung der maximalen Stichflurlänge von 7,5 m.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden Forschungsergebnisse zur Verwendung von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau analysiert. Bisherige Untersuchungen ergaben, dass Sprinkler-

anlagen einen wirksamen Einfluss hinsichtlich der Verzögerung der Brandausbreitung haben und somit ein wichtiger Bestandteil des Brandschutzkonzeptes sind. Studien und Erfahrungen zeigen weiter, dass die Verwendung von Sprinkleranlagen im Wohnungsbau zur Minderung des Personen- und Sachschadens beiträgt.

Verschiedene Kosten-Nutzen-Analysen ergeben, dass der Einbau von Sprinkleranlagen in Gebäuden ab einer Bauhöhe von 30 m rentabel sein kann. Mit Einführung des Approved Document B Edition 2006 (gültig ab April 2007) in England und Wales ist der Einbau von Sprinkleranlagen bei Gebäuden ab einer Bauhöhe von 30 m flächendeckend in allen Wohnungen vorgeschrieben. Der Gesetzgeber verlangt somit Sprinkleranlagen in Wohngebäuden, jedoch deren positiven Einfluss auf das gesamte Brandschutzkonzept zu honorieren und dem Planungsteam eine freiere Grundrissgestaltung zu ermöglichen.

Zurzeit werden im gesamten Vereinigten Königreich vermehrt Wohnungshochhäuser geplant und bereits ausgeführt, wobei Bauhöhen von bis zu 250 m erreicht werden. Bei diesen Gebäuden ist der Einbau von Sprinkleranlagen nicht nur eine Frage der Rentabilität, sondern auch der Gewährleistung eines ausreichend hohen Niveaus der Personen- und Gebäudesicherheit. Zum Ausgleich sollten Architekten (und das Planungsteam) eine größere Freiheit in der modernen Grundrissgestaltung erhalten, wie beispielsweise die Planung offener Grundrisse. Der daraus resultierende architektonische Gewinn könnte dazu führen, dass Investoren nicht nur Sprinkleranlagen in Gebäude ab einer Bauhöhe von 30 m und mehr einbauen, wie derzeit vom Gesetzgeber gefordert, sondern auch bereits in Gebäuden mit geringeren Bauhöhen. Damit könnten auch in diesen Wohngebäuden die durch Wohnungsbrände hervorgerufenen Risiken für Personen- und Sachschaden verringert werden.

LITERATUR

- [1] The Building Regulations 2000, Fire Safety, Approved Document B, Volume 2 – Buildings other than Dwelling Houses. 2007. Department for Communities and Local Government. Edition 2006 (Download: http://www.planningportal.gov.uk/uploads/br/BR_App_Doc_B_v2.pdf)
- [2] The Scottish Building Regulations: Technical Handbook: Domestic
- [3] The Building (Scotland) Regulations 2004
- [4] Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002
- [5] British Standard BS 9251: Sprinkler systems for residential and domestic occupancies – code of practice. 2005. British Standards Institute

- [6] British Standard BS EN 12845: Fixed fire-fighting systems. Automatic sprinkler systems. Design, installation and maintenance. 2004. British Standards Institute
- [7] R. Cote. NFPA 101 - Life Safety Code. National Fire Protection Association. 2006
- [8] G. Proulx, Occupant Behaviour and Evacuation, NRC Report NRCC-44983 (1997)
- [9] P. Brennan, Victims and survivors in fatal residential fires. Fire and Materials Journal Issue 23, 1999 Brennan, P., Victims and Survivors in Fatal Residential Building Fires in Human Behaviour in Fire: Proceedings of the 1st International Symposium, Boston, London: Interscience Communications
- [10] C. Williams, J. Fraser-Mitchell, S. Campbell, R. Harrison. Effectiveness of Sprinklers in Residential Premises, BRE Project Report 204505. 2004. Building Research Establishment. (Download von der BRE Webseite: <http://www.bre.co.uk/fire/page.jsp?id=422>)
- [11] P.G. Holden, P.F. Nolan, J. Golt. An analysis of fatal unintentional dwelling fires investigated by London Fire Brigade between 1996 and 2000. Fire Safety Journal 38. 2003

SITZUNG 4

SCHUTZZIELE IM VORBEUGENDEN BRANDSCHUTZ

Sitzungsleitung: G. Spangardt, Köln

BAUORDNUNGSRECHTLICHE SCHUTZZIELE DES VORBEUGENDEN BRANDSCHUTZES

Friedrich Mehl

Landesstelle für Bautechnik im Regierungspräsidium Leipzig, Leipzig

EINLEITUNG

Die Erfahrung der letzten Jahre lehrt, dass es offensichtlich angebracht ist, sich mit den Schutzzielen aus bauordnungsrechtlicher Sicht zum baulichen Brandschutz parallel zur fortgeschrittenen technischen Entwicklung und zum fortgeschrittenen Stand der Wissenschaft – hier sei insbesondere auf das Stichwort „Ingenieurmethoden im baulichen Brandschutz“ verwiesen und wie der Stand sich u. a. im vfdb-Leitfaden [1] manifestiert – zu beschäftigen, gleichwohl die Schutzziele in weitgehend unveränderten Ausdrucksweise in der Musterbauordnung (MBO) [2] seit geraumer Zeit und in allgemeingültiger Form ihren Niederschlag gefunden haben.

Die MBO [2] stellt in Ausfüllung der allgemeinen bauaufsichtlichen Anforderung nach § 3 Abs. 1 dazu in § 14 zum Brandschutz fest und postuliert damit gleichsam das bzw. die Schutzziele zum Brandschutz:

„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.“

Neu an der Fassung gegenüber der „Aussage“ in der MBO von 1997 (siehe dort § 17 Abs. 1) ist lediglich, dass die allgemeinen Schutzzielvorgaben in ihren vier Elementen des Brandschutzes (Verhinderung der Brandentstehung, Behinderung der Brandausbreitung, Gewährleistung einer gefahrenarmen Personenrettung und gefahrenarmen effektiven Brandbekämpfung durch die Feuerwehr) auch auf bestehende bauliche Anlagen (wie Gebäude) als Anforderungen mit abgestellt werden, so dass es bzgl. der Anforderung bezogen auf bestehende bauliche Anlagen eines eigenen Paragraphen zur Postulierung nicht bedarf

(siehe hierzu die seinerzeitige Anforderung nach § 83 – Bestehende bauliche Anlagen – MBO in der Fassung Dezember 1997).

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass diese Grundsatzanforderungen nach § 14 MBO zum Brandschutz im Kontext stehen zu den wesentlichen Anforderungen zum Brandschutz nach dem europäisch harmonisierten Grundlagendokument [3] zur so genannten „Wesentlichen Anforderung Nr. 2 – Brandschutz“.

Dort lautet die Aussage unter Ziffer 1.1 Abs. 3:

„Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand

- die Tragfähigkeit des Bauwerkes während eines bestimmten Zeitraumes erhalten bleibt*
- die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerkes begrenzt wird, die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird,*
- die Bewohner das Gebäude unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können*
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.“*

Es ist auch keine Neuigkeit, wenn hier „ergänzend“ festgestellt wird, dass aus der Grundanforderung nach § 14 MBO in Verbindung mit Einzelvorschriften zum Brandschutz nach der MBO und den eingeführten Technischen Baubestimmungen nach Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen (M LTB) [4] – man denke hier beispielsweise an die Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (LÖRüRL, Fassung August 1992), gleichwohl auch andere eingeführte Technische Baubestimmungen über den Personenschutz hinausgehende Anforderungen enthalten – und den bauaufsichtlichen Richtlinien als Anhänge zu den Verwaltungs- oder Durchführungsvorschriften der Länder „neben“ dem Schutzziel „Personenschutz“ eben auch solche zum Umweltschutz, zum Nachbarschaftsschutz und zum Sachgüterschutz aus den Anforderungen ersichtlich werden.

Diese Schutzziele sind im Bauordnungsrecht allerdings keinesfalls gleichrangig; siehe hierzu die Standardliteratur [5]. Der Personenschutz besitzt in Abstellung auf die o. g. Grundanforderung oberste Priorität. Dabei ist es unstrittig, dass die Einzelvorschriften zum Personenschutz (Schutz des Bewohners oder des Benutzers einer baulichen Anlage wie eines Gebäudes und Schutz des bzw. der Nachbarn) im Regelfall die Erfüllung des öffentlich-rechtlich geforderten Sachgüterschutzes mit einschließt, soweit im „Ausnahmefall“ nicht zusätzliche Anforderungen zum Sachgüterschutz ergänzend expressis verbis gestellt werden. Auch ist ja vom Grundsatz her die Sicherung einer schnellen und effektiven Brandbekämpfung ein „gutes Stück“ auch Sachgüterschutz, gleichwohl die Aufgaben der öffentlichen Feuerwehr sich auf Grund der zugeordneten Hilfeleistung zur Rettung von in Not geratener Personen sich nicht darauf reduzieren lassen.

SICHERHEIT, RISIKO UND BAUORDNUNGSRECHTLICHER BEZUG

Ausgehend von der Tatsache, dass es eine absolute Sicherheit („Null-Risiko“) nicht gibt, werden in [1] die Schutzziele wie folgt konkretisiert:

Tabelle 1 Schutzziele nach [1]

Schutz für	Anforderung
Personen	Keine „mehrfachen“ Todesfälle
Sachgüter	Brand auf Fläche $\leq 200 \text{ m}^2$ begrenzen
Umwelt	Keine irreversiblen Schäden an Luft, Wasser und Boden

Von besonderer Bedeutung ist, dass gleichwohl der Tragik im Einzelnen mit der vorstehenden „Übersicht“ klar wird, dass je Brandereignis durchaus es nicht gänzlich unwahrscheinlich ist, dass mit einer geringen Anzahl von Toten zu rechnen ist und dies akzeptiert wird. Das zugeordnete Sicherheitsniveau wäre im Folgenden noch zu erörtern, dgl. die Anzahl möglicherweise „betroffener Personen“.

Tabelle 2 Nach [1] konkretisierte Schutzziele

Schutzziel	Konkretisierung - Anforderung
Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen	Rauchfreihaltung für eigenständige Flucht der Personen (mindestens 10 min)
Rettung von Menschen	„Sicherer Aufenthalt“ in brandschutztechnisch abgetrennten Nutzungseinheiten für mindestens 30 Minuten bis zur Rettung durch die Feuerwehr
Wirksamer Löschangriff innerhalb eines Gebäudes ohne anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen	Standicherheit der Konstruktion unter Brandbeanspruchung; für mehrgeschossige Gebäude für mindestens 60 (90) Minuten; Rauch- und Wärmeabzug

Die Konkretisierung bedeutet im Einzelnen:

- Die Flucht von Personen als Einzelne oder Evakuierung eines Gebäudes oder Brandabschnittes im Ganzen muss in spätestens 10 Minuten abgeschlossen sein.
- Die Rettung von in Not geratenen Menschen muss innerhalb einer Zeitspanne von 15 bis maximal 30 Minuten nach Brandausbruch bewerkstelligt werden.
- Je nach Gebäudeklasse ist eine gefahrenarme Brandbekämpfung (ein Löschangriff) innerhalb eines Gebäudes von 30 bzw. 60 oder 90 Minuten durch die Konstruktion zu gewährleisten.

Diesen Ansätzen als Basis für eine ingenieurmäßige Behandlung der Schutzziele kann durchaus gefolgt werden; die Problematik der Sicherung der Fluchtwege mit der Bestimmung zur Rauchfreihaltung für mindestens 10 Minuten wäre auch hier noch gesondert zu erörtern. Ferner wäre anzumerken, dass ein Schutzziel zur Rettung von Menschen durch Gewährleistung eines sicheren Aufenthaltes in gesicherten Bereichen bis zur Rettung durch die Feuerwehr grundsätzlich zwar gilt, jedoch planmäßig nur in Anspruch genommen werden kann, soweit die Anzahl möglicher Personen zur Rettung aus Nutzungseinheiten gering ist und dies bauordnungsrechtlich (wie beispielsweise für Wohngebäude) zulässig ist (siehe hierzu § 33 Abs. 3 MBO). Da jeder Rettungsfall durch die Feuerwehr wohl letztendlich doch ein spezifischer Einzelfall ist, hält man sich bzgl. der Leistungsfähigkeit in allgemeingültiger Form bedeckt. Aus der mittelbar genannten Spezifikation von ca. 2 bis 3 Minuten erforderlicher „effektiver Zeit“ zur Rettung einer Person und dem der Feuerwehr überhaupt nach Eintreffen vor Ort noch zur Verfügung stehendem Zeitraum wird klar, dass entsprechend der Ausführbarkeit durch die Feuerwehr die zuordenbare Anzahl zu rettender Personen kleiner als 10 sein sollte; im Regelfall sollte diese Zahl in Abstellung auf einer brandschutztechnisch abgegrenzte Nutzungseinheit erheblich kleiner als 10 sein. Die Größenordnung dieser „Bemessungsgrenze“ für eine brandschutztechnisch abgegrenzte Nutzungseinheit, für die man anstelle des zweiten baulichen Rettungsweges den Rettungsweg über Rettungsgeräte der Feuerwehr in Ansatz bringen kann, korrespondiert mit der „Einstiegsgrenze“ des Geltungsbereiches der Muster-Beherbergungsstättenverordnung (MBeVO) [6], die bestimmt, dass bei mehr als 12 Gastbetten jeder dbzgl. Beherbergungsraum von anderen brandschutztechnisch abzutrennen ist und mit Blick auf die Gewährleistung des zweiten Rettungsweges jeder Beherbergungsraum anleiterbar sein muss, soweit die Beherbergungsstätte mehr als 12 Betten aufweist.

Mit dieser Angabe oder „Kenntnis“ ist eine der wichtigsten Parameter zur brandschutztechnischen Entwurfsplanung eines Gebäudes bestimmt; siehe hierzu im Einzelnen [7].

Zur Frage des „Restrisikos“ bzw. eben „des Risikos“ kann darauf verwiesen werden, dass derzeit die Versagenswahrscheinlichkeit als „vereinbartes Risiko“ mit $p_f = 10^{-5}$ allgemein (oder eben „stillschweigend“) akzeptiert (oder

hingenommen) wird; siehe hierzu [8] [9] [11]. Auf diesen Sachverhalt hat bereits 1979 Bub [10] hingewiesen, gleichwohl in der Praxis („abgerückt“ von der „reinen Theorie“) üblicher Weise die „Wahrscheinlichkeit“ für die Entstehung eines Brandes und die Ausbreitung zu einem gefährlichen Brand pro Bezugsfläche und pro Zeiteinheit sowie in Abstimmung auf den möglicherweise eintretenden Schadensumfang (hier Anzahl der Verletzten und Toten) oftmals als Ausdruck für die Abschätzung des Risikos herangezogen wird.

Ohne auf weitere theoretische Erörterungen hier einzugehen, sei lediglich darauf hingewiesen, dass das Risiko R bzw. die theoretische Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses stets dimensionslos ist. Die Sicherheit S gilt als vorhanden, wenn das Risiko R für den Eintritt eines Schadens (z. B. Personenschaden und/oder Sachschaden) hinnehmbar klein ist.

$$\text{vorh } S = f(R^{-1}) \geq \text{erf } S$$

Die Zuverlässigkeit Z ist „ihrerseits“ per Definition das so genannte Komplement zur Versagenswahrscheinlichkeit p_f

$$\text{vorh } Z = 1 - \text{vorh } p_f$$

Der o. g. Globalwert zum Risiko R wird derzeit so nicht in den Bauordnungen der Länder ausgewiesen. Man behilft sich dort – und aus der Erfahrung bewährt gestützt – mit der Benennung der Schutzziele (s. o.) und Erhebung von materiellen Einzelanforderungen zum baulichen Brandschutz bzw. mit der Benennung regelrecht in sich geschlossener Brandschutzkonzepte zu bestimmten Räumen oder Gebäuden, wie Sonderbauten nach § 2 Abs. 4 MBO. Die Brandschutzkonzepte sind Gegenstand der auf Grund der Landesbauordnungen erlassenen Verordnungen, eingeführten Technischen Baubestimmungen oder bauaufsichtlichen Richtlinien.

Im Hinblick auf eine qualifizierte und bis zu einem gewissen Grad auch quantifizierte Aussage kann ein Gebäude, dass seitens der Bauaufsichtsbehörde „ohne Umschweife“ genehmigungsfähig ist, der oben beschriebenen Zuverlässigkeit bzw. dem hinnehmbaren Risiko ($\sim 10^{-5}$) zugeordnet werden. Dieses „bauordnungsrechtliche Bezugsgebäude“ lässt sich global näherungsweise wie folgt beschrieben (siehe hierzu auch [11]):

Bauordnungsrechtliches Bezugsgebäude mit akzeptiert zugeordnet $p_f = 10^{-5}$

- Anzahl n der Geschosse: $n = 4$
- Brandabschnittsfläche: $A_{BA} = 1600 \text{ m}^2$
[aus 40 m x 40 m Brandabschnitt]
- Fläche A_i je Geschoss: $A_i = 1600 \text{ m}^2$
- Feuerwiderstandsklasse der Haupttragkonstruktion: F 90-A

- Brandbelastung $q_R = 300$ bis 450 kWh/m^2
[Formal verfahrensrechtlich dürfte q_R unbegrenzt sein, in Hinblick auf einen Bezug zum Normbrand nach DIN 4102-2 und im Hinblick auf praktisch vorhandene Lüftungsverhältnisse „gilt“ $q_R \leq 450 \text{ kWh/m}^2$]
- Auftretenswahrscheinlichkeit eines gefährlichen Brandes: $p_0 \sim 10^{-6} / \text{m}^2 \cdot a$
- Vorhanden:
Brandschutztechnische Infrastruktur entsprechend den gesetzlichen Vorgaben und den zugeordneten technischen Regeln, d.h. für das Vorhandensein der öffentlichen Feuerwehr gilt hinreichend gesichert
 $p_1 = 10^{-1}$ mit
 $p_1 =$ Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich der Brand zu einem Brand mit einem erheblichen Schadensereignis (z. B. Verlust von Menschenleben) entwickelt („reziproker Teilsicherheitswert“)
- Vorhanden:
Zwei bauliche Rettungswege
oder
für Personenanzahl ≤ 10 in Abstimmung auf brandschutztechnisch abgetrennte Nutzungseinheiten von nicht mehr als 200 m^2 (400 m^2) Gewährleistung des zweiten erforderlichen Rettungsweges über Rettungsgeräte der Feuerwehr sowie Weglänge bis „sicheren Bereich“:
Standardfall:
 35 m (Sonderbau $25 \text{ m} \dots 30 \text{ m}$), bei lediglich einseitig orientierter Fluchtmöglichkeit und „zulässiger Weglänge“ über notwendigen Flur ≤ 10 bzw. 15 m oder
rechnerische Fluchtzeiten (einschließlich Verzögerungszeiten bzw. Stauzeiten, jedoch ohne Alarmierungszeiten und mögliche Reaktionszeiten)
 - aus Räumen ≤ 2 Minuten (3 Minuten)
 - aus Gebäuden ≤ 6 Minuten (8 Minuten)
 - Stau- und/oder Verzögerungszeiten $\leq 1,0$ Minuten.

Ausgehend von den aufgelisteten „Eckwerten“ kann bei Beibehaltung des Sicherheitsniveaus (zul $p_f = 10^{-5}$) theoretisch auf andere Einzelfälle geschlossen werden, z. B. Vergrößerung der Brandabschnittsfläche bei Verbesserung der brandschutztechnischen Infrastruktur oder/ und bei Reduzierung der vorhandenen Brandlast (wie in der Muster-Industriebaurichtlinie [6] vorgenommen).

Um hierbei zukünftig einheitliche und abgestimmte (harmonisierte) Anforderungen innerhalb bestimmter Nutzungskategorien zu stellen, sollte man sich der Zuordnung zu so genannten Schadensfolgeklassen bedienen, wie dies nach [12] zur Standsicherheit geplant ist.

Zu den Schutzzielen

- Behinderung der Entstehung eines Brandes
- Behinderung der Ausbreitung von Feuer und Rauch

- Gewährleistung der Rettung von Menschen und Tieren und
- Gewährleistung wirksamer Löscharbeiten

ist in der Literatur – beispielhaft sei verwiesen auf [5] und [13] – auch in jüngster Zeit eine Vielzahl von Erläuterungen gegeben worden. Die nachstehenden Ausführungen verstehen sich hier in Ergänzung zu einigen damit im Zusammenhang stehenden neu aufgeworfenen Problemen und als Zusammenfassung bzw. Übersicht.

Tabelle 3: Schadensfolgeklassen bzw. Nutzungskategorien in Zuordnung zu Schadensfolgeklassen in Anlehnung nach [12]:

Schadensfolgeklasse	Merkmal	Beispiele
CC3	Hohe Folgen für Menschenleben oder sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Sonderbauten wie Schulen, Versammlungsstätten, Krankenhäuser; alle öffentlichen Gebäude der Verwaltung sowie Tribünen und Fliegende Bauten für mehr als 100 Personen
CC2	Mittlere Folgen für Menschenleben oder/und beträchtliche umweltbeeinträchtigende Folgen	Wohngebäude, Bürogebäude und sonstige Gebäude mit Nutzungseinheiten für nicht mehr als 10 Personen für einen ständigen Aufenthalt einschließlich gewerblicher Nutzung
CC1	Niedrige Folgen für Menschenleben und keine oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Landwirtschaftliche Gebäude ohne regelmäßigen Personenaufenthalt wie Scheunen und Gewächshäuser

BEHINDERUNG DER BRANDENTSTEHUNG

Die Grundaussage lautet:

Durch die bauliche Ausbildung der Konstruktion und durch die dazu verwendeten Produkte darf keine Gefahr für eine Brandentstehung gegeben sein (bzw. es gilt, dass die Gefahr einer Brandentstehung durch „Bauprodukte“ nicht größer sein darf als durch die Nutzung eines Gebäudes / einer baulichen Anlage verursacht).

Zum Erreichen dieses Schutzzieles dienen insbesondere folgende Anforderungen:

- Das Verbot zur Verwendung leichtentflammbarer Baustoffe.
(§ 26 Abs. 1 Satz 2 MBO)
- Das Gebot zur Verwendung von betriebs- und brandsicheren Bauprodukten.

Das Gebot zur Verwendung von betriebs- und brandsicheren Bauprodukten bezieht sich im engeren Sinn insbesondere auf Geräte und Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung („Haustechnik“). Solche Geräte und Anlagen sind per Definition Bauprodukte, soweit sie dauerhaft in bauliche Anlagen eingebaut werden (vgl. § 2 Abs. 9 MBO); ein „dauerhafter Einbau“ ist auch dann gegeben, wenn die „technische Anlage“ („Einrichtung“ oder „Gerät“) eine feste (starre) Verbindung zum Bauwerk hat und damit per Definition selbst zum Bestandteil der baulichen Anlage wird. Die Anforderung zur Betriebs- und Brandsicherheit solcher „Geräte“ und „Anlagen“ lässt sich beispielhaft aus § 42 Abs. 1 MBO ablesen („Feuerstätten und Abgasanlagen ... müssen betriebssicher und brandsicher sein“). Solche Bauprodukte sind betriebs- und brandsicher, wenn sie den Anforderungen der Bauregellisten (BRL) [14] entsprechen; siehe hierzu vergleichsweise die entsprechenden Kapitel (Ifd. Nr.) zu Feuerungsanlagen und Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung in den BRL A und B. Gerade unter dem Gesichtspunkt der Gewährleistung der Brandsicherheit sollte die „Regelungsdichte“ der so genannten Bauregellisten in Abstimmung auf die damit im praktischen Alltag nicht immer ganz leicht zu bewältigende Aufgabe der Beibringung der erforderlichen Verwendbarkeitsnachweise zu Bauprodukten und der Anwendbarkeitsnachweise zu Bauarten verstanden werden.

Das europäisch harmonisierte Grundlagendokument [3] benennt das Schutzziel „Begrenzung der Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch im Entstehungsraum“ und beschreibt damit die Vorgabe wohl vom Inhalt her besser.

BEGRENZUNG DER AUSBREITUNG VON RAUCH UND FEUER

Die Einhaltung dieser Schutzzielvorgabe ist ein wesentlicher Teil des Inhaltes eines Brandschutzkonzeptes für ein Gebäude – wie beispielsweise einen Sonderbau (hier Sonderbau nach § 2 Abs. 4 MBO) gemäß dem zugeordneten bauaufsichtlichen Regelwerk (Verordnung, eingeführte Technische Baubestimmung oder bauaufsichtliche Richtlinie) - bzw. wesentlicher Teil des Inhaltes eines Brandschutznachweises im Sinne einer Gegenüberstellung von Ist-Zustand und Anforderung gemäß der zutreffenden Bestimmung.

Die Maßnahmen zur Begrenzung der Ausbreitung von Rauch und Feuer stellen in ihrer Bündelung ein System der inneren und äußeren Abschottung dar.

Die äußere Abschottung eines Gebäudes wird durch den sich aus § 30 Abs. 2 Nr. 2 MBO mittelbar ergebenden brandschutztechnisch erforderlichen Gebäudeabstand ($\geq 5,0$ m) gebildet, der sich ergibt, soweit keine Brandwand als Gebäudeabschlusswand errichtet werden soll, und der dann auch nicht durch eine der Abstandsflächenregelungen nach § 6 Abs. 2 bis 6 MBO unterlaufen werden darf, und darüber hinaus durch die Abstände (bzw. Abstandsflächen) in der Gesamtheit nach § 6 MBO.

Die innere Abschottung stellt sich als so genannte Brandabschottungseinheiten mit unmittelbaren Anforderungen hinsichtlich eines feuerwiderstandsfähigen Raumabschlusses (EI) und mittelbar geforderter hinlänglicher Rauchdichtheit dar sowie als so genannte Rauchabschottungseinheiten mit mehr oder weniger ausgeprägter Rauchdichtigkeit.

Als Brandabschottungseinheiten sind zu betrachten (und entsprechend zugeordnet sind die explizit im Einzelnen erhobenen Feuerwiderstandsanforderungen zu den betroffenen Bauteilen zu beachten):

- Brandabschnitte und „bemessene“ Brandbekämpfungsabschnitte,
- Geschosse,
- Nutzungseinheiten,
- Notwendige Treppenräume,
- Notwendige Flure,
- Aufzugsschächte, soweit nicht von notwendigen Treppenräumen aus zugänglich oder in einem notwendigen Treppenraum selbst gelegen,
- Installationsschächte und Installationskanäle,
- „Räume“ mit bestimmten Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit zum Raumabschluss zum Aufstellen von bestimmten Einrichtungen und/oder Anlagen mit möglichen Zündquellen [wie z. B. Heizräume nach Muster-Feuerungsverordnung (M-FeuVO), elektrische Betriebsräume nach EltBauR, Lüftungszentralen nach Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR)] oder solche zum Aufstellen von sicherheitstechnischen Einrichtungen (wie ortsfeste Stromerzeugungsaggregate für eine Sicherheitsbeleuchtung).

Als Rauchabschottungseinheiten sind auszubilden, z. B.

- Notwendige Flure innerhalb größerer Nutzungseinheiten (≥ 400 m², gemäß § 36 Abs. 1 Nr. 3 MBO)
- Abschnitte (Rauchabschnitte) notwendiger Flure, soweit die Länge der Flure größer als 30 m ist (vgl. § 36 Abs. 3 MBO)

Die Anforderung zum Raumabschluss impliziert zur Erfüllung der Schutzzielvorgabe auch eine Rauchdichtigkeit der betroffenen Bauteile. Dieselbe ist derzeit bis auf den Fall von Rauchschutztüren nach DIN 18095 exakt nicht belegt, gleichwohl ein möglicher Rauchdurchgang oder eine mögliche Rauchentwick-

lung (seitens der betroffenen Bauteile „aus sich heraus“) keinen Anlass zu einer Besorgnis geben darf (vgl. hierzu Ziffer 8.6 in DIN 4102-2: 1977-09); dies gilt nicht für den Ausnahmefall (Erleichterungsfall) zulässiger dichtschießender Türen, obwohl auch hier eine „abgestufte Behinderung“ stillschweigend unterstellt wird.

Der Schutzzielvorgabe zur Behinderung der Brandausbreitung sind auch die ggf. nach § 28 Abs. 1 und 3 bis 4 MBO zu treffenden Maßnahmen an Außenwänden zuzuordnen, so dass eine Brandweiterleitung als Brandausbreitung über eine Fassade nicht zum ausschlaggebenden Punkt für einen Feuerüberschlag von Geschoss zu Geschoss wird, ohne dass die Feuerwehr bei einem rechtzeitigen Löschangriff die Möglichkeit hat, dies zu verhindern.

Die Begrenzung der Ausbreitung von Rauch und Feuer schlägt sich auch und insbesondere in der Anforderung nieder, dass Öffnungen in solchen dafür bestimmten feuerwiderstandsfähig raumabschließend geforderten Bauteilen vom Grundsatz her in der gleichen Anforderung, wie für das „unberührte Bauteil“ bauordnungsrechtlich gefordert, zu verschließen sind. Dies bezieht sich u. a. auf Durchdringungen von Leitungen [siehe hierzu die dbzgl. Anforderungen gemäß Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) oder die gemäß Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR)]; zur Ausführung selbst dürfen dabei nur solche Bauprodukte oder Bauarten kommen, für die Verwendbarkeitsnachweise oder Anwendbarkeitsnachweise vorliegen] wie auf die Verschlüsse (hier Feuer-schutzabschlüsse und/oder Rauchschutzabschlüsse) von „planmäßig“ zur funktionellen Erschließung von Bauwerken für Personen benötigten Öffnungen (in der Regel sind dies Türen, Tore oder Klappen). Ausnahmen davon bestimmen sich im Regelfall durch die Bauordnung selbst (siehe hierzu z.B. § 31 Abs. 4 MBO).

Ferner kann allgemeingültig die Aussage getroffen werden:

Auf Grund geringer Brandbelastungen im Bereich von Verkehrswegen müssen Türen in feuerwiderstandsfähig raumabschließend geforderten Bauteilen in Abstimmung auf die Feuerwiderstandsdauer im Regelfall nur mindestens feuerhemmend (und „integral eingeschlossen“ selbstschließend) ausgebildet werden (vgl. hierzu z. B. die Anforderung nach § 29 Abs. 5 MBO). Dies gilt allerdings nicht für Türen in Brandwänden (vgl. § 30 Abs. 8 MBO).

Regelungen zu Türen in Abstimmung auf die Bildung von Rauchabschnitten sind u. a. Bestandteil der Anforderungen nach § 35 Abs. 6 Nr. 2 MBO (Forderung nach rauchdichten und selbstschließenden Türen – so genannten Rauchschutztüren nach DIN 18095 – zwischen notwendigen Fluren und notwendigen Treppenträumen) und nach § 36 Abs. 3 Satz 1 MBO (Unterteilung notwendiger Flure mit einer Länge von mehr als 30 m durch nichtabschließbare, rauchdichte und selbstschließende Abschlüsse in Rauchabschnitte).

GEWÄHRLEISTUNG DER EVAKUIERUNG VON GEBÄUDEN UND DER RETTUNG VON MENSCHEN

Der Begriff „Evakuierung von Gebäuden“ ist dem Bauordnungsrecht als solcher zunächst unbekannt, gleichwohl im Zusammenhang mit Sonderbauten (und den Nachweisen zum Brandschutz in den so genannten Brandschutzkonzepten dazu) der Begriffsinhalt als Räumung des Gebäudes zunehmend auftaucht und geläufig wird (siehe hierzu vergleichsweise [15]). Gleichwohl muss gelten: Oberstes Schutzziel zum baulichen Brandschutz ist die Gewährleistung einer sicheren Evakuierung von Personen aus Bauwerken. Die Evakuierung ergibt sich als „geordnete Personenstromabführung“ aus einem Gebäude durch die sichere Gestaltung der Rettungswege (§ 33 MBO) respektive der Fluchtwege.

Die getroffene Abstimmung auf „sichere Gestaltung“ schließt dabei ein:

- die funktionell wie brandschutztechnisch zweckdienliche Anordnung der Rettungswege im oder am Gebäude
[Lage und Führung der notwendigen Flure im Gebäude; Lage der notwendigen Treppenträume möglichst so, dass entgegengesetzt gerichtete Fluchtmöglichkeiten sich ergeben],
- die Ausbildung bzw. konstruktive Gestaltung der Flucht- und Rettungswege selbst
[Einhaltung der erforderlichen Durchgangsbreiten; Ausbildung der Rettungswege entsprechend den Anforderungen so (vgl. z.B. § 35 Abs. 5 MBO), dass „flächige Bauteile“ (hier Wände und Decken oder deren Bekleidungen), die die Rettungswege begrenzen – mit Ausnahme von Fußböden – aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, soweit für Sonderbauten wie insbesondere Krankenhäuser für Fußböden nicht etwas anderes bestimmt wird].

Zur sicheren Gestaltung der Fluchtwege (respektive Rettungswege) gehören zur Verwirklichung dieser Schutzzielvorgabe auch die Anforderungen nach der Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) zur Art der „Verlegung von Leitungen in Rettungswegen“, soweit dies nach dieser Regelung überhaupt zulässig ist.

Zum Verhältnis von „Flucht- und Rettungsweg“ aus begrifflicher Sicht sei hier auf Folgendes verwiesen:

Der bauordnungsrechtliche Begriff des Rettungsweges bezieht sich einerseits auf die Rettung von Personen durch die Feuerwehr (Fremdrettung) und schließt dabei den Weg zum Löschangriff als Eindringtiefe pro Geschoss mit ein, während andererseits er auch mittelbar für die Bestimmung des Fluchtweges (Weg zur Selbstrettung) herangezogen wird, gleichwohl der Begriff des Fluchtweges Bestandteil des Arbeitsstättenrechtes ist, das insofern in „Konkurrenz“ zum Bauordnungsrecht steht und insbesondere daraus folgend, da vereinfachend gesprochen durch die Abstimmung der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, 2004) auf das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) quasi alle Räume, die nicht zum Wohnen dienen, „Arbeitsräume“ sind.

Die seinerzeitige ArbStättV [16] (1974) ging noch vom Begriff des Rettungsweges aus (vgl. § 19 „Zusätzliche Anforderungen an Rettungswege“) und meinte jedoch durch die Abstellung auf „Verlassen“ in der zugeordneten Begründung den Fluchtweg für Personen.

[Die zulässigen Weglängen als Fluchtweglängen sind dabei mit den bauordnungsrechtlichen Rettungsweglängen weitgehend „zahlenmäßig“ identisch; vgl. Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR) 10/1.]

In der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, 2004) [17] bzw. im Anhang zu § 33 Abs. 1 derselben wird der Begriff des Fluchtweges benutzt und im Entwurf zur Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR) A2.3 [18] von 2007 wird definiert:

„3. Begriffe

3.1 *Fluchtwege sind Verkehrswege, an die besondere Anforderungen zu stellen sind und die der Flucht aus einem möglichen Gefährdungsbereich und in der Regel zugleich der Rettung von Personen dienen. Fluchtwege führen ins Freie oder in einen gesicherten Bereich. Fluchtwege im Sinne dieser Regel sind auch die im Bauordnungsrecht definierten Rettungswege, sofern sie selbstständig begangen werden können.*

Den ersten Fluchtweg bilden die für die Flucht und Rettung erforderlichen Verkehrswege und Türen, die nach dem Bauordnungsrecht notwendigen Flure und der Treppenraum notwendiger Treppen sowie die Notausgänge.

Der zweite Fluchtweg führt durch einen zweiten Notausgang, der als Notausstieg ausgebildet sein kann.

3.2 *Fluchtweglänge ist die kürzeste Wegstrecke in Luftlinie gemessen vom entferntesten Aufenthaltsort bis zu einem Notausgang.“*

Obwohl landläufig die bauordnungsrechtlich zulässige Rettungsweglänge als Teil der zulässigen Fluchtweglänge aufgefasst wird, darf der „tiefere Sinn“ der Eindringtiefe für die Feuerwehr (s. o.) nicht vergessen werden. Dies ist besonders dann erforderlich, wenn im Zuge von Baugenehmigungsverfahren zu Sonderbauten erhebliche Abweichungen nach § 67 MBO von den zulässigen Rettungsweglängen auf der Grundlage rechnerischer Nachweise unter Heranziehung von Ingenieurmethoden (hier Evakuierungsberechnungen) gestattet werden. In diesen Fällen und zu dieser speziellen Frage ist grundsätzlich die zuständige Brandschutzbehörde an der Entscheidungsfindung über die Abweichung zu beteiligen (entsprechendes regeln die Verordnungen und Verwaltungsvorschriften der Länder).

Vorschläge zur Begrenzung der rechnerischen Evakuierungs- und insbesondere der Stau- bzw. Verzögerungszeiten sind Bestandteil von [7].

Im Übrigen sei an dieser Stelle folgende „These“ ausgesprochen:

So wie einem bauvorlageberechtigten Entwurfsverfasser das zur Schnittkraftermittlung bezogen auf einen Träger auf zwei Stützen und mit der Stützweite l

unter einer gleichmäßigen Linienbelastung q maximale Biegemoment M geläufig ist ($M = q \cdot \ell^2 \cdot 8^{-1}$), sollten ihm auch die Grundlagen zur „einfachen Evakuierungsberechnung“ (siehe hierzu u. a. [19]) bekannt sein. Er muss insbesondere die Grundbeziehungen kennen, die Abhängigkeiten der maximalen Bewegungsgeschwindigkeit v_i und der „noch möglichen“ spezifischen Durchlassfähigkeit q_i von der Personenstromdichte D_i sowie aus der Grundkenntnis Ableitungen treffen können.

$$Q_i = D_i \cdot v_i \cdot b_i = q_i \cdot b_i$$

mit
$$D_i = \frac{P_i}{\ell_i \cdot b_i} \quad \text{und} \quad v_i = f(D_i), \quad q_i = f(D_i)$$

- Q_i = Durchlassfähigkeit in [Pers./s] im Wegabschnitt „i“
- D_i = Personenstromdichte in [Pers./m²] im Wegabschnitt „i“
- P_i = Anzahl der Personen im Wegabschnitt „i“
- v_i = Mögliche Bewegungsgeschwindigkeit in [m/s] des Personenstromes im Wegabschnitt „i“ in Abhängigkeit von der Personenstromdichte D_i
- ℓ_i = Länge in [m] des Personenstromes oder des Fluchtwegabschnittes „i“
- b_i = Lichte Breite in [m] des Fluchtwegabschnittes „i“
(respektive verfügbare Breite des Verkehrswegabschnittes „i“)
- q_i = Spezifische Durchlassfähigkeit in [Pers./m · s] im Fluchtwegabschnitt „i“ in Abhängigkeit von der Personenstromdichte D_i

und daraus abgeleitet

→ ohne Stau oder Verzögerung:

$$Q_{i+1} \geq Q_i$$

→ bzw. bei Stau oder Verzögerung die rechnerische Stauzeit T_0 in [s] im Übergang von Abschnitt „i“ zum Abschnitt „i+1“:

$$T_0 = P_i \left[\frac{1}{Q_{i+1}} - \frac{1}{Q_i} \right]$$

Die Parameter „ v_i “ und „ q_i “ als Funktion von „ D_i “ wurden versuchstechnisch (bzw. empirisch) ermittelt und lassen sich als Tabellenwerte angeben [19].

Im Einzelnen muss eben auch erkannt werden, dass anstelle der bauordnungsrechtlichen Anforderung

$$b_{i+1} \geq b_i \quad (\text{vgl. § 35 Abs. 3 Satz 3 MBO})$$

„an sich“ die Grundforderung (vgl. § 34 Abs. 5 und § 36 Abs. 2 MBO) in analytischer Form steht:

$$\text{erf } b_{i+1} \geq \frac{q_i \cdot b_i}{q_{i+1}}$$

Die vorstehenden kurzen Ausführungen zu den Grundlagen der Ermittlung rechnerisch „realer Evakuierungszeiten“ (als Summe von Detektionszeit, Reaktionszeit, reiner Gehzeiten und den möglichen Verzögerungszeiten) sollten hier in Gegenüberstellung zur Schnittkraftermittlung im Bereich der Standsicherheit verdeutlichen, welche Notwendigkeit besteht, sich mit dieser Problematik ggf. im Einzelnen zu beschäftigen, soweit man in Anspruch nehmen will, Fachplaner für Brandschutz zu sein.

GEWÄHRLEISTUNG WIRKSAMER MAßNAHMEN DER BRANDBEKÄMPFUNG

Dem Schutzziel der Gewährleistung wirksamer Maßnahmen der Brandbekämpfung kann nur dann entsprochen werden, wenn zunächst die Anforderungen nach § 5 (Zugänge und Zufahrten auf dem Grundstück) MBO in Verbindung denen nach der Richtlinie über Flächen für die Feuerwehr [20] als eingeführte Technische Baubestimmung (vgl. lfd. Nr. 7.4 – Technische Regeln als Planungsgrundlagen der Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen [4]) als Minimalanforderung an Zu- und Durchfahrten, Aufstell- und Bewegungsflächen in Abstimmung auf dbzgl. geometrische Mindestmaße und an die Befestigung solcher Flächen für die Feuerwehr eingehalten werden.¹⁾

Die ausreichende Löschwasserversorgung zur Ermöglichung des Schutzzieles zu wirksamen Löscharbeiten regelt sich vom Grundsatz her nach der technischen Regel [21].

Mit dem „System“ der bauordnungsrechtlich nach § 33 MBO geforderten „inneren Rettungswege“ (hier insbesondere der notwendigen Treppenträume nach § 35 MBO und der notwendigen Flure nach § 36 MBO) wird in Verbindung mit der Begrenzung der zulässigen Rettungsweglänge (vgl. § 35 Abs. 2 MBO) in den Geschossebenen und den gegebenenfalls notwendigen Maßnahmen zur Rauch- und/ oder Wärmeableitung die Rettung von Personen gewährleistet. Dabei ist alternativ ein zweiter baulicher Rettungsweg (z. B. über eine zweite notwendige Treppe) nicht erforderlich, soweit die Führung des zweiten Rettungsweges über eine durch Rettungsgeräte der Feuerwehr erreichbare Stelle zulässig ist (vgl. § 33 Abs. 2 MBO). Im Regelfall ist dies gegeben, wenn genügend klein gewählte (< 200 m² „große“) brandschutztechnisch abgetrennte Nutzungseinheiten gebildet werden und die zu rettende Anzahl der Personen je Nutzungseinheit relativ klein ist (< 10 Personen je Nutzungseinheit).

¹⁾ Anmerkung: In einer Reihe von Bundesländern ist der Inhalt der Richtlinie [20] Bestandteil der Verwaltungsvorschrift zur Landesbauordnung (beispielsweise in Nordrhein-Westfalen) oder Anlage derselben (z.B. im Freistaat Sachsen).

Zum Schutz der Rettungspersonen sind die Anforderungen an die Baustoffe der Rettungswege beachtlich; ferner dienen dem Schutz der Rettungsmannschaften (wie auch der zum Löschangriff bzw. zur Brandbekämpfung) die „höheren“ Feuerwiderstandsanforderungen an die Bauteile.

Ohne dem folgenden Beitrag (Anforderungen an den vorbeugenden Brandschutz aus der Sicht der Feuerwehr) Inhalte vorwegzunehmen, sei im Konsens für die Bauaufsicht aus „aktuellem Anlass“ auf Folgendes aufmerksam gemacht:

- Bauordnungsrechtlich geforderte Einrichtungen zur Rauchableitung dienen im Regelfall der Gewährleistung einer schnellen Brandbekämpfung als Schutzziel. Anlagen zur Rauchabführung in Abstimmung auf das Schutzziel der Sicherung der Evakuierung bedarf es in aller Regel nicht.

Der Gesetzgeber bzw. das Bauordnungsrecht zielt in all den Maßnahmen zur Sicherung der Evakuierung nach den Landesbauordnungen, den zugeordneten Verordnungen, eingeführten Technischen Baubestimmungen und bauaufsichtlichen Richtlinien auf eine Eigenrettung in einer möglichst sehr kurzen Zeit ab, so dass keine zusätzlichen anlagentechnischen Maßnahmen zur Rauchableitung benötigt werden. Dies gilt auch für den „besonderen Fall“ der Evakuierung von Versammlungsräumen (siehe hierzu [15]).

Anlagen zur Rauchabführung in Abstimmung auf das Schutzziel der Sicherung der Evakuierung bedarf es in aller Regel nur, soweit im Einzelfall von den bauordnungsrechtlichen/bauaufsichtlichen Vorgaben zur Evakuierung abgewichen wird. Im Regelfall ergeben sich Maßnahmen (Anlagen) zur Rauchfreihaltung nach Bauordnungsrecht der Länder nur im Zusammenhang mit so genannten innenliegenden (notwendigen) Sicherheitstreppenträumen (§ 33 Abs. 2 Satz 3 MBO). Im Übrigen wird in vielen Fällen von „typischen Abweichungsfällen“, z. B. der Führung des erforderlichen zweiten baulichen Fluchtweges über eine Halle bzw. über ein Atrium, unzulässig auf den Standardfall geschlossen. In solchen und ähnlichen Fällen werden Brandsimulationsberechnungen bemüht und Rauchversuche und durch die Genehmigungsbehörden zum Nachweis toleriert, dass auch solche Rettungswege kompensatorisch durch die Zusatzmaßnahme zur Rauchableitung für eine hinreichende Zeitdauer als ausreichend sicher angesehen werden.

- Die Bemessungsregeln nach DIN 18232-2: 2003-06 [22] zur Bestimmung einer qualifizierten Rauchableitung aus hallenartigen Räumen stellen auf das Schutzziel zur Sicherung der Evakuierung für einen längeren Zeitraum ab. Insofern wird das bauordnungsrechtliche Schutzziel zur Sicherung des Löschangriffes bzw. zur raschen/schnellen Brandbekämpfung durch die Feuerwehr gesichert mit abgedeckt. Bei einer Industriehalle wird man deshalb beispielsweise im Regelfall aus wirtschaftlicher Sicht im Interesse des Bauherrn eine Bemessung bzw. Festlegung entsprechend den Vorgaben nach Ziffer 5.6 M IndBauRL [23] treffen und in anderen Fällen ein anerkanntes Rechenverfahren zur Bemessung der erforderlichen Größen in Abstimmung auf das Schutzziel zur Sicherung der Brandbekämpfung wählen.

Damit bestehen auch keine Bedenken, die erforderlichen Rauchabzugsflächen (hier aerodynamisch wirksame Flächen) nach dem Anhang D des seinerzeitigen Entwurfes eines Änderungsblattes (A1) vom Mai 2006 [24] zu DIN 18232-2 in der dort vereinfachten Form zu bestimmen, soweit die Vorgaben zur Sicherung von Flucht- und Rettung – hier insbesondere die zulässigen Rettungsweglängen – eingehalten sind. Im Regelfall bedarf es damit auch nicht irgendwelcher Rauchschürzen. Die Anordnung von Rauchschürzen ergibt sich ja ohnehin vordergründig aus der Verifikation des theoretischen Bemessungsmodells bis ca. 1600 m², das als Theorie der Norm DIN 18232-2 zu Grunde liegt (siehe hierzu [25] und die Erläuterungen zu [22]).

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag werden bauordnungsrechtliche Schutzziele zum Brandschutz, wie sie sich aus § 14 der Musterbauordnung (MBO) ableiten lassen, näher bestimmt und erläutert. Ausgehend von in der Praxis der brandschutztechnischen Entwurfsplanung von Gebäuden zurzeit zum Teil kontrovers diskutierten Problemen, wie solchen zur Rauchableitung in Zuordnung zum bauordnungsrechtlichen Schutzziel als Mindestanforderung, werden für praktisch tätige, bauvorlageberechtigte Entwurfsverfasser wie auch für Fachplaner zum Brandschutz zur Erstellung von Brandschutznachweisen konsensfähige Klarstellungen aufgezeigt.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Hosser, D. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdb TB 04/01, 1. Auflage Mai 2006. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2006
- [2] Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002; herausgegeben von der Bauministerkonferenz (ARGEBAU); www.is-argebau.de
- [3] Grundlagendokument (der Europäischen Union), Wesentliche Anforderung Nr. 2 „Brandschutz“, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. C 62 vom 28.02.1994
- [4] Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen, Fassung Februar 2006, zuletzt geändert durch Änderungen Februar 2007; herausgegeben von der Bauministerkonferenz (ARGEBAU); www.is-argebau.de
- [5] Gädtke, H.; Temme, H.-G.; Heintz, D.; Landesbauordnung Nordrhein-Westfalen, Kommentar; 10. Auflage 2003; Werner Verlag, Düsseldorf

- [6] Muster-Verordnung über den Bau und Betrieb von Beherbergungsstätten (MBeVO), Fassung Dezember 2000; herausgegeben von der Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU; www.is-argebau.de
- [7] Mehl, F.; Bautechnische Nachweise zum Brandschutz nach Bauordnungsrecht der Länder; Fachbeitrag in Bauphysik Kalender 2006, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 2006
- [8] Schneider, u.; Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz; 4. Auflage, Expert-Verlag, Renningen, 2006
- [9] DIN 18230-1: 1998-05; Baulicher Brandschutz im Industriebau, Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer
- [10] Bub, H.; Baulicher Brandschutz im Industriebau; Beuth Verlag, Berlin 1979, herausgegeben vom Deutschen Institut für Normung (DIN)
- [11] Erläuterungen zur Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Erl M IndBauRL), herausgegeben von der Fachkommission Bauaufsicht der ARGBAU, veröffentlicht in Mitteilungen des DIBt, Heft 6/2000
- [12] Entwurf August 2005 zu DIN EN 1990-2 (Deutsche Fassung zu EN 1990: 2002-10), Grundlagen der Tragwerksplanung
- [13] Klingsohr, K.; Messerer, J.; Vorbeugender baulicher Brandschutz, 7. Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 2005
- [14] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C; zurzeit gilt Ausgabe 2006; veröffentlicht in den Mitteilungen des DIBt, Sonderheft 33; zuletzt geändert gemäß DIBt Mitteilung Heft 1/2007 zu BRL Ausgabe 2006/2; BRL Ausgabe 2007/1 und Ausgabe 2007/2 angekündigt
- [15] Gröger, G.: Anwendung der (Muster-) Versammlungsstättenverordnung (MVStättV) für den Bau und Betrieb von Messe- und Ausstellungshallen; VFDB-Zeitschrift, Heft 1 (54. Jahrgang)/2005
- [16] Seinerzeitige Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV) vom 20. März 1975 mit zugeordneten (und zurzeit weiter geltenden) Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR)
- [17] Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV - vom 12. August 2004, BGBl. I 2004, S. 2179; zuletzt geändert durch VO vom 6. März 2007, BGBl. 2007, S. 261
- [18] Entwurf, Stand 23.02.2007, zur Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR) A2.3; Fluchtwege und Notausgänge, Flucht und Rettungsplan
- [19] Schneider, U.; Haas, M.; Oswald, M.; Grundlagen, Methoden und Beispiele der Evakuierungsberechnung, Monographie/ Schriftenreihe des In-

stituts für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der Technischen Universität Wien, Heft 10/ 2003

- [20] Richtlinie über Flächen für die Feuerwehr auf Grundstücken, Ausgabe Juli 1998; www.is-argebau.de
- [21] Arbeitsblatt W 405 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentlich Trinkwasserversorgung (Ausg. 1978-07); Beuth-Verlag, Berlin
- [22] DIN 18232-2: 2003-06; Rauch- und Wärmefreihaltung, Teil 2: natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderungen und Einbau²⁾
- [23] Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (M IndBauR), Fassung März 2000; herausgegeben von der Fachkommission (FK) Bauaufsicht der ARGEBAU; veröffentlicht in DIBt-Mitteilungen Heft 6/2000; siehe auch: www.is-argebau.de
- [24] Entwurf E DIN 18232-2/A1: 2006-05; hier Anhang D (informativ) mit dem Titel: Lösungswege zur Erzielung einer Rauchverdünnung bei großen Räumen ohne Rauchabschnittsbildung (Entwurf Mai 2005)
- [25] Schneider, U.; Grundlagen der Ingenieurmethoden im Brandschutz (Seite 231), Werner-Verlag/ Düsseldorf; 1. Auflage 2002

²⁾ Die Aufnahme der (europäisch) harmonisierten Norm EN bzw. DIN EN 12101-2: 2003-09 (siehe hierzu das Amtsblatt der Europäischen Union C 134-DE- vom 08.06.2006) in die Bauregelliste (BRL) B Teil 1 (siehe Ausgabe 2006/1) berührt nicht die nationalen Bemessungsregeln zur notwendigen Größe (Fläche) und Anordnung solcher natürlichen Rauchabzugsgeräte in einem Raum. Bereits in Verkehr gebrachte Geräte nach DIN 18232-3:1984-09 können nach Maßgabe der Anmerkung zu lfd. Nr. 2.13 der BRL A Teil 2 noch zur Anwendung kommen.

ANFORDERUNGEN AN DEN VORBEUGENDEN BRANDSCHUTZ AUS SICHT DER FEUERWEHR

Joseph Messerer
Branddirektion München, München

SCHUTZZIELE DES BAURECHTS

Die brandschutztechnischen Schutzziele für Gebäude, die nach den Bestimmungen des Bauordnungsrechts errichtet werden, sind in den Bauordnungen der Länder festgehalten.

§ 14 MBO lautet: „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 vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.“

Die Schutzziele richten sich an alle, die in Verbindung mit dem Gebäude stehen. In erster Linie sind dies die Bauherrn, deren Entwurfsverfasser und Fachplaner sowie schließlich die Nutzer der errichteten Gebäude. Die Gebäude müssen die darin Beschäftigten und die Besucher sowie die Mieter in die Lage versetzen, sich nach Ausbruch eines Brandes selber Sicherheit bringen zu können. Dazu sind Rettungswege erforderlich, die im Brandfall ausreichend lang von Feuer und Rauch geschützt sind.

Erschwerend kann hinzu kommen, dass sich in dem Gebäude besonders viele Personen oder mobilitätsbehinderte Personen befinden. Es werden dann besondere vorbeugende Maßnahmen erforderlich. Für diesen Fall ermöglicht der Gesetzgeber es den unteren Bauaufsichtsbehörden zur Verwirklichung der Schutzziele besondere Anforderungen zu stellen oder er ermöglicht der obersten Baubehörde, eigene Vorschriften (Sonderbauverordnungen) zu erlassen.

Grundsätzlich können sich Menschen nur dann selber retten, wenn sie den Brand frühzeitig entdecken. Ist dies nicht der Fall, ist u. U. der erste Rettungsweg nicht mehr frei von Feuer und Rauch, das heißt, dass sie dann auf fremde Hilfe – auf die Rettung durch die Feuerwehr – angewiesen sind. Die Feuerwehr ist zur Rettung von Personen auch dann erforderlich, wenn mobilitätseingeschränkte Personen vom Betriebspersonal nicht rechtzeitig in sichere Bereiche gebracht werden konnten.

Nach der Rettung von Menschen ist die zweite Aufgabe der Feuerwehr, die Durchführung wirksamer Löscharbeiten.

RETTUNGSWEGE UND ANGRIFFSWEGE FÜR DIE FEUERWEHR

Allgemeine Anforderungen

Für Nutzungseinheiten mit mindestens einem Aufenthaltsraum müssen in jedem Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege ins Freie vorhanden sein.

An diese Rettungswege stellt das Bauordnungsrecht eine Vielzahl von materiellen Anforderungen. Sie betreffen die Länge und Breite der Rettungswege, die Abtrennung der Flure und Treppenräume gegenüber genutzten Bereichen – Räume mit Brandlast – sowie die Unterteilung in Rauchabschnitte. Anforderungen an die Entrauchung von Rettungswegen gibt es nicht, sofern man von den Fenstern oder den Öffnungen zur Rauchableitung einmal absieht.

Werden die materiellen Anforderungen des Baurechts eingehalten, so geht der Gesetzgeber davon aus, dass sich im Brandfall die meisten Personen selber in Sicherheit bringen können. Der Gesetzgeber setzt dabei voraus, dass die Benutzbarkeit der Rettungswege – auch ohne weiter gehende Entrauchung der Rettungswege – ausreichend lang möglich ist und durch die Feuerwehren in der Regel nur eine kleine Anzahl von Personen gerettet werden muss.

Dass diese Betrachtungsweise vom Grundsatz her richtig ist, zeigt die Praxis. In der Regel sind bei Bränden nur wenige Personen durch die Feuerwehren zu retten. Dies soll nicht heißen, dass die Rettung von Personen immer einfach ist. Jeder Feuerwehrmann mit einer entsprechend langen Einsatzpraxis weiß, dass sich an der Einsatzstelle oft dramatische Szenen abspielen, bis auch die letzte Person gerettet werden kann.

Somit stellt sich die Frage, ob durch zusätzliche Rauchabzugsanlagen bessere Bedingungen für die Selbstrettung von Personen geschaffen werden können. Der klassische Fall für die Rettung von Personen über Leitern der Feuerwehren sind Zimmerbrände von Wohngebäuden. Diese kritischen Brände ereignen sich meist nachts; sie werden von den Bewohnern spät entdeckt. Beim Flüchten bleiben die Wohnungstüren oft geöffnet stehen oder brennen wegen ihrer geringen Feuerwiderstandsfähigkeit nach kurzer Zeit durch. In beiden Fällen können Feuer und Rauch in den Flur oder Treppenraum eindringen und diese als Rettungsweg unpassierbar machen.

Eine wesentliche Verbesserung der Rettungswegsituation zum Flüchten kann durch weitere Entrauchungsmaßnahmen nicht erreicht werden. Obwohl in einem Kamin die Rauchabzugsöffnung so groß wie der gesamte Kaminquerschnitt ist, befindet sich im Kamin immer Rauch, sofern aus Feuerstätten Rauch eingeleitet wird. Dies lässt den Schluss zu, dass auch noch so große Rauchabzugsanlagen Rettungswege nicht rauchfrei halten können. Raucharme Schichten sind durch die niedrige Höhe von Fluren und in den oberen Geschossen von Treppenräumen nicht zu erwarten.

Somit sind vor allem diejenigen Maßnahmen sinnvoll, die den Eintritt von Feuer und Rauch in Rettungswege länger behindern. Die sind zum einen selbstschließende Türen – auch und vor allem zu Räumen mit Brandlast – und Abschlüsse, die dem Feuer länger Widerstand leisten.

Türen zu Räumen mit Brandlast, die nach der DIN 18095 – Rauchschutztüren - rauchdicht sind, verfehlen dieses Ziel weitgehend. Diese Türen müssen die Rauchdichtigkeit bei Temperaturen von $200\text{ °C} \pm 40\text{ K}$ – also für die Zeit vor dem Flashover - erfüllen. Nach dem Flashover steigt die Temperatur im Brandfall rasant an. Bereits nach fünf Minuten beträgt die Temperatur im Brandraum nach DIN 4102-2 rund 575 °C . Die Rauchschutztüren dürfen unmittelbar nach dem Flashover versagen und den Rettungsweg unpassierbar machen.

Genau diese Erscheinung führt zu den dramatischen Rettungsarbeiten der Feuerwehren, nicht das Fehlen von Rauchabzugseinrichtungen in Rettungswegen. Die MBO fordert richtigerweise für Nutzungseinheiten selbstschließende Abschlüsse. Zu Fluren müssen sie zusätzlich rauchdicht, zu Nutzungseinheiten – wie z. B. Wohnungen - mindestens dichtschießend sein. Für Nutzungseinheiten mit erhöhter Brandlast sind feuerhemmende Türen gefordert. Der Schutz bei Türen zu Wohnungen hängt allerdings im Wesentlichen davon ab, wie das Türblatt beschaffen ist. Einen ausreichenden Schutz - insbesondere zu Nachtzeiten – bieten nur vollwandige, mindestens 40 mm dicke Türen.

Die Rettung von Menschen steht immer unter hohem Zeitdruck. Deshalb ist es ganz besonders wichtig, dass die Aufstellflächen für die Feuerwehr zum Anleiten von Fenstern in einem Zuge – also ohne Rangieren - angefahren werden können. Die Feuerwehrezufahrten mit den Aufstellflächen müssen in einwandfreiem Zustand gehalten werden und zu jeder Zeit uneingeschränkt benutzbar sein.

Wird der zweite Rettungsweg nicht über Leitern der Feuerwehr geführt, sondern über eine zweite Treppe, so darf der Zugang zu den Treppenträumen innerhalb eines Geschosses über denselben notwendigen Flur führen. Die Flurwände müssen mindestens feuerhemmend sein; Türen in diesen Wänden müssen lediglich dicht schließen. Die oben geschilderten Vorfälle – offen stehende oder durchgebrannte Türen – verschlechtern die Rettungswegsituation nochmals, da die Rettung über Leitern der Feuerwehr nun nicht mehr möglich sein muss und vielfach auch nicht möglich sein wird. Aus Sicht der Feuerwehren müssten an die Flurtüren höhere Anforderungen gestellt werden.

Das gleiche gilt für Nutzungseinheiten, für die der zweite Rettungsweg über die Leitern der Feuerwehr führt. Den Menschen muss die Möglichkeit gegeben werden, noch vor dem Versagen der eigenen Wohnungstüre von der Feuerwehr gerettet zu werden. Eine Vielzahl von Türen lassen den Rauch in großen Mengen in die Wohnungen strömen oder leisten im Brandfall dem Feuer nicht ausreichend lange einen hinreichenden Feuerwiderstand. Leider hält es der Gesetzgeber bisher nicht für erforderlich, die Abschlüsse zu Nutzungseinheiten

mit Aufenthaltsräumen – insbesondere in denen geschlafen wird - brandschutz-technisch zu verbessern.

Brandschutzsachverständige nutzen diese Sicherheitslücke im Baurecht und argumentieren fast täglich, dass die Anforderungen an Flurwände gesenkt werden können (z. B. Einbau von Glaswänden ohne allgemeine bauaufsichtliche Zulassung), da ja der Gesetzgeber ebenfalls an keine Anforderungen die Flurtüren stellt.

Da die Rettung von Personen und die Durchführung wirksamer Löscharbeiten immer ein Wettlauf gegen die Zeit sind, müssen aus Sicht der Feuerwehren die Anforderungen an Türen neu überdacht werden.

Rettungswege bei Abweichungen vom Baurecht

Längst sind die Zeiten vorbei, in denen Bauherrn und Entwurfsverfasser sich bei der Feuerwehr erkundigten, was sie zur Erfüllung des Baurechts beachten müssen. Heute lautet die Frage: „Was muss ich machen, um die Bestimmungen des Baurechts umgehen zu können?“ Dabei ermöglicht die MBO ausdrücklich Abweichungen von den materiellen Vorschriften des Baurechts. Aber: Abweichungen können nur dann zugelassen werden, wenn – trotz der Abweichungen - die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben oder Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden. Das heißt, es müssen ausreichende und dafür geeignete Kompensationen vorgenommen werden.

Die Praxis sieht vielfach anders aus. Der Wunsch nach Abweichungen macht selbst vor den Anforderungen an die Rettungswege nicht halt. Repräsentative geschossübergreifende Hallen, über die nach Möglichkeit auch noch alle Rettungswege führen sollen, sind heute an der Tagesordnung. Die Betrachtungsweise über die Nutzung der Hallen teilt sich in einen theoretischen und praktischen Teil. In der Phase des Genehmigungsverfahrens sind diese Hallen (Rettungswege) frei von Brandlasten (Theorie). Bereits zur Einweihung – und natürlich auch in der darauf folgenden Zeit – sollen diese Bereiche für Veranstaltungen, Ausstellungen, bis hin zur jahreszeitlich bedingten Ausschmückung (Praxis) genutzt werden.

Jetzt ist nicht mehr die Rede davon, dass es sich um die widerrechtliche Nutzung eines Rettungswegs handelt. Jetzt versteht der Bauherr oder Nutzer des Gebäudes die Welt nicht mehr, dass eine eigens – mit hohem finanziellen Aufwand - errichtete Halle nun nicht so genutzt werden kann, wie er möchte. Jetzt beginnt die Schikane der Behörden, der Feuerwehren. Da für die meisten Brandschutzsachverständigen ihr Auftrag mit der Inbetriebnahme des Gebäudes endet, kennen Sie die Schwierigkeiten der künftigen Nutzung nicht.

Sofern im Zuge des Baugenehmigungsverfahrens die endgültige Nutzung erkannt wird, kommen als Kompensationsmaßnahmen die Sprinklerung der Halle und Rauchabzugsanlagen in Betracht. Während die Planung der Sprinklerung keine besonderen Erkenntnisse erfordert, gestalten sich Planung und Ausführung einer Rauchabzugsanlage oft schwierig. Zu groß ist die Zahl der frei wählbaren Eingangsparameter. In der Praxis ist nicht selten zu beobachten, dass ein anderer Weg gewählt wird. Man beginnt die Planung von hinten. Die erste Frage ist: Was muss herauskommen? Welche Randbedingungen muss ich wählen, um das Ziel zu erreichen?

Dieser Planungsweg führt dann zu seltsamen Konstellationen. Aus den Planvorlagen und Baubeschreibungen ist einerseits zu entnehmen, dass brennbare Stoffe in der Halle nur in geringfügigen Mengen vorkommen dürfen; nach Möglichkeit wird für die brennbaren Stoffe eine schwerentflammbare Ausführung gewählt. Die Halle wird gesprinklert. Um aber andererseits den Rauch durch thermischen Auftrieb aus der Halle zu bekommen und auf der obersten Ebene noch eine raucharme Schicht zu erhalten, wird für die Planung der Rauchabzugsanlage eine Brandleistung von zwei bis fünf Megawatt zu Grunde gelegt.

Es ist zu beobachten, dass tatsächlich so geplante Maßnahmen ausgeführt werden. Im Brandfall hilft dies der Feuerwehr nicht weiter. Diese wird auf Grund solcher Planungsfehler vor schwer lösbare Aufgaben gestellt. Die Probleme bereits im Zuge der Planung realistisch einzuschätzen und eine praxisgerechte Lösung zu wählen, wäre hilfreicher.

Sonderbauten mit großen Ausdehnungen, unterirdische Bahnanlagen

Nun kann es vorkommen, dass Gebäude ganz erhebliche Ausdehnungen haben (z. B. Hochhäuser) oder/und weit unter der Erdgleiche liegen (z. B. U-Bahnhöfe, unterirdische Einkaufszentren). Das führt dazu, dass die Personen zum Verlassen des Gebäudes im Brandfall (Flüchten) auch bei Einhaltung der baurechtlichen Bestimmungen nicht mit rauchfreien Rettungswegen rechnen können. Um das Freie erreichen zu können, sind jetzt tatsächlich wirksame Maßnahmen zur Rauchableitung wie Rauchabzugs- oder Überdruckbelüftungssysteme erforderlich.

Diese Planungen sind besonders kritisch zu hinterfragen. Bedingt durch die Lage der Rettungswege und die für die Aufnahme von Rauchkanälen und -schächten zur Verfügung stehenden Flächen, sind dem Fachplaner vom Bauherrn enge Grenzen gesetzt. Wieder versucht man, an Hand des erforderlichen Ergebnisses die Eingangsparameter zu bestimmen.

In den letzten Jahren wurde in mehreren Städten bei der Planung von S- und U-Bahnanlagen eine raucharme Schicht mit einer Sichtweite von zehn Metern geboren. Gegen diese Sichtweite haben sich die Feuerwehren vehement ausgesprochen. Man kann Menschen, die ein einziges Mal in ihrem Leben vor einem

Brand (brennender Zug in einem unterirdischen Geschoss) flüchten müssen, nicht zumuten, nur zehn Meter weit zu sehen. Auch wenn ein paar Meter weiter das nächste Rettungswegsymbol sichtbar wird, löst es das Problem des Betroffenen (z. B. Mutter mit Kindern, ältere Personen, ggf. mit Gehwagen oder im Rollstuhl) nicht.

Raucharme Schichten sind – aus der Historie begründet – zunächst rauchfreie Schichten. Da jedoch eine gewisse Einmischung von Rauch nicht ausgeschlossen werden kann, hat man sich auf den Begriff „*raucharm*“ geeinigt. Wenn jetzt bewusst Raucheinmischungen bis zu einem bestimmten Maß eingeplant werden, ist das nicht mehr in Ordnung.

Da diese raucharmen Schichten bei konkreten Bauvorhaben zu sehr mit einer bewussten Rauchgaseinmischung geplant worden sind, möchte ich zur Unterscheidung diese Schicht nach wie vor als „rauchfrei“ bezeichnen, in der ggf. eine leichte Lufttrübung vorhanden sein kann. Das Kriterium ist aus Sicht der Feuerwehren dann noch erfüllt, wenn von allen Stellen des Raumes die Ausgänge erkennbar bleiben.

Es besteht für den Planer die Möglichkeit, außer der Rauchabführung auch noch die Länge der Rettungswege variieren zu können. Je kürzer die Rettungswege, desto größer darf die Lufttrübung sein. Selbstverständlich muss außer der Lufttrübung auch noch die Toxizität der Rauchgase bedacht werden. Die Fliehenden müssen schließlich das Freie erreichen können.

Für die Einsatzkräfte der Feuerwehr ist die Toxizität der Rauchgase auf den ersten Blick unbedeutend; sie haben umluftunabhängige Atemschutzgeräte. In Gebäuden mit großen Ausdehnungen heißt das aber, dass sie die Atemschutzgeräte früher anschließen müssen, so dass sich die Einsatzzeit erheblich reduzieren kann. Bei Einsatzzeiten von ca. 30 Minuten ist der Zeitverlust nicht unerheblich.

Liegen die Räume – weit unter der Erdgleiche – in Untergeschossen, so ist zu beachten, dass die Flüchtenden mit dem Brandrauch ins Freie laufen müssen, wenn der Brandrauch in die Treppenträume gelangen kann. Jetzt nützen Brand- und Rauchschutztüren alleine nichts mehr, wenn – wie in unterirdischen Bahnanlagen – hunderte von Personen beim Flüchten die Türen passieren müssen. Die Türen stehen über lange Zeit, in der Rauch in die Treppenträume eindringen kann, offen.

Die körperliche Anstrengung beim Flüchten nach oben ist wesentlich höher als bei der Flucht nach unten. Nicht jeder wird dreißig oder vierzig Höhenmeter laufend in einem Zug zurücklegen können. Den Menschen muss die Möglichkeit gegeben werden zum Verschnaufen, von anderen dabei überholt zu werden und frische Luft zum Atmen zu haben.

Dies bedeutet zum einen, dass die Breite der Rettungswege vergrößert werden muss und durch Überdruckanlagen das Eintreten von Brandrauch in den Rettungsweg verhindert werden muss. Den Flüchtenden muss frische Luft entgegen strömen.

Eine neue Entwicklung – Rauchentwicklung aus den Bauteilen

Brände sind immer mit einer mehr oder wenig intensiven Rauchentwicklung verbunden. Der Brandrauch entsteht ausschließlich durch die Verbrennung. So war es zumindest bisher.

Nun wurden die Feuerwehren aber aufgeschreckt, da eine Verqualmung von Rettungswegen auch dadurch möglich ist, weil Rauch in raumabschließenden Bauteilen entsteht und auf der dem Feuer abgekehrten Seite des Bauteils austritt.

Erste Informationen lagen den Feuerwehren bei einigen Brandschutzverglasungen vor. Gerade Brandschutzverglasungen werden in Rettungswegen gerne als raumabschließende Bauteile eingebaut. Sofern keine Abweichung vom Bau-recht vorliegt, plant der Entwurfsverfasser die Brandschutzverglasungen ohne „schlechtes Gewissen“. Die Feuerwehren stimmen im Baugenehmigungsverfahren Abweichungen ebenfalls ohne Bedenken zu, da diese Problematik noch nicht umfassend bekannt ist.

Diese Problemstellung wurde von den Feuerwehren in die Projektgruppe Brandschutz der Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU getragen. Gemeinsam mit dem Deutschen Institut für Bautechnik sucht man nach Lösungen. Das Problem ist derzeit noch nicht in der Gesamtheit erfasst. Fest steht aber, dass nicht nur Brandschutzverglasungen dazu neigen, selber Rauch zu entwickeln.

Leider ist dieser Sachverhalt in der Vergangenheit nicht hinreichend in den Prüfzeugnissen der Prüfinstitute dokumentiert worden.

DURCHFÜHRUNG WIRKSAMER LÖSCHARBEITEN

Für die Durchführung wirksamer Löscharbeiten benötigen die Feuerwehren bauseits eine ausreichende Löschwasserversorgung, bauliche Begrenzungen (Brandabschnitte, Brandbekämpfungsabschnitte, Geschossdecken), Zufahrten zum Gebäude außerhalb des Trümmerschattens, eine Begrenzung der Länge der Angriffswege und eine ausreichende Sichtweite.

Begrenzungen der Toxizität des Brandrauchs werden für die Brandbekämpfung nicht benötigt. Innenangriffe werden von der Feuerwehr immer unter umluft-unabhängigem Atemschutz vorgenommen.

Begrenzung der Länge des Angriffswegs

Sonderbauten weisen immer häufiger eine multifunktionale Nutzung auf. Eine Verkaufsstätte wird nicht mehr nur zum Verkauf von Waren, eine Versammlungsstätte nicht mehr nur als Kino oder Theater genutzt. Heute beinhalten Gebäude mehrere Sondernutzungen: Verkaufs-, Versammlungs-, Beherbergungs- und Gaststätten mit Büros, Tageskliniken, Praxen und Wohnungen in ein und demselben Gebäude.

Zwangsläufig nehmen die Ausdehnungen derartiger Gebäude zu. Kompensiert werden Abweichungen vom Baurecht in erster Linie durch Brandmelde-, Lösch- und Rauchabzugsanlagen. Brandmeldeanlagen löschen nicht, sie alarmieren die Feuerwehren. Trotz des Einbaus von Löschanlagen muss die Feuerwehr wirksame Löscharbeiten durchführen können. Löschanlagen löschen ein Feuer nicht immer; vielfach begrenzen sie nur das Feuer auf das Entstehungsstadium, bis es von der Feuerwehr gelöscht wird. Beim Einsatz von Wasserlöschanlagen nimmt zunächst die Rauchentwicklung schlagartig zu, da die offene Verbrennung durch das Löschmittel gestört wird.

Für die Brandbekämpfung benötigt die Feuerwehr Löschmittel, in der Regel das Löschwasser. Das Löschwasser wird über Schlauchleitungen vom Löschfahrzeug zum Strahlrohr transportiert. Aber außer dem Transport von Löschwasser hat die Schlauchleitung noch eine zweite wichtige Aufgabe: sie sichert den Einsatzkräften den Rückzugsweg. Kommt es durch einen Flashover oder auf Grund eines Bauteilversagens zu einer schlagartigen Brand- und Rauchausbreitung, sieht auch der Feuerwehrmann nichts mehr. Er hat zwar für einige Zeit – max. 30 Minuten – frische atembare Luft bei sich. Die Atemluft nützt ihm jedoch endgültig nichts, wenn er nicht mehr aus dem Gebäude findet.

Das zeigt, dass fest installierte Löschwasserleitungen in einem Gebäude zwar in einem Treppenraum hilfreich sein können. Der Weg nach unten, ggf. nach oben lässt sich möglicherweise über die Stufen finden. Insbesondere dann, wenn eine Rauchverdünnung durch Fenster oder Rauchabzugsanlagen ermöglicht wird. Waagerecht verlegte Löschwasserleitungen bringen dagegen aus den genannten Gründen keine Hilfe.

Zur Sicherstellung des Rückzugswegs sind durch die Einsatzkräfte von den Treppenträumen Schlauchleitungen zu verlegen. Dies bedeutet Zeitverlust. Der Zeitverlust kann dadurch in Grenzen gehalten werden, dass die vom Baurecht vorgegebenen Rettungsweglängen nicht überschritten werden. Die Verlängerung von Rettungswegen in Abhängigkeit von der Raumhöhe über dem Rettungswege mag im Hinblick auf die Selbstrettung von Personen (Flüchten) möglich sein, im Hinblick auf die Angriffswege ist die Abhängigkeit von der Höhe jedoch nicht zielführend.

Eine Begrenzung des vertikalen Teils des Rettungswegs ist nicht möglich. Die vertikale Weglänge hängt von der Höhe der Gebäude ab. Horizontale Angriffs-

wege der Feuerwehr sind dagegen vom Planer beeinflussbar. Die Längenangaben von Rettungswegen des Baurechts sind dabei die Planungsgrundlage.

Sichtweite in Angriffswegen

Eine wirksame Brandbekämpfung ist nur dann möglich, wenn der Brandherd erkennbar ist. Somit ist von Seiten der Feuerwehren zunächst die gleiche Sichtweite zu fordern wie sie Personen zum Flüchten benötigen. Lediglich in der Höhe der rauchfreien Schicht können Abstriche gemacht werden. Während flüchtende Menschen aufrecht gehen oder laufen, können sich Einsatzkräfte beim Vorgehen und Löschen bücken. Nach einstimmiger Auffassung des Arbeitskreises „Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz“ der AGBF kann die Höhe der rauchfreien Schicht für das Löschen mit der eingangs erwähnten Sichttrübung lokal auf einen Meter reduziert werden.

Ist dies nicht gegeben, muss der Brandherd also blind gefunden werden, sind wirksame Löscharbeiten nicht möglich. Dies kann man z. B. bei der Brandbekämpfung in total verqualmten Tiefgaragen immer wieder beobachten. Das vom Brand betroffene Fahrzeug brennt aus, eine Brandausbreitung auf weitere Fahrzeuge findet nur aufgrund des Abstandes der Fahrzeuge untereinander meist nicht statt.

FAZIT

Rettungswege ohne Rauchabzugsanlagen sichern den Menschen in bauordnungsgemäß errichteten Gebäuden eine hinreichend lange Zeit zum Flüchten. Dies wird erst dann in Frage zu stellen sein, wenn Abweichungen vom Baurecht in Anspruch genommen werden. Sonderbauten mit besonders großen Ausdehnungen, die besonders hoch oder unterirdisch sind und für die es u. U. keine eigenen Verordnungen gibt, sind besonders kritisch daraufhin zu überprüfen, ob für die Erfüllung der Schutzziele des Bauordnungsrechts Maßnahmen zur Rauchfreihalten erforderlich sind.

Sofern von den Feuerwehren wirksame Löscharbeiten erwartet werden, ist die Länge der Angriffswege zu begrenzen; in den Angriffswegen und in den Räumen selber muss eine ausreichende Sichtweite vorhanden sein, um den Brandherd schnell erkennen zu können.

Rettungs- und Angriffswege müssen hinreichend lang gegen das Eindringen von Feuer und Rauch geschützt sein. Dies gilt auch für den Raucheintrag aus Bauteilen; ggf. sind die Prüfanforderungen auf europäischer Ebene zu ergänzen.

Rettungswege sind immer Angriffswegen der Feuerwehr. Bauteile, die diese Wege schützen sollen, tragen somit auch zum Schutz der Einsatzkräfte bei.

Brände in jüngster Vergangenheit haben gezeigt, dass sich Mängel in diesen Bauteilen unmittelbar auf die Gesundheit der Einsatzkräfte auswirken können.

Gerne werden zur Klärung von Problemen einzelne Feuerwehren gebeten, in Arbeitskreisen mitzuarbeiten. Dazu muss man wissen: jede dieser Feuerwehren vertritt dabei ihren eigenen Standpunkt, die Aussagen sind oftmals nicht abgestimmt.

Legt man Wert darauf, dass die Meinungen der Feuerwehren insgesamt eingebracht werden sollen, muss der Weg über die offiziellen Organisationen bzw. Verbände gewählt werden. Für Fragen des vorbeugenden Brandschutzes ist dann der Arbeitskreis „Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz“ der richtige Ansprechpartner; in ihm sind Feuerwehren aller Bundesländer und der Deutsche Feuerwehrverband vertreten.

SCHUTZINTERESSEN UND ANFORDERUNGEN AN DEN BRANDSCHUTZ AUS SICHT DER SACHVERSICHERUNG

Andreas Pflugradt
HDI SicherheitsTechnik GmbH (HST), Hannover

ALLGEMEINES

In allen Lebensräumen, allen Lebenslagen bestehen unterschiedlichste Schutzinteressen. Ein ganz wesentliches Schutzinteresse ist die eigene Sicherheit.

Insbesondere Katastrophenereignisse und Schäden, die die Existenz bedrohen, sind von besonderer Bedeutung. Der Brand kann ein solches Ereignis sein. Ein Brand gefährdet nicht nur Leben und Gesundheit. Ein Großbrand in einem Industrieunternehmen z. B. gefährdet die Existenz des Unternehmens.

Nach einer US-Studie haben nach einem Großschaden

- 28 % der Industrieunternehmen Konkurs angemeldet,
- 6 % der Industrieunternehmen den Eigentümer gewechselt,
- 43 % der Industrieunternehmen den Betrieb in der ursprünglichen Form nicht wieder aufgebaut
- und nur 23 % der Industrieunternehmen den vollen Marktanschluss im ursprünglichen Geschäftsfeld wieder gefunden.

Dies ist das Ergebnis trotz eines ausreichenden Versicherungsschutzes.

GEFAHREN UND RISIKEN DER SACHVERSICHERUNG

Die Sachversicherung versichert Risiken auf Basis von Gefahren:

- Feuer, Explosion,
- Maschinenbruch,
- Naturgefahren,
- EC-Gefahren (z. B. innere Unruhen, Fahrzeuganprall, Streik/Aussperrung, ...),
- All-Risk (weitergehende denkbare benannte Gefahren).

GEFAHREN-DEFINITIONEN (BEISPIEL FEUER)

Für die versicherten Gefahren existieren Beschreibungen, die das versicherte Ereignis definieren.

Feuer-/Feuer-Betriebsunterbrechungsversicherung (FLExA)

- Brand ist ein Feuer, das ohne einen bestimmungsgemäßen Herd entstanden ist oder ihn verlassen hat und sich aus eigener Kraft auszubreiten vermag.
- Blitzschlag ist der unmittelbare Übergang eines Blitzes auf Sachen.
- Explosion ist eine auf dem Ausdehnungsbestreben von Gasen und Dämpfen beruhende plötzlich verlaufende Kraftäußerung.
- Flugzeugkörperabsturz ist der Anprall oder Absturz eines Luftfahrzeuges, seiner Teile oder seiner Ladung.
- Zu den genannten Gefahren sind auch Schäden zu zählen, die durch Löschen, Niederreißen oder Ausräumen infolge eines FLExA-Ereignisses eintreten.

Wenn sich eine der vorgenannten Gefahren ereignet, haftet der Versicherer in aller Regel wie folgt:

Nach einem Feuerschaden

- Neuwert der Gebäude,
- Neuwert der technischen und kaufmännischen Einrichtungen,
- Herstell-/Verkaufskosten der Vorräte, Waren etc.,
- Preisdifferenzkosten,
- Mehrkosten durch behördliche Wiederherstellungsbeschränkungen,
- Aufräumungs-, Abbruch-, Feuerlösch-, Bewegungskosten und Kosten für Dekontamination von Erdreichen.

Nach einem Feuer-Betriebsunterbrechungsschaden, je nach vereinbarter Haftzeit

- Löhne und Gehälter,
- Betriebsgewinn,
- Fixe Kosten,
- Kosten infolge Vergrößerung des Ertragsausfallschadens durch behördlich angeordnete Wiederaufbau- und Betriebsbeschränkungen,
- Kosten aufgrund von Abnahmeverpflichtungen,
- Vertragsstrafen,
- Wertminderung,
- Auslauf-/Anlaufkosten und Stillstandskosten.

ZIELSETZUNG DER INDUSTRIEFEUERVERSICHERUNG

Der Versicherte, d. h. das versicherte Industrieunternehmen, soll nach einem Brandschaden bis zum vollständigen Wiederaufbau und der Wiederinbetriebsetzung finanziell so gestellt werden, als ob kein Schaden eingetreten wäre!

Wer so viel Risiko/Gefahrtragung übernimmt, hat ein hohes berechtigtes Schutzinteresse.

ANFORDERUNGEN AN DEN BRANDSCHUTZ

Orientierung am Risiko

Im Rahmen einer Feuerversicherung ergeben sich aus dem Risiko und der Gefahrtragung spezielle Anforderungen an den Brandschutz, die in aller Regel nicht mit den brandschutztechnischen Mindestanforderungen vieler (der meisten) Gutachter - so genannter Brandschutzsachverständiger - übereinstimmen. Leider wird die Industriebau-Richtlinie von vielen als Instrument zur Brandschutzminimalisierung ausgenutzt. Vielleicht ist es aber einfach nur Unkenntnis, wie sich tatsächlich Brände ereignen und entwickeln.

Diverse aktuelle Schadenfälle zeugen von dieser Brandschutzminimalisierung.



Bild 1 Schadenbeispiel eines Fleischverarbeitungs-Unternehmens



Bild 2 Schadenbeispiel eines Recycling-Unternehmens

Häufig falsch oder unzureichend eingeschätzte betriebliche Risiken und Brandschutzvoraussetzungen:

- Betriebsabhängige Brand- und Explosionsgefahren,
- Brandbelastung,
- Brandverhalten brennbarer Bauteile und/oder nicht feuerwiderstandsfähiger Bauteile (die "Standardbauweise" in Stahlkonstruktion mit brennbarem Dachaufbau),
- Brandentstehungsgefahren (betriebliche und verfahrenstechnische Zündquellen) und Brandausbreitungsgefahren (die unter der Dachschalung endende bauaufsichtlich zugelassene "Brandwand"),
- Einsatzmöglichkeiten der Feuerwehr (Anrückzeiten > 15 Minuten, Hilfsfrist > 30 Minuten),
- Löschwasserversorgung,
- Rauch- und Löschwasserfolgeschäden,

Und was offensichtlich überhaupt nicht berücksichtigt wird, ist das Unternehmensrisiko:

- Betriebserhaltung, Produktionssicherung,
- Erhaltung von Arbeitsplätzen,
- Marktpräsenz/Lieferfähigkeit,
- Wettbewerbsfähigkeit, Marktverluste usw. .

Anforderungen des Industrieversicherers

Grundsätzlich sind Anforderungen in zwei Richtungen zu stellen:

a. Brände vermeiden

Eintrittswahrscheinlichkeit von Bränden minimieren

b. Brände beherrschen

Ausmaß von Bränden begrenzen

Dabei sind folgende Gegebenheiten zu untersuchen und zu bewerten:

- Betrieblicher Brandschutz
 - Zündquellen,
 - Brennbare Stoffe,
 - Organisation.
- Baulicher Brandschutz
 - Baustoffe (nicht brennbar),
 - Bauteile (feuerwiderstandsfähig),
 - Komplextrennungen,
 - Brandabschnittstrennungen,
 - Feuerbeständige Trennungen.
- Anlagentechnischer Brandschutz
 - Brandmeldeanlagen,
 - Objektschutz,
 - Löschanlagen,
 - Rauch- und Wärmeabzugsanlagen.
- Abwehrender Brandschutz
 - Feuerlöscher, Wandhydranten, Steigleitungen,
 - Löschwasserversorgung / Löschwasserrückhaltung,
 - Betriebliche Feuerwehr,
 - Öffentliche Feuerwehr.

RISIKOBEURTEILUNG / ZIELSETZUNG

Die Risikobeurteilung eines Industriebetriebes erfolgt im Einzelfall entsprechend den nachstehend aufgelisteten Kriterien und Zielsetzungen:

- Komplextrennung/Wertkonzentration
 - Begrenzung des Schadenausmaßes.
 - Besondere versicherungstechnische Bedeutung u. a. zur Preisfindung.
- Brandabschnittstrennungen/feuerbeständige Trennungen
 - Je nach Gefährdungssituation Begrenzung von Flächen zur Verhinderung einer spontanen Brand-/Rauchausbreitung,
 - Schaffung werterhaltender Brandbekämpfungsmöglichkeiten innerhalb von Komplexen.
- Betriebsart (betriebliche Brandlasten, Brand-/Rauchausbreitung)
 - Minimierung des betriebsüblichen Standardrisikos.
 - z. B. bei Produktion - allgemein geringe Brandlasten, erhöhte Zündquellen-häufigkeit.
 - z. B. bei Lagerung - allgemein hohe Brandlasten, sehr geringe Zündquellenhäufigkeit.
- Baukonstruktion, Bauart (bauliche Brandlasten)
 - Feuerwiderstandsfähige Bauweise zur Sicherstellung von Brandbekämpfungsmöglichkeiten und Standfestigkeit auch nach einem Brandschaden.
 - Weitgehende Vermeidung brennbarer Bauteile und Baustoffe zur Minimierung der Brandentstehungs-/Brandweiterleitungsgefahren.
- Brandfolgeschäden
 - Weitgehende Erhaltung der Produktionsmöglichkeiten auch nach einem Brandschaden.
 - Je nach Gefahrenlage Schaffung mehr oder weniger flächenbegrenzter Produktionsbereiche.
- Zündquellen
 - Vermeidung eines Brandes durch Beseitigung oder Kapselung von Zündquellen,
 - z. B. bei elektrischen Anlagen, Feuerarbeiten, Anlagen- und Verfahrenstechnik.

- Gefahrerhöhung, ungünstige Risikoverhältnisse
 - Vermeidung oder Begrenzung von Gefahren und Risiken, die über das normale Betriebsrisiko hinausgehen,
 - z. B. bei nicht gesprinklertem Hochregallager, ungeschützter Lackieranlage, Hydraulikstation, Wärmeträgerölanlage, schlechter Bausubstanz usw.
- Vorschäden
 - Schadenhistorie zur Abschätzung der unternehmensspezifischen Gefahren-situation.
 - Maßnahmen zur zukünftigen Schadenverhütung.
- Anlagentechnischer Brandschutz
 - Technische Maßnahmen zur Branderkennung und Brandbekämpfung, um einen Entstehungsbrand wirksam zu beherrschen.
 - Minimierung des Schadenausmaßes zur weitgehenden Aufrechterhaltung der Produktionsfähigkeit.
- Organisatorischer Brandschutz
 - Minimierung der Schadeneintrittswahrscheinlichkeit,
 - mehr oder weniger ausgeprägtes Sicherheitsbewusstsein, Managementsystem usw.
- Abwehrender Brandschutz
 Aktive Brandbekämpfung mit dem Ziel wert- bzw. funktionserhaltender Brandbekämpfungsmaßnahmen (Hilfsfristen, Löschmittelverfügbarkeit).
- Intrusionsschutz/Brandstiftungsgefahr
 - Vermeidung von Brandstiftungsereignissen durch externe Gelegenheitstäter.
 - Zutrittskontrolle und Vermeidung von Gebäudeanlagerungen und Lagerung brennbarer Materialien an Grenzen des Werksgeländes.
- IT-Sicherheit
 - Weitgehende Absicherung der elektronisch gesteuerten Betriebs-/Produktionsabläufe,
 - Datensicherung.
- Engpasssituation
 - Verfügbarkeit einer Notfallplanung
 - Wiederbeschaffung von technischen Anlagen

- Ausweichmöglichkeiten, Redundanzen
- weitgehende Aufrechterhaltung der Produktions-/Betriebsabläufe.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Schutzinteressen und Anforderungen an den Brandschutz aus Sicht der Sachversicherung sind sehr komplex.

Im Vordergrund steht die substanzielle und funktionelle Objekterhaltung.

Um den Schutzinteressen und Anforderungen an den Brandschutz in Industrieunternehmen gerecht zu werden, bedarf es einer umfangreichen interdisziplinären Ingenieurleistung. Es reicht nicht aus, die Anforderungen an den Brandschutz z. B. nur auf den baulichen Brandschutz oder den anlagentechnischen Brandschutz zu reduzieren.

Die Anforderungen erfüllen kann nur ein aus allen Facetten bestehendes Brandschutzkonzept. Insoweit ist aus Sicht der Sachversicherung und sicher auch der Unternehmen zu wünschen, dass in Zukunft unter anderem auch im Zuge von Baugenehmigungsverfahren in der Industrie der sicherheits-/brandschutztechnische Blickwinkel deutlich breiter angelegt wird als dies bisher der Fall war.

SCHUTZINTERESSEN UND ANFORDERUNGEN AN DEN BRANDSCHUTZ AUS SICHT DER INDUSTRIE

Bernhard Tschoepe

Bayer Schering Pharma AG, Standortsicherheit, Berlin

EINFÜHRUNG

Für die Industrie als Ganzes zu sprechen, ist genau so verwegen, wie für die unterschiedlichen Brandschutzanforderungen, die sich aus den verschiedenen Aufgaben, Zielen und Interessenslagen heraus ergeben. Die Abläufe in einem Ameisenhaufen sind wohl eher überschaubar und nachzuverfolgen als die Vielfalt der Anforderungen in den Industrieunternehmen der Republik.

Hier findet man Einrichtungen, die sich in ihrer Ausdehnung und Eigenart, in der Zahl dort zu erwartender Personen und spezieller Arbeitsgefahren, in der Art und Menge von Gefahrstoffen sowie spezieller Infrastruktureinrichtungen, in der Bauweise der Anlagen wie in der Geometrie und Ausdehnung der bebauten Flächen stark unterscheiden von dem, was sonst im öffentlichen Bereich an Brandrisiken zu erwarten ist.

Für diese Anlagen müssen oft besondere Anforderungen zum Brandschutz geltend gemacht werden. Die nachstehenden Ausführungen zum Brandschutz konzentrieren sich auf das Schadenfeuer, nicht auf den Zerknall, die Explosion, die natürlich dann auch als Nebenwirkung wieder einen Brand nach sich ziehen kann.

Um eine einfache Anforderung vorweg zu nehmen: sinnvoll soll er sein, der Brandschutz in der Industrie und nachvollziehbar. Forderungen nach der E 60-Leitung an einer ungeschützten Stahlstütze, nach einer feuerbeständigen Wand auf einer feuerhemmenden Decke oder Auflagen für eine manuell auslösbare Sprinkleranlage lassen diesen Wunsch nicht ganz unberechtigt erscheinen.

Die komplexen Zusammenhänge, die nach einer Brandentstehung Auswirkungen auf die Bauteiltemperatur haben, sind spätestens allgemein bekannt, seit dem sie von Dr. Schubert ausgewertet und veröffentlicht wurden. Sie haben natürlich auch Anspruch darauf, im Bereich der Industrie zu gelten, können aber in diesem Beitrag aus Zeitgründen nicht näher behandelt werden.

Auch in der Industrie gilt als grundsätzliches Gebot, die Sicherheit von Personen, von Beschäftigten wie Besuchern und Anwohnern, die sich in dem Zuständigkeitsbereich eines Unternehmens aufhalten, zu gewährleisten. Dort, wo höhere oder auch nur andere Risiken vorhanden sind, die andere, spezielle Gefahrenabwehrmaßnahmen erfordern als sonst, muss der Betreiber dafür sorgen, dass durch geeignete Gegenmaßnahmen das Gesamtrisiko so weit gemindert wird, wie es im üblichen Leben eine Gesellschaft bereit ist zu tragen (Bild 1).

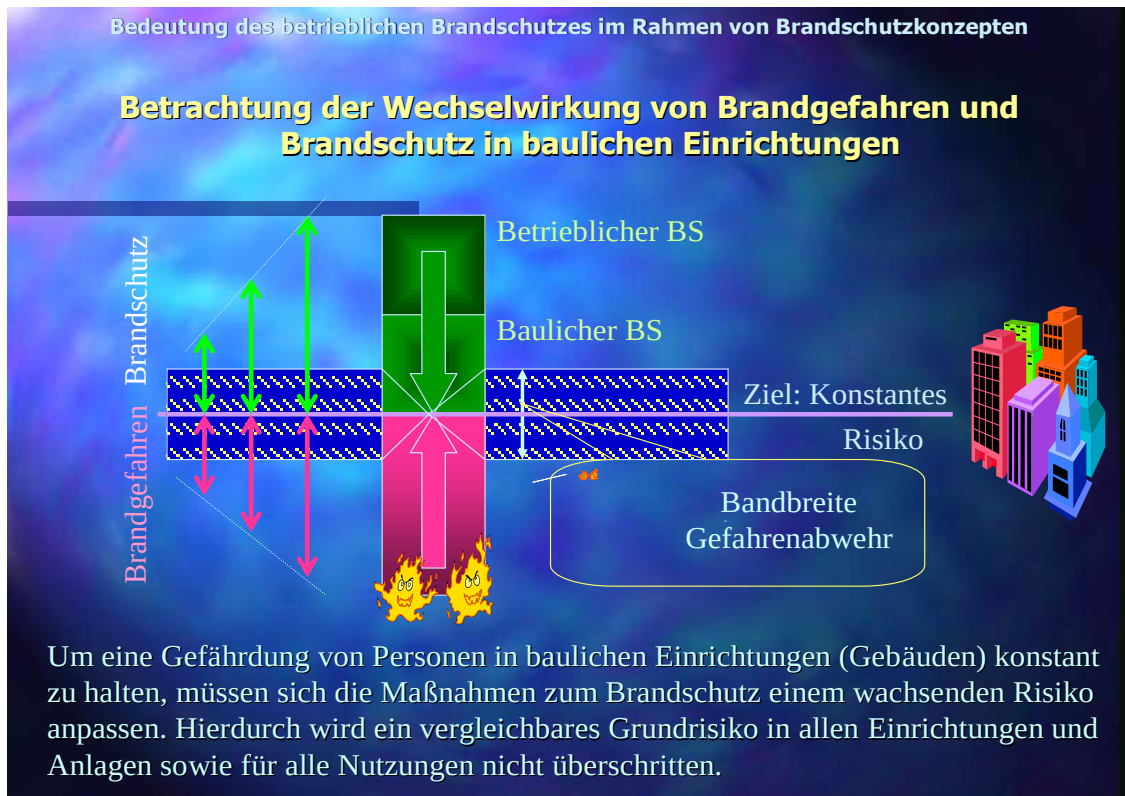


Bild 1 Höhere Risiken sind durch zusätzliche bauliche und betriebliche Brandschutzmaßnahmen zu kompensieren, Ziel ist ein konstantes Grundrisiko

Diese Gegenmaßnahmen im baulichen, betrieblichen und teilweise auch im organisatorischen Brandschutz sind weit gefächert, teilweise im Vorschriftenwerk manifestiert, teilweise müssen sie aber den spezifischen Anforderungen der unterschiedlichen Industriezweige angepasst werden. Hierzu bedarf es besonderer Fachkompetenz und besonderer Techniken. Klar ist: eine absolute Sicherheit gibt es so wenig, wie ein überhöhtes Risiko geduldet werden darf.

Hier leisten gerade die Unternehmen, unterstützt von den Berufsgenossenschaften und den Genehmigungsbehörden, von den Gewerbeaufsichten, allgemein aber eben auch durch eigene Fachkompetenz immer wieder Aufbauarbeit.

Nahezu nirgendwo sonst ist ein Mensch so sicher wie in einem Industrieunternehmen, jedenfalls dann, wenn man der Statistik glaubt. Personenschäden verursacht durch Brände gibt es kaum.

In der Wohnung, im Rahmen der Freizeitgestaltung und besonders im Straßenverkehr ist ein Mensch danach deutlich höheren Gefahren ausgesetzt.

SCHUTZINTERESSEN DER INDUSTRIE

Die Schutzinteressen der Industrie sind von verschiedenen Zielrichtungen geprägt. Unsere Gesellschaftsform zwingt die global arbeitenden Unternehmen zu einer ständigen Gewinnoptimierung. Diese muss aber konform gehen mit dem Bestreben, den Bestand des Unternehmens nie zu gefährden. Insofern muss der Unternehmer den Spagat vollbringen, nur genau so viel an Sicherheit vorzusehen, wie nötig ist, um optimal wirtschaften und Risiken wohl gerüstet entgegentreten zu können. Schäden, die eintreten, müssen so aufgefangen werden, dass sich hieraus keine Gefahr für den Bestand des Unternehmens entwickeln kann. Die Kunst des Unternehmers liegt hier also genau in der Frage, den „Break even point“, zwischen den Interessen an einem möglichst hohen Gewinn und einem sicheren Betrieb zu finden. Die Feuerversicherer helfen, ihm dabei den Rücken frei zu halten.

Aus diesem Bestreben heraus entwickeln sich die Schutzinteressen der Industrie nach einer hohen Funktionssicherheit bei allen Arbeitsabläufen.

Eine enorme Störgröße bezüglich dieser Funktionssicherheiten ist in der Regel ein unkontrollierter Brand. Diesen zu verhindern, weil er Einfluss auf alle Arbeitsabläufe hat, ist eine hohe Prämisse. Der Aufwand an Investitionen und insbesondere an laufenden Betriebskosten muss aber möglichst gering gehalten werden.

Die Schutzinteressen beim Brandschutz in der Zielrichtung der Funktionssicherheit sind klar zu definieren als:

- geringe Auswirkungen auf Anlagen und Einrichtungen bei einem Brand,
- (Sachwertschutz),
- Einhaltung der Personensicherheit und des Umweltschutzes,
- wenig Einschränkungen bei Arbeitsabläufen,
- geringer Aufwand an Investitionen und Instandhaltungen,
- Planungssicherheit durch abgestimmte, unstrittige Regelwerke,
- keine (bzw. nur geringe) Imageschäden bei einem Versagen.

Das Erreichen dieser Schutzinteressen hat direkte Auswirkungen auf den erzielbaren Profit. Das ungestörte Arbeiten der Beschäftigten und aller sonst im Un-

ternehmen anwesenden Personen ist ein wesentlicher Faktor für den Erfolg eines Unternehmens. Es wäre also falsch, den Unternehmen vorzuwerfen, sie hätten kein Interesse an Sicherheit, an Brandschutz. Nur sollte der mit wenig Aufwand verbunden realisierbar sein.

ANFORDERUNGEN AN DEN BRANDSCHUTZ

Aus diesem Anspruch heraus erwächst dann auch das Bedürfnis eines hohen Sachwertschutzes. Und Sachwertschutz ist heute mehr denn je auch eng verknüpft mit dem Umweltschutz.

Dieses hohe Maß an allgemeiner Sicherheit in den Unternehmen verlangt auch große Anstrengungen im Brandschutz.

Vereinheitlichung internationaler Anforderungen

Im Zeitalter der Globalisierung vergleichen die Unternehmen ihre Standorte uneingeschränkt und in allen Themenbereichen. Die angestrebte Funktionssicherheit und ein hohes Interesse an einem untadeligen Image führen dazu, dass mindestens die global operierenden Unternehmen vergleichbare Sicherheitsstandards weltweit anwenden.

Gleichwohl nutzt man Unterschiede in den Regelwerken, wenn sich dadurch Kosten reduzieren lassen. Die häufig als Formalien in Stein gemeißelten baurechtlichen Vorgaben der Bundesrepublik sind verglichen mit Anforderungen im außereuropäischen Ausland hart. So ist z. B. die Auflage im Baurecht, nach einer Lauflänge von max. 35 m einen Treppenraum zu erreichen, im asiatischen wie auch im amerikanischen Ausland eher selten; dort werden durchaus längere Fluchtwege akzeptiert.

Wenn aber heute bei einem Neubau die Aufwendungen für Brutto- und Netto-Geschoßflächen verglichen werden mit den Herstellungskosten, so ist das Volumen, das an Treppenräumen in einem Gebäudekomplex weniger benötigt wird, ein Vorteil, der sich in den Quadratmeterpreisen der Nutzflächen bemerkbar macht. Und so muss kritisch hinterfragt werden, ob das, was wir heute an Rettungsweglängen nach Baurecht vorhalten, auch tatsächlich für industriell genutzte Gebäude zwingend notwendig ist.

Diese Frage sei erlaubt, insbesondere aufgrund des eingangs erwähnten hohen Sicherheitsniveaus bei den in der Industrie beschäftigten Personen. Brandtote gibt es hier extrem selten und, klammert man Personen, die durch Explosionen zu Schaden kommen, aus, eher gar nicht.

In der Industrie werden in mehrgeschossigen Gebäuden, d. h. in der Verwaltung, der Forschung und Entwicklung, in der Kleinteileproduktion wie auch in der Logistik, Personen beschäftigt, die – anders als im öffentlichen Leben, im Wohnungsbau, in Schulen oder anderen öffentlichen Einrichtungen – im Le-

bensalter zwischen 18 und 65 Jahren, psychisch wie physisch als hoch leistungsfähig einzustufen sind.

Diese Personen halten sich in Gebäuden auf, die sie kennen, die in allen Punkten den baurechtlichen Anforderungen entsprechen, die über Notfallpläne verfügen, in die die Mitarbeiter eingewiesen wurden, die immer häufiger mit Brandfrüherkennungseinrichtungen und oft mit Warnanlagen ausgestattet werden. Ein Notfall in einem solchen Betrieb ist sicher auch ein überraschendes Ereignis, aber eines, auf das die anwesenden Personen vorbereitet wurden, auf das man sich eingestellt hat. Dass ein derartiges Ereignis in der Regel ohne Schaden für die Betroffenen abläuft, ist insofern nicht verwunderlich.

Vergleicht man damit die Situation der Personen im öffentlichen Bereich, insbesondere im Wohnungsbau, so drängt sich die Frage auf, ob hier, was den baulichen Brandschutz in einem standardmäßigen mehrgeschossigen Industriegebäude betrifft, nicht ein wenig übertreiben.

Wir, als industrielle Brandschützer müssen uns jedenfalls immer wieder vor den Unternehmern rechtfertigen, wieso hier der Gesetzgeber so gnadenlos abweichungsfrei gleiche Anforderungen an doch unterschiedliche Risiken stellt. Meine Bitte wäre, darüber einmal "risikoorientiert" nachzudenken.

Muster-Leitungsanlagenrichtlinie

Dass sich die Industrie überschaubare Regelwerke wünscht, sollte verständlich sein. Als Beispiel sei hier die Muster-Leitungsanlagenrichtlinie herangezogen. Flure wurden schon immer gern als horizontale Installationskanäle missbraucht. Die Sicherheit der Flucht- und Rettungswege verlangt ohne Frage klare Vorgaben, was die Verfügbarkeit dieser Einrichtungen angeht. Welcher mittelständische Handwerker soll aber bitte noch in der Lage sein, das vorliegende Vorschriftenwerk für Leitungsanlagen zu beherrschen? Wenn es beispielsweise darum geht, oberhalb von Zwischendecken in Fluren rechtskonform zu installieren, kommt ein Handwerksbetrieb nicht mehr ohne Sachverständigen aus. In meiner Tätigkeit als Gerichtssachverständiger habe ich noch keinen Zwischendeckenbereich erlebt, in dem keine Fehler vorhanden waren.

Die Leitungsanlagenrichtlinie ist viel zu komplex, in Verbindung mit den Zulassungsanforderungen an Zwischendecken wird das ein Verwirrspiel, das Fehler nahezu provoziert, das einen ständig zunehmenden Aufwand erfordert und insbesondere Nachinstallationen zu einem rechtlichen Abenteuer werden lässt.

Dass Dachdecker gute "Brötchengeber" der Feuerwehren sind, ist bekannt, Regelwerke sollten aber nicht unbedingt als Basis für den Broterwerb von Sachverständigen konzipiert werden! Meine dringende Bitte aus industrieller Sicht ist die der Vereinfachung dieses Regelwerkes. Nicht immer dickere Kommentare zur Umsetzung bringen uns weiter, sondern Vereinfachungen bei der Umsetzung (Bild 3).



Installationen in
Zwischendecken und
Doppelböden stellen
erhebliche
Brandlasten dar.

Bild 3 Die Vorschriften für Leitungsanlagen sind kaum noch zu überschauen, insbesondere in Verbindung mit Zulassungen für Zwischendecken.

Planungssicherheit

Im Rahmen von Investitionen ist es für einen Unternehmer immer sehr wichtig, Planungssicherheit zu haben. Für den planenden Brandschutz bedeutet das, klare, unmissverständliche Vorschriften vorzufinden, unabhängig davon, wo man in unserer Republik bauen will. Dieses Ansinnen ist offenbar schwer umzusetzen. Man mag glauben, dass die Folgen des Föderalismus im Baurecht beim Bauen in der Industrie aufgrund von Industriebaurichtlinie und DIN 18230 abgeschwächt werden. Die Industrie baut aber eben auch nach wie vor viel nach Baurecht, und da haben es alle Brandschützer schwer zu begründen, wieso es eine Vielzahl von Eigenarten von Bundesland zu Bundesland gibt – ohne erkennbare Notwendigkeit.

Zur Industriebaurichtlinie und zur DIN 18230 ist zu bemerken, dass ein einheitliches Regelwerk natürlich zu begrüßen ist, aber bitte dann auch einheitlich und abgestimmt mit anderen anzuwendenden Regelwerken.

Es hat lange gedauert, bis mit den Gewerberechtlern geklärt werden konnte, dass Fluchtwege im Industriebau länger sein dürfen als 35 m. In Genehmigungsverfahren gibt es noch immer das Verlangen, Entrauchungsmaßnahmen nicht nur nach der Muster-Industriebaurichtlinie festzulegen, sondern nach der DIN 18232. Diese dann in der Regel verschärften Anforderungen sind kaum nachzuvollziehen. Im Industriebau geht es darum, raucharme Schichten primär

für die Brandbekämpfung, ggf. auch Wärmeabzug zum Schutz der Bauteile zu schaffen. Personen, die im Brandfall flüchten müssen, schaffen das aus den schon bekannten Gründen auch ohne besondere Vorkehrungen zum Rauchabzug. Daher wurden die reduzierten Anforderungen der Industriebaurichtlinie an den Rauchabzug als ausreichend angesehen.

Wenn also ein Regelwerk – die Industriebaurichtlinie - Festlegungen zum Rauchabzug trifft, dann sollte die Einhaltung dieser Vorschriften ausreichen. Es macht keinen Sinn, zusätzlich die verschärften Anforderungen der DIN 18232 zu erfüllen, die sich orientieren an dem Ziel, die Flucht und Rettung von Personen zu gewährleisten. Dieses Schutzziel ist im reinen Industriebau nur abgeschwächt vorhanden.

Örtliche Unterschiede und das Bauen im Bestand

Die gerade angesprochene Planungssicherheit wird weiterhin von einem Örtlichkeitsfaktor belastet. Wir bauen in der Bundesrepublik heute in der Regel dort, wo schon Fabriken oder Anlagen vorhanden sind. Selten werden vollständig neue Werke erstellt, das erfolgt mehr im Ausland. Das Bauen im Bestand ist also der Regelfall. Die dann hier notwendig werdenden Brandschutznachweise oder auch die Brandschutzkonzepte erfordern in der Regel Kompromisse zwischen dem, was einmal genehmigt wurde, und dem, was nach aktuellem Bau-recht geleistet werden müsste.

Was dann errichtet werden kann, ist meistens abhängig von der Erfahrung des Brandschutzgutachters und von dessen Geschick, es der Genehmigungs-behörde gegenüber zu begründen. Je weniger Sachkenntnis und Erfahrung bei den Genehmigungsbehörden vorliegen, desto schwieriger wird es, ungewöhnliche, aber brandschutzmäßig durchaus vertretbare und sinnvolle Maßnahmen genehmigt zu bekommen. So kommt es vor, dass eine Lösung, die an einem anderen Ort bereits erfolgreich realisiert wurde, auf höchsten Widerstand der Genehmigungsbehörde stößt.

Es ist ohne Frage schwer, einen Wissenstransfer von Stadt zu Stadt, von Land zu Land zu organisieren, um einen einheitlichen Informationsstand bei den Genehmigungsbehörden zu erreichen. Das Fehlen dieses Informationsaustausches ist jedenfalls aus Sicht der Industrie ein Manko, weil damit mindestens die Dauer eines Baugenehmigungsverfahrens unberechenbar werden kann, im schlimmeren Fall auch die Realisierung des Bauvorhabens. Meine Bitte wäre, den Wissenstransfer durch ein Informationskataster o. Ä. zu fördern.

Natürlich benötigt der Planer eine besondere fachliche Unterstützung. Der Brandschutz ist viel zu komplex geworden, als dass ein Einzelner dieses Fachgebiet vollständig abdecken kann. Sehr erfreulich ist es, dass sich inzwischen verschiedene Universitäten und Fachhochschulen dieser Aufgabenstellung angenommen haben und Fachleute für Brandschutz ausbilden. Es ist auch gut, dass Brandschutzbüros mit hoher fachlicher Kompetenz entstanden sind, die

fähig sind, die Planer zu unterstützen und zu beraten. Sie müssen sich jedoch auch intensiv mit der Gefahrenabwehr auseinander setzen. Nur wer beide Fachgebiete - den vorbeugenden und den abwehrenden Brandschutz - beherrscht und im Auge behält, kann das Zusammenwirken der Maßnahmen beurteilen und so zu einem optimalen, für alle Seiten befriedigenden Ergebnis (Brandschutzkonzept) gelangen.

Deregulierungen mit Augenmaß und mit der Bewusstsein der Verantwortung

Aus diesen Erkenntnissen heraus ist es verständlich, dass die Industrie versucht, ihre Interessen mit den Anforderungen nach Deregulierung zu verdeutlichen. Dass hier in vielen Bereichen versucht wird, Gesetzestexte und Vorschriftenwerke zu entrümpeln, Auflagen zu erleichtern und in einigen Fällen auch auf die Ansprüche und Wünsche der Industrie einzugehen, ist durchaus erfreulich. Wie sich dieses Vorhaben aber nun im Baurecht tatsächlich auswirkt, ist eher kontraproduktiv.

Der Politik ist hier vorzuwerfen, den Begriff Deregulierung eher missbräuchlich zu verwenden, denn im Augenblick erfolgt eine totale Verschiebung der Verantwortung, weg von einer Mitverantwortung des Genehmigenden, hin zu einer ausschließlichen Betreiberverantwortung, die beim Bauherrn und bei den von ihm mit eingebundenen Fachfunktionen liegt.

Industriebauten sind oft Sonderbauten, die mit dem üblichen städtebaulichen Bauweisen nur bedingt vergleichbar sind. Bei dem Bestreben, diese baulichen Einrichtungen und Anlagen sicher betreiben zu wollen, sowohl für Personen, wie aber eben auch für die Unternehmen, bedarf es einer hohen Fachkompetenz und einer aus meiner Sicht gemeinschaftlichen gesellschaftlichen Verantwortung. Dabei müssen nicht nur der Betreiber und die von ihm eingebundenen Sachverständigen überzeugt davon sein, dass diese bauliche Einrichtung allen Anforderungen an die Sicherheit gerecht wird. Diese Überzeugung muss auch die Genehmigungsbehörden teilen, um sich an der damit verbundenen Verantwortung beteiligen zu können. Ein solches Vorgehen wurde über Jahrzehnte erfolgreich praktiziert, unterstützt vom Sachverstand, von der Erfahrung und einer unverzichtbarem Augenmaß der Bauaufsichtsbehörden.

Sicherheit selber ist aber ein dehnbarer Begriff, der letztendlich von der Gesellschaft und von den von ihr gewählten Repräsentanten festgelegt wird. Sicherheit ist aber auch das, was wir uns leisten können und das, was wir uns leisten wollen.

Erinnert sei in diesem Rahmen an die Diskussion im Gesundheitswesen. Wenn aber Sicherheit – und dazu gehört eben auch der Brandschutz – ein von der Gesellschaft definiertes Maß ist, dann muss die Gesellschaft auch bereit sein, sich an den Festlegungen zum Sicherheitsniveau bei besonderen Einrichtungen wie Sonderbauten durch ihre Fachabteilungen, die Bauaufsichten, zu beteiligen. Die Industrie benötigt diese Anlagen, nicht zuletzt auch, um zu produzieren und

Arbeitsplätze zu schaffen. Das Verschieben der Verantwortung allein auf den Betreiber und auf Sachverständige zieht Verzögerungen und Verteuerungen in der Planung nach sich, bei einem zweifelhaften Erfolg für die Sicherheit, die der Bürger berechtigt fordert.

Zuverlässigkeit von Innovationen

Jeder Bauherr, auch in der Industrie, versucht heute, nach dem Stand der Technik zu bauen. Letztendlich verpflichtet ihn das auch Baurecht hierzu. Gleichwohl muss man den so genannten „Stand der Technik“ aber auch in Zweifel ziehen, der gerade den Brandschutz im letzten halben Jahrhundert stetig verändert hat.

Beispielsweise musste Asbest – einst als Brandschutz unersetzbar – nach der Entdeckung der damit verbundenen Gesundheitsgefahren aus dem Verkehr gezogen und ersetzt werden.

Dem folgten die mit Clophen statt mit Öl gefüllten Transformatoren, hoch gepriesen als brandsicher – die dann, als die damit verbundenen Umweltgefahren klar wurden und an die Öffentlichkeit gerieten, ebenfalls ersetzt werden mussten. Das Halon, als Wunderwaffe im Bereich der Löschmittel, wurde dann – zumindest hier in der Bundesrepublik – sehr schnell aus dem Verkehr gezogen, leider auf eine Art und Weise, die dem Umweltschutz eher abträglich war und deren Folgen heute vielleicht auch zu den Klimaauswirkungen beitragen.

Inzwischen reden wir über die den leistungsfähigen Schaumlöschmitteln beigefügten Perfluorooctansulfate (PFOS) bzw. die damit verbundenen Folgen für die Umwelt. Gerade in der Chemischen Industrie bzw. überall dort, wo mit leicht brennbaren Flüssigkeiten gearbeitet wird, verursachen und die Schaummittel erhebliches Kopferbrechen.

Es sei hier einmal kritisch angemerkt, dass es zwar durchaus erfreulich ist, wenn viele Experten, Institute und Unternehmen im Bereich des Brandschutzes forschen und entwickeln. Aber, neigen wir als innovationsfreudige Gesellschaft nicht auch im Brandschutz oft all zu schnell dazu, auf die Leistungsfähigkeit eines neuen Produktes zu setzen? Hinterfragen wir nicht zu wenig mögliche Nachteile? Nehmen wir Werbemaßnahmen an, um nicht als rückständig zu gelten?

Diese Betrachtung lässt sich auch auf den baulichen Brandschutz übernehmen. Beispielsweise wurde im Centre Pompidou in Paris die tragende Strahl-Konstruktion aus mit Wasser gefüllten Hohlprofilen errichtet, um bei einem Brandfall die Wärme flächenmäßig zu verteilen und punktförmige kritische Temperaturbereiche zu vermeiden. Dieser brandschutztechnische Fortschritt erwies sich letztendlich als Korrosionsdesaster, als Einrichtung, die ständig durch Korrosion Undichtigkeiten innerhalb der Außenfassaden aber auch innerhalb der Hohlprofile hervorrief und die den Betreiber alles andere als glücklich werden ließ.

Und sind die Beschichtungen, die wir heute im Stahlbau verwenden, um diesen Bauteilen einen gewissen Feuerwiderstand anzueignen, und die den Brandversuch im Labor durchaus erfolgreich bestehen, für die Praxis tatsächlich sinnvoll? Den Beschichtungen wird u. a. ein Flächengewicht vorgegeben, weil die Schichtdickenmessung jeweils nur eine punktförmige Aussage vermittelt. Wie wird das im Anwendungsfall geprüft? Auch ist kritisch zu hinterfragen, wie denn bei Schweißarbeiten vorgegangen wird und wie bei mechanischen und chemischen Beanspruchungen, die im Alltag allgegenwärtig sind? Durch Witterungseinflüsse und thermische Dehnungen werden diese Beschichtungen belastet, oft genug, ohne dass sich der Betreiber dessen bewusst ist. Für ihn ist diese Beschichtung eben nichts weiter als ein Anstrich.

Nun noch ein letztes Beispiel; kaum einem Unternehmer ist es heute klar, wieso Feuerlöscher als Einrichtungen, die regelmäßig einer ausgiebigen, ausschließlich von Fachpersonal durchgeführten Wartung und Kontrolle, einer eingehenden Inspektion unterliegen, nun plötzlich in der Lebensdauer beschränkt sein sollen? Und wenn es dann tatsächlich so sein muss, was Juristen durchaus anders sehen, dann fragt man natürlich nach dem Vergleich ?

Ein Kraftfahrzeug, das häufig ein deutlich höheres Lebensalter erreicht, das durchaus erhebliche Gefahren für Personen mit sich bringen kann, ein derartige technische Einrichtung ist nicht in der Lebensdauer beschränkt. Und Druckbehälter (um solche handelt es sich hier auch), z. B. Propangasflaschen, die ein deutlich höheres Risiko darstellen, haben keine Lebensdauerbegrenzung. Ist das nun eine notwendige Vorkehrung, um die Sicherheit im Gebäude zu gewährleisten, oder ist es eine Maßnahme zur Umsatzsteigerung?

In jedem Fall ist dieses Vorgehen konträr zur Betriebssicherheitsverordnung!

Innovationen sind unverzichtbar, gerade wenn man bemüht ist, die Sicherheit der Bürger, aber auch derjenigen, die mit Gefahren fertig werden müssen, also der Feuerwehren zu verbessern. Aber neuen Produkte oder Maßnahmen müssen überprüft werden und zweifelsfrei wirksam sein und sie müssen sich im praktischen Anwendungsfall auf Dauer bewähren.

Aktualität und Konformität von Regelwerken

Regelwerke können immer nur für einen Teil von Anwendungsfällen zutreffend sein. Sie sind neuen Erkenntnissen und Erfahrungen unterworfen und spiegeln somit eine augenblickliche Situation wieder, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nicht selten bereits überholt ist. Das bedeutet aber auch, dass neue Erkenntnisse zeitnah in das Vorschriftenwerk einzuarbeiten sind. Gute Beispiele für das Bemühen um Aktualität gibt es ohne Frage. Aber warum ist z. B. die Überarbeitung der DIN 18230 so zähflüssig?

Wäre es nicht sinnvoll, hier einen ständigen Ausschuss einzuberufen, der kontinuierlich Erkenntnisse und Erfahrungen in das aktuelle Vorschriftenwerk

einfließen lässt? Hierdurch würde sich kein Berg von Änderungswünschen und Pflichten aufbauen, und die Anwender hätten die Gewähr, nach einem aktuellen Stand der Technik zu planen und zu bauen.

Ähnlich ist es mit grenzwertigen Vorschriften. Der Ersatz der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten durch die Betriebssicherheitsverordnung macht es nötig, dieses Vorschriftenwerk zu überarbeiten. Leider ist festzustellen, dass in den damit beauftragten Gremien die bekannten baulichen Brandschützer ebenso fehlen wie die Feuerwehren. Hier bitte ich nicht, hier fordere ich, Fachleute der betroffenen Disziplinen bei der Überarbeitung an den Tisch zu holen.

Und wenn in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe zukünftig Gefährdungsanalysen zum Brandschutz gefordert werden, dann sollte die Anleitungen dazu von Personen erarbeitet werden, die sich täglich mit dieser Aufgabe auseinandersetzen. Die Gefahr, das sonst hieraus ein Vorschriftenwerk mit neuen, ggf. sogar gegenläufigen Anforderungen wird, ist sonst zu groß.

Schwierig sieht es auch mit der Konformität in den Forderungen von Feuerversicherern und den Baubehörden aus. Hier bestehen grob betrachtet ungleiche Schutzziele, Personen- bzw. Sachwertschutz. Die Art der Umsetzung ist aber in vielen Punkten ähnlich.

Die Feuerversicherer kommen anders als die Baubehörden regelmäßig in die Unternehmen. Sie erwarten hier die Umsetzung aktueller Erkenntnisse im Brandschutz, teilweise auch Einrichtungen und Maßnahmen, die deutlich über das hinaus gehen, was baurechtlich zu realisieren ist bzw. was der Bestandschutz gestattet. Die Anwender stehen dann vor dem Problem, gerade bei abgeschlossenen Bauvorhaben oder beim Bauen im Bestand nachträglich wieder nachbessern zu müssen.

Meine Bitte wäre hier, von vornherein die Feuerversicherer intensiv einzubinden in die Erarbeitung von Vorschriften mit dem Ziel, frühzeitig Planungssicherheit zu haben, um allen Anforderungen gerecht zu werden.

Ich wäre ein schlechter Feuerwehrmann, wenn ich mir an dieser Stelle nicht noch eines wünschen würde, mehr Anerkennung und Berücksichtigung von Werkfeuerwehren in einem Unternehmen. Das bestehende Baurecht ist danach ausgerichtet, dass öffentliche Gefahrenabwehrkräfte nach einer Interventionszeit von 8 bis 12 Minuten zur Stelle sind und tätig werden. Diese Zeiten liegen bei den Werkfeuerwehren deutlich niedriger. Noch viel mehr zählen hier die Ortskunde und die Arbeit in der Prävention, die von den betrieblichen Feuerwehren geleistet wird. Auch Werkfeuerwehren können Brände nicht verhindern, aber sie wissen, wie sie bei diesen Ereignissen in ihren speziellen, begrenzten Örtlichkeiten zu handeln haben. Insofern mein Appell, Berücksichtigen Sie diese für eine Gefahrenabwehr enormen Vorteile stärker als bisher bei der Planung, letztendlich auch, um diese Einrichtungen zu erhalten.

Und lassen Sie bitte auch die Kenntnisse und Erfahrungen des Führungspersonals der Werkfeuerwehren verstärkt in die Planung einfließen. Wieso ein völlig fremder Brandschutzgutachter ein Brandschutzkonzept für einen Industriebau erstellen darf, der zuvor weder das Unternehmen noch die hier vorhandenen Produktionsverfahren kennen muss, aber nicht der qualifizierte Leiter der dort vorhandenen Werkfeuerwehr, wird mir wohl ein Geheimnis bleiben. Die immer wieder zitierte Unabhängigkeit vom Unternehmen ist fragwürdig, schließlich werden beide von dem bezahlt, der sie beauftragt. Nur, der Leiter der Werkfeuerwehr muss mit der Lösung leben. Für mich ist klar, wie es besser aussehen könnte.

AUSBLICK UND SCHLUSSWORT

Um den Brandschutz für die Industrie steht es nicht schlecht. Allerdings muss er sich nicht nur in nationalen, sondern zunehmend im internationalen Maßstab messen lassen.

Die Anforderungen der Industrie hinsichtlich einer hohen Funktionssicherheit verlangen auch einen effektiven Brandschutz, der wirkungsvoll Bränden vorbeugt und eine umfassende Gefahrenabwehr ermöglicht. Beide Kriterien sind unter dem Gesichtspunkt höchster Wirtschaftlichkeit zu erfüllen. Für unsere Gesellschaft, die von ihren Industrieprodukten leben muss, ist es existentiell, diese Ziele zu erreichen.

Die Verantwortung der Unternehmer, sichere Anlagen zu bauen und zu betreiben, sollte unterstützt werden von dem politischen Willen, Restrisiken zu tragen.

Hierzu ist es notwendig, Vorschriftenwerke ständig aktuell zu halten, aber auch zu straffen, den Genehmigungsbehörden gleichartige Vorschriftenwerke an die Hand zu geben, mit denen sie einheitlich arbeiten können, Fachinstanzen in Form von Gutachtern und Sachverständigen heranzubilden, die alle Aufgabenbereiche im Brandschutz, die Planung sowie die Gefahrenabwehr, beherrschen. Zu fördern sind zuverlässige, leistungsstarke Innovationen im Brandschutz, die uns helfen, weiter voran zu kommen, zur Stärkung unsere Gesellschaft.

Gary Daniels	HOARE LEA Fire Engineering Hoare Lea Royal Exchange Cross Street M2 7FL Manchester Great Britain
Akademischer Direktor Dr.-Ing. Reinhold Dobbernack	Technische Universität Braunschweig Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dr.-Ing. Burkhard Forell	Technische Universität Braunschweig Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Ltd. Branddirektor Dipl.-Phys. Hans-Joachim Gressmann	Stadt Braunschweig Fachbereich Feuerwehr Feuerwehrstraße 1 38114 Braunschweig
Rainer Gellings	Sachverständigenbüro für Brandschutz Dr.-Ing. T. Heins Tiergartenstraße 29 47533 Kleve
Dr.-Ing. Eckart Hagen	Hagen Ingenieure für Brandschutz Keekener Straße 98 a 47533 Kleve
Dr.-Ing. Thomas Heins	Sachverständigenbüro für Brandschutz Tiergartenstraße 29 47533 Kleve
Dr.-Ing. Anja Hofmann	Fachgruppe VII.3 Brandingenieurwesen Abteilung Bauwerkssicherheit Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) Unter den Eichen 87 12205 Berlin

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser	Technische Universität Braunschweig Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dipl.-Ing. Björn Kampmeier	Technische Universität Braunschweig Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dipl.-Ing. Udo Kirchner	Sachverständigenbüro Halfkann + Kirchner Richard-Lucas-Straße 4 41812 Erkelenz
Dr.-Ing. Friedrich Mehl	Regierungspräsidium Leipzig Sächs. Landesstelle für Bautechnik Postfach 10 13 64 04013 Leipzig
Ltd. Branddirektor Dipl.-Ing. Joseph Messerer	Branddirektion München An der Hauptfeuerwache 8 80331 München
Reiner Milski	WAGNER Alarm- und Sicherheitssysteme GmbH Niederlassung Berlin Am Müggelpark 19 15537 Gosen – Neu Zittau
Geschäftsführer Dipl.-Ing. Andreas Pflugradt	HDI Sicherheits Technik GmbH, HST Riethorst 2 30659 Hannover
Oberingenieur Dr. -Ing. Ekkehard Richter	Technische Universität Braunschweig Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dipl.-Ing. Thomas Sommer	DIN - Deutsches Institut für Normung 10772 Berlin

Oberbrandrat Dipl.-Phys. Georg Spangardt	Berufsfeuerwehr Köln Scheibenstraße 13 50737 Köln
Dipl.-Ing. Bernhard Tschöpe	Brandschutzsachverständiger Göllweg 19 12107 Berlin
Dr.-Ing. Jens Upmeyer	Hagen Ingenieure für Brandschutz Keekener Straße 98 a 47533 Kleve
Dipl.-Ing. Karl Wallasch	HOARE LEA Fire Engineering Glen House 200-208 Tottenham Court Road W1T 7PL London Great Britain
Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Wathling	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung - VI E2 - Württembergische Straße 6 10702 Berlin
Regierungsdirektor a. D. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wesche	Dönhoffstraße 88 51373 Leverkusen
Dr.-Ing. Jochen Zehfuß	hhpberlin Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH Rotherstraße 19 10245 Berlin

ANHANG 1

Anschriften der Referenten und Sitzungsleiter

ANHANG 2

Kurzvorstellung des Veranstalters (iBMB / MPA)

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ (iBMB)



TU Braunschweig

Das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig gehört zum Fachbereich für Bauingenieurwesen. Es ist ein Gemeinschaftsinstitut von vier Fachgebieten:

Baustoffe und Stahlbetonbau	Prof. Dr.-Ing. H. Budelmann	(Tel. -5405)
Struktur und Anwendung der Baustoffe	Prof. Dr.-Ing. H. P. Großkurth	(Tel. 22077-0)
Massivbau	Prof. Dr.-Ing. M. Empelmann	(Tel. -5499)
Brandschutz und Grundlagen des Massivbaus	Prof. Dr.-Ing. D. Hosser	(Tel. -5441)
Geschäftsführender Leiter:	Prof. Dr.-Ing. H. Budelmann	(Tel. -5405).

Aufbau und Gliederung des iBMB entsprechen der Vielfalt der Arbeitsgebiete, in denen Bauingenieure, Chemiker, Physiker, Metallkundler, Mineralogen, Maschinenbauer, Informatiker und Elektrotechniker tätig sind. Die Themen der Lehre und Forschung umfassen zum einen das traditionelle Gebiet der grundlegenden Untersuchungen des Festigkeits-, Verformungs- und Dauerverhaltens von Baustoffen und Bauteilen des konstruktiven Ingenieurbaus, im besonderen des Massivbaus. Das Ziel der Forschung ist, aus theoretischen oder experimentellen Untersuchungen gesicherte Erkenntnisse für die Anwendung in der Praxis zu finden. Zum anderen haben sich in den vergangenen Jahren aus neuen Fragestellungen vielfältige Forschungsarbeiten entwickelt. Zu nennen sind hier u.a. die Entwicklung und Anwendung von Polymerwerkstoffen und Faserverbundwerkstoffen im Bauwesen, Fragen zu Konstruktionen und Stoffen der Umwelttechnik sowie Aufgaben im Zusammenhang mit der Bauwerkserhaltung, Denkmalpflege, Dauerhaftigkeit, Instandhaltung und Instandsetzung sowie zur Zuverlässigkeitsanalyse.

Typisch für Braunschweig sind theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Brandverhalten von Baustoffen, Bauteilen und Tragwerken, zur Entstehung und Ausbreitung von Bränden sowie zur risikogerechten Planung von Gebäuden.

Eine enge Verknüpfung von Forschung und Materialprüfung ist kennzeichnend für die Arbeitsweise des iBMB.

Beethovenstraße 52
D-38106 Braunschweig
Tel. 05 31/391-5400
Fax 05 31/391-5900

Nebenstelle:

Hopfengarten 20
D-38106 Braunschweig
Tel. 05 31/22077-0
Fax 05 31/22077 44

MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN BRAUNSCHWEIG (MPA)



Die Materialprüfanstalt für das Bauwesen Braunschweig (MPA) ist seit dem Jahre 1963 Bestandteil des IBMB. Sie umfasst zur Zeit 7 Abteilungen:

Mechanische Technologie	Dr.-Ing. Gutsch	(Tel. -5446)
Physik der Baukonstruktion	Dipl.-Phys. Krause	(Tel. -5451)
Brandschutz	Frau Dr.-Ing. Rohling	(Tel. -5407)
Chemie, Physik und Umwelt	Dr.-Ing. Wobst	(Tel. -5427)
Bauwerkserhaltung und Bauwerksabdichtung	Dr. Herrmann	(Tel. -8251)
Qualitätswesen, Messtechnik und zentrale Dienste	Dipl.-Ing. Rusack	(Tel. -5593)
Zertifizierung	Dr.-Ing. Hinrichs	(Tel. -5902)
Vorstand:	Prof. Dr.-Ing. Budelmann	(Tel. -5405)
	Prof. Dr.-Ing. Empelmann	(Tel. -5499)
	Dr.-Ing. Laube	(Tel. -5420)
	Dr.-Ing. Hinrichs	(Tel. -5902)

Die MPA Braunschweig erfüllt unter der Aufsicht des Niedersächsischen Ministers für Wirtschaft, Technologie und Verkehr als fachlich unabhängige Landeseinrichtung vielfältige Aufgaben u.a.

- Durchführung von mechanischen, chemischen, physikalischen und elektrischen Prüfungen an Baustoffen, Werkstoffen und Konstruktionen zur Gütebestimmung, Festigkeitsforschung oder zur Abwehr von Sach- und Personenschäden.
- Prüfung und Überwachung von industriellen und sonstigen Erzeugnissen auf ihre Übereinstimmung mit technischen Anforderungen oder Angaben in Rechts- und Verwaltungsvorschriften, Normen, Lieferbedingungen, Gütevorschriften oder Vereinbarungen.
- Beratung und Information zur Förderung der gewerblichen Wirtschaft.
- Prüfungen und Bewertungen zur Einhaltung bauaufsichtlicher oder gutachterlicher Forderungen.
- Zulassungsprüfungen neuer Baustoffe und Bauarten.
- Entwicklung und Verbesserung von Prüfverfahren, Maschinen und neuen Technologien.
- Mitarbeit bei der Erstellung von Normen und Richtlinien im nationalen und internationalen Bereich.

Seit Jahrzehnten ist die MPA Braunschweig im bauaufsichtlichen Bereich als Prüf-, Überwachungs-, und neuerdings auch als Zertifizierungsstelle anerkannt und als Prüflabor nach DIN EN ISO A7025 akkreditiert.

ANHANG 3

VERZEICHNIS DER SCHRIFTEN AUS DEM iBMB

In der Schriftenreihe des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig sind bisher die im folgenden aufgeführten Hefte erschienen.

Vergriffene Titel können gegen Erstattung der Kopierkosten noch geliefert werden.

Lieferbare Schriften können über jede Buchhandlung bezogen werden oder direkt bei:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Bibliothek

Beethovenstr. 52, D-38106 Braunschweig

(Tel.: 0531/391-5454, Fax : 0531/391-5900)

Die Preisangaben verstehen sich zuzüglich Versandkosten.

Heft 1

Deters, R.

Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öliger Holzschutzmittel. Braunschweig, 1962. 20 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1962.

Vergriffen.

Heft 2

Kordina, K.

Das Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter Feuerangriff. Braunschweig, 1963. 19 S. Sonderdruck aus: Beton 13(1962), S.11-18, 81-84.

Vergriffen.

Heft 3

Eibl, J.

Zur Stabilitätsfrage des Zweigelenkbogens mit biegeweichem Zugband und schlaffen Hängestangen. Braunschweig, 1963. 92 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1963.

Vergriffen.

Heft 4

Kordina, K.; Eibl, J.

Ein Verfahren zur Bestimmung des Vorspannverlustes infolge Schlupf in der Verankerung. Zur Frage der Temperaturbeanspruchung von kreiszylindrischen Stahlbetonsilos. Braunschweig, 1964. 16 S. Sonderdruck aus: Beton- und Stahlbetonbau 58 (1963), S.265-268 ; 59(1964) S.1-11.

Vergriffen.

Heft 5

Ertingshausen, H.

Über den Schalungsdruck von Frischbeton. Braunschweig, 1965. 98 S. Zugl.: Hannover, Techn. Hochsch., Diss., 1965.

ISBN 3-89288-060-3.

7,67 €

Heft 6

Waubke, N.V.

Transportphänomene in Betonporen. Braunschweig, 1966. 76 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

ISBN 3-89288-061-1.

7,67 €

Heft 7

Ehm, H.

Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen.

Braunschweig, 1967.X, 148, 32 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1967.

Vergriffen.

Heft 8

Steinert, J.

Möglichkeiten der Bestimmung der kritischen Last von Stab- und Flächentragwerken mit Hilfe ihrer Eigenfrequenz. Braunschweig, 1967.93, 27 S. Zugl.: Braunschweig, Techn.

Hochsch., Diss., 1967.

Vergriffen.

Heft 9

Lämmke, A.

Untersuchungen an dämmschichtbildenden Feuerschutzmitteln. Braunschweig, 1967. 151 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1967.

Vergriffen.

Heft 10

Rafla, K.

Beitrag zur Frage der Kippstabilität aufgehängter Träger. Braunschweig, 1968. V, 177 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

Vergriffen.

Heft 11

Ivanyi, G.

Die Traglast von offenen, kreisförmigen Stahlbetonquerschnitten: Brazier-Effekt. Braunschweig, 1968. 89 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

Vergriffen.

Heft 12

Meyer-Ottens, C.

Brandverhalten verschiedener Bauplatten aus Baustoffen der Klassen A und B. Braunschweig, 1969. 20 S.

Vergriffen.

Heft 13

Fuchs, G.
Zum Tragverhalten von kreisförmigen Doppelsilos unter Berücksichtigung der Eigensteifigkeit des Füllgutes. Braunschweig, 1968. 82 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

Vergriffen.

Heft 14

Meyer-Ottens, C.
Wände aus Holz und Holzwerkstoffen unter Feuerangriff. Braunschweig, 1970. 18 S. Sonderdruck aus: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, H.56(1969).

Vergriffen.

Heft 15

Lewandowski, R.
Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten anhand von Betongütemürfeln und Bohrproben. Braunschweig, 1970. IX, 165 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1970.

Vergriffen.

Heft 16

Neubauer, F.-J.
Untersuchungen zur Frage der Rissesicherung von leichten Trennwänden aus Gips-Wandbauplatten. Braunschweig, 1970. 123 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1969.

Vergriffen.

Heft 17

Meyer-Ottens, C.; Kordina, K.
Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton; aufgestellt für den Fachverband Gasbetonindustrie. Braunschweig, 1970. 28 S.

Vergriffen.

Heft 18

Bödeker, W.
Die Stahlblech-Holz-Nagelverbindung und ihre Anwendung : Grundlagen und Bemessungsvorschläge. Braunschweig, 1971. 124 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1971.

ISBN 3-89288-057-3.

7,67 €

Heft 19

Meyer-Ottens, C.
Bauaufsichtliche Brandschutzvorschriften: Beispiele für ihre Erfüllung bei Wänden, Brandwänden und Decken. Braunschweig, 1971.

Vergriffen.

Heft 20

Liermann, K.
Das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbrückenpfeilern mit Rollenlagern. Braunschweig, 1972. 138 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.

ISBN 3-89288-056-5.

7,67 €

Heft 21

Janko, B.
Zum Trag- und Verformungsverhalten ebener Stockwerkrahmen aus Stahlbeton. Braunschweig, 1972. XI, 155 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.

ISBN 3-89288-055-7.

10,23 €

Heft 22

Nürnberger, U.
Zur Frage des Spannungsrißkorrosionsverhaltens kohlenstoffarmer Betonstähle in Nitratlösungen unter Berücksichtigung praxisnaher Verhältnisse. Braunschweig, 1972. 153 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.

ISBN 3-89288-054-9.

10,23 €

Heft 23

Meyer-Ottens, C.
Zur Frage der Abplatzungen an Betonbauteilen aus Normalbeton bei Brandbeanspruchung. Braunschweig, 1972. 90 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.

Vergriffen.

Heft 24

El-Arousy, T.H.
Über die Steinkohlenflugasche und ihre Wirkung auf die Eigenschaften von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge im frischen und festen Zustand. Braunschweig, 1973. 165 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1973.

ISBN 3-89288-053-0.

Vergriffen.

Heft 25

Rieche, G.
Mechanismen der Spannungskorrosion von Spannstählen im Hinblick auf ihr Verhalten in Spannbetonkonstruktionen. Braunschweig, 1973. 126 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1973.

ISBN 3-89288-052-2.

7,67 €

Heft 26

Tennstedt, E.

Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangsschnittgrößen unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens des Stahlbetons. Braunschweig, 1974. 141 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1974. ISBN 3-89288-051-4.

7,67 €

Heft 27

Schneider, U.

Zur Kinetik festigkeitsmindernder Reaktionen in Normalbetonen bei hohen Temperaturen. Braunschweig, 1973.IVX, 100 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1973.

Vergriffen.**Heft 28**

Neisecke, J.

Ein dreiparametrisches, komplexes Ultraschall-Prüfverfahren für die zerstörungsfreie Materialprüfung im Bauwesen. Braunschweig, 1974. 108 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1974.

ISBN 3-89288-050-6.

7,67 €

Heft 29

Kordina, K.; Maack, P.; Hjorth, O.

Traglastermittlung an Stahlbeton-Druckgliedern: Schlußbericht zum Forschungsvorhaben "Traglastermittlung von Stahlbeton-Druckgliedern" (AIF-Nr. 956). Braunschweig, 1974.IV, 95, 18, 18, 52, 87 S.

ISBN 3-89288-048-4.

10,23 €

Heft 30

Eibl, J.; Ivanyi, G.

Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit von Randbalken bei Stahlbetondecken: Schlußbericht. Braunschweig, 1974. 168 S.

Vergriffen.**Heft 31**

Kordina, K.; Janko, B.

Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau: Schlußbericht zum Forschungsvorhaben "Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau (AIF-Nr. 1388). Braunschweig, 1974. 48, 56, 155 S.

ISBN 3-89288-049-2.

Vergriffen.**Heft 32**

Hjorth, O.

Ein Beitrag zur Frage der Festigkeiten und des Verbundverhaltens von Stahl und Beton bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten. Braunschweig, 1976. 188 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1975.

Vergriffen.**Heft 33**

Klingsch, W.

Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbetondruckglieder mittels zwei- und dreidimensionaler Diskretisierung. Braunschweig, 1976. 192 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1976.

Vergriffen.**Heft 34**

Djamous, F.

Thermische Zerstörung natürlicher Zuschlagstoffe im Beton. Braunschweig, 1977.127 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.

Vergriffen.**Heft 35**

Haksever, A.

Zur Frage des Trag- und Verformungsverhaltens ebener Stahlbetonrahmen im Brandfall. Braunschweig, 1977.XIV, 133, 12 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.

Vergriffen.**Heft 36**

Storkebaum, K.-H.

Ein Beitrag zur Traglastermittlung von vierseitig gelagerten Stahlbetonwänden. Braunschweig, 1977. 88 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.

ISBN 3-89288-045-X.

7,67 €

Heft 37

Bechtold, R.

Zur thermischen Beanspruchung von Außenstützen im Brandfall. Braunschweig, 1977. V, 140, 12 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.

ISBN 3-89288-046-8.

Vergriffen.**Heft 38**

Steinert, J.

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten. Braunschweig, 1977. 57 S. Unveränd. Nachdr. d. Erstveröffentlichung Bad Honnef: Osang, 1977 (Zivilschutzforschung ; Bd. 7).

Vergriffen.**Heft 39**

Weiß, R.

Ein haufwerkstheoretisches Modell der Restfestigkeit geschädigter Betone. Braunschweig, 1978. 112 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1978.

ISBN 3-89288-047-6.

7,67 €

Heft 40

Alda, W.
Zum Schwingkriechen von Beton. Braunschweig, 1978. 209 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1978.
ISBN 3-89288-035-2.
12,78 €

Heft 41.

Teutsch, M.
Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken mit rechteckigem Querschnitt unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion. Braunschweig, 1979. 181, 220 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1979.
ISBN 3-89288-036-0.
12,78 €

Heft 42

Schneider, U.
Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen. Braunschweig, 1979. 128, 47 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1979.
Vergriffen.

Heft 43

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - Veröffentlichungen 1967 bis 1979. Braunschweig, 1979. 54 S.
ISBN 3-89288-037-9.
5,11 €

Heft 44

Kordina, K.; Fröning, H.
Druckmessungen in Silozellen mit einer neu entwickelten Sonde: Abschlußbericht eines von der DFG gef. Forschungsvorhabens mit dem Titel "Druckmessungen im Inneren von mittleren bis großen Silozellen". Braunschweig, 1979. 21, 60 S.
ISBN 3-89288-038-7.
7,67 €

Heft 45

Henke, V.
Ein Beitrag zur Zuverlässigkeit frei gelagerter Stahlbetonstützen unter genormter Brandeinwirkung. Braunschweig, 1980. 150 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1980.
Vergriffen.

Heft 46

Schneider, U.; Haksever, A.
Wärmebilanzrechnungen für Brandräume mit unterschiedlichen Randbedingungen (Teil 1). Braunschweig, 1980. 79 S.
Vergriffen.

Heft 47

Walter, R.
Partiell brandbeanspruchte Stahlbetondecken: Berechnung des inneren Zwanges mit einem Scheibenmodell. Braunschweig, 1981. 149 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1981.
ISBN 3-89288-039-5.
7,67 €

Heft 48

Svensvik, B.
Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Einschuß der Mitwirkung des Betons auf Zug in Abhängigkeit von Last und Zeit. Braunschweig, 1981. 201 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1981.
ISBN 3-89288-040-9.
12,78 €

Heft 49

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - Veröffentlichungen 1967 bis 1981. Braunschweig, 1981. 89 S.
ISBN 3-89288-041-7.
5,11 €

Heft 50

Ojha, S.K.
Die Steifigkeit und das Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter kombinierter Beanspruchung aus Torsion, Biegemoment, Querkraft und Axialkraft. Braunschweig, 1982. II, 103 S.
ISBN 3-89288-042-5.
7,67 €

Heft 51

Henke, V.
Zusammenstellung und Anwendung Bayes'scher Verfahren bei der Stichprobenbeurteilung : (Projekt D1 des SFB 148). Braunschweig, 1982. 2, 49, 2, 12 S.
ISBN 3-89288-043-3.
5,11 €

Heft 52

Haksever, A.
Stahlbetonstützen mit Rechteckquerschnitten bei natürlichen Bränden. Braunschweig, 1982. 143, 30 S. Zugl.: Istanbul, Techn. Univ., Habil.-Schr., 1982.
ISBN 3-89288-044-1.
10,23 €

Heft 53

Weber, V.
Untersuchung des Riß- und Verformungsverhaltens segmentärer Spannbetonbauteile. Braunschweig, 1982. III, 191 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1982.
ISBN 3-89288-017-4.
10,23 €

Heft 54.

Ranisch, E.-H.
Zur Tragfähigkeit von Verklebungen zwischen Baustahl und Beton: geklebte Bewehrung. Braunschweig, 1986 (Unveränd. Nachdruck). 173 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1982.
ISBN 3-89288-010-7.
10,23 €

Heft 55

Wiedemann, G.
Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton. Braunschweig, 1982. 149 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1982.
Vergriffen.

Heft 56

Timm, R.
Ein geometrisch und physikalisch nichtlineares Rechenmodell zur optimalen Biegebemessung ebener Stahlbetonrahmen. Braunschweig, 1982. 261 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1982.
ISBN 3-89288-018-2.
12,78 €

Heft 57

Diederichs, U.
Untersuchungen über den Verbund zwischen Stahl und Beton bei hohen Temperaturen. Braunschweig, 1983. 183 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1983.
ISBN 3-89288-019-0.
10,23 €

Heft 58

Schneider, U.
Wärmebilanzrechnungen in Verbindung mit Versuchen in Brandräumen (Teil 2). Braunschweig, 1983. 34 S.
ISBN 3-89288-020-4.
5,11 €

Heft 59

Dobbernack, R.; Schneider, U.
Wärmebilanzrechnungen in Brandräumen unter Berücksichtigung der Mehrzonenmodellbildung (Teil 3). Braunschweig, 1983. 96 S. ISBN 3-89288-021-2.
7,67 €

Heft 60

Hillger, W.
Verbesserungen und Erweiterungen von Ultraschallprüfverfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellen- und Qualitätskontrolle von Betonbauteilen. Braunschweig, 1983. 142 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1983.
ISBN 3-89288-014-X.
7,67 €

Heft 61

Blume, F.
Zur Wirklichkeitsnähe der Lastannahmen in Silovorschriften für Zellen aus Stahlbeton und Spannbeton. Braunschweig, 1984. X, 215, 124 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1984.
ISBN 3-89288-013-1.
12,78 €

Heft 62

Nölting, D.
Das Durchstanzen von Platten aus Stahlbeton: Tragverhalten, Berechnung, Bemessung. Braunschweig, 1984. 8, 174, 43 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1984.
ISBN 3-89288-012-3.
12,78 €

Heft 63

Wesche, J.
Brandverhalten von Stahlbetonplatten im baupraktischen Einbauzustand. Braunschweig, 1985. 130, 17 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.
ISBN 3-89288-009-3.
10,23 €

Heft 64

Droese, S.
Untersuchungen zur Technologie des Gleitschalungsbaus. Braunschweig, 1985. VIII, 213 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.
ISBN 3-89288-000-X.
12,78 €

Heft 65

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - Forschungsarbeiten 1978 - 1983. Braunschweig, 1984. 305 S.
ISBN 3-89288-001-8.
12,78 €

Heft 66

Hegger, J.
Einfluß der Verbundart auf die Grenztragfähigkeit von Spannbetonbalken. Braunschweig, 1985. VI, 195 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.
ISBN 3-89288-002-6.
12,78 €

Heft 67

Kepp, B.
Zum Tragverhalten von Verankerungen für hochfeste Stäbe aus Glasfaserverbundwerkstoff als Bewehrung im Spannbetonbau. Braunschweig, 1985. 147 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.
ISBN 3-89288-003-4.
7,67 €

Heft 68

Sager, H.
Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Verbundverhalten von einbetonierten Bewehrungsstäben. Braunschweig, 1985. VIII, 181 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.
ISBN 3-89288-004-2.
10,23 €

Heft 69

Haß, R.
Zur praxisgerechten brandschutztechnischen Beurteilung von Stützen aus Stahl und Beton. Braunschweig, 1986. V, 113, 48 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.
ISBN 3-89288-005-0.
Vergriffen (Kopie: 20,45 €).

Heft 70

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - 17. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton: März 1986; Kurzfassungen der Beiträge. Braunschweig, 1986. 148 S.
ISBN 3-89288-006-9.
10,23 €

Heft 71

Ehm, C.
Versuche zur Festigkeit und Verformung von Beton unter zweiachsender Beanspruchung und hohen Temperaturen. Braunschweig, 1986. III, 120 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.
ISBN 3-89288-007-7.
7,67 €

Heft 72

Hartwich, K.
Zum Reiß- und Verformungsverhalten von stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug. Braunschweig, 1986. V, 202 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.
ISBN 3-89288-008-5.
12,78 €

Heft 73

Scheuermann, J.
Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Verbund und Reißbildung von Stahlbetonbauteilen. Braunschweig, 1987. 224 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-011-5.
12,78 €

Heft 74

Hinrichsmeyer, K.
Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton. Braunschweig, 1987. II, 162 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-015-8.
10,23 €

Heft 75

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - Fachseminar Neue Bemessungsregeln durch Änderung der Stahlbeton- und Spannbetonvorschriften DIN 1045, DIN 4227: Juni 1986; Kurzfassungen der Beiträge. Braunschweig, 1986. 100 S.
ISBN 3-89288-022-0.
15,34 €

Heft 76

Budelmann, H.
Zum Einfluß erhöhter Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten. Braunschweig, 1987. VI, 215 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-016-6.
12,78 €

Heft 77

Großmann, F.
Spannungen und bruchmechanische Vorgänge im Normbeton unter Zugbeanspruchung. Braunschweig, 1987. VII, 174, 160 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-023-9.
12,78 €

Heft 78

Rohling, A.
Zum Einfluß des Verbundkriechens auf die Reißbreitenentwicklung sowie auf die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen. Braunschweig, 1987. VI, 230 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-024-7.
12,78 €

Heft 79

Henning, W.
Zwangreißbildung und Bewehrung von Stahlbetonwänden auf steifen Unterbauten. Braunschweig, 1987. IX, 226 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-025-5.
12,78 €

Heft 80

Richter, E.
Zur Berechnung der Biegetragfähigkeit brandbeanspruchter Spannbetonbauteile unter Berücksichtigung geeigneter Vereinfachungen für die Materialgesetze. Braunschweig, 1987. V, 137 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-026-3.
7,67 €

Heft 81

Kiel, M.
Nichtlineare Berechnung ebener Stahlbetonflächentragwerke unter Einschluß von Brandbeanspruchung. Braunschweig, 1987. VI, 155 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987. ISBN 3-89288-027-1.
10,23 €

Heft 82

Konietzko, A.
Polymerspezifische Auswirkungen auf das Tragverhalten modifizierter zementgebundener Betone (PCC). Braunschweig, 1988. 143 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988. ISBN 3-89288-028-X.
10,23 €

Heft 83

Grzeschkowitz, R.
Zum Trag- und Verformungsverhalten schlanker Stahlbetonstützen unter besonderer Berücksichtigung der schiefen Biegung. Braunschweig, 1988. VIII, 139 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988. ISBN 3-89288-030-1.
10,23 €

Heft 84

Wiese, J.
Zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonplatten unter partieller Brandbeanspruchung. Braunschweig, 1988. XI, 205 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988. ISBN 3-89288-031-X.
12,78 €

Heft 85

Rudolph, K.
Traglastberechnung zweiachsig biegebeanspruchter Stahlbetonstützen unter Brandeinwirkung. Braunschweig, 1988. 119 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988. ISBN 3-89288-032-8.
7,67 €

Heft 86

Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.; Noack, I.
Einfluß der Eigenbrandlast auf das Brandverhalten von Bauteilen aus brennbaren Baustoffen. Braunschweig, 1989. 60 S. ISBN 3-89288-058-1.
Vergriffen (Kopie: 10,23 €).

Heft 87

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig - Forschungsarbeiten 1984 - 1989. Braunschweig, 1989. 299 S. ISBN 3-89288-034-4.
15,34 €

Heft 88

Grossert, E.
Untersuchungen zum Tragverhalten von Massivbrücken mit zweizelligem Kastenquerschnitt. Braunschweig, 1989. VII, 206, 29 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1989. ISBN 3-89288-059-X.
12,78 €

Heft 89

Weiterbildungsseminar Bauen in Europa : 15.-16. November 1990 in Braunschweig; Kurzreferate. Braunschweig, 1990. 169 S. ISBN 3-89288-063-8.
12,78 €

Heft 90

Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.; Voß, K.
Vorspannung im Hochbau. Überarb. Aufl. Feb. 1991. ISBN 3-89288-064-6
Vergriffen (Kopie: 10,23 €).

Heft 91

Fachtagung Spannbeton im Hoch- und Industriebau : Kurzreferate. 1991. ISBN 3-89288-065-4
10,23 €

Heft 92

Heins, T.
Simulationsmodell zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Rauchausbreitung bei Bränden in ausgedehnten Räumen. 1991. VII, 142 S. Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1991. ISBN 3-89288-066-2
Vergriffen (Kopie: 10,23 €).

Heft 93

Hagen, E.
Zur Prognose des Gefährdungspotentials von Raumbränden. 1992. Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1991. ISBN 3-89288-070-0.
11,25 €

Heft 94

Fachseminar Instandsetzung und Ertüchtigung von Massivbauten : 14./15. November 1991 in Braunschweig; Kurzreferate. 1991. ISBN 3-89288-068-9.
10,45 €

Heft 95

Qualitätssicherung im Bauwesen: VMPA-Tagung 1992 ; 25.-26.6.1992, Tagungsbericht. ISBN 3-89288-071-9.
15,34 €

Heft 96

Weiterbildungsseminar Brandschutz im Industriebau: 30.9.1992 in Braunschweig; Kurzreferate.

ISBN 3-89288-070-0.

Vergriffen (Kopie: 12,78 €).

Heft 97

Braunschweiger Bauseminar 1992: Neue Technologien im Bauwesen, Tagung 12.-13.11.1992 in Braunschweig.

ISBN 3-89288-073-5.

20,45 €

Heft 98

Gunkler, E.

Verstärkung biegebeanspruchter Mauerwerks-wände durch bewehrte Ergänzungsschichten. 1993. V, 175, 58 S. Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1992.

ISBN 3-89288-074-3.

15,34 €

Heft 99

Dorn, T.

Zur Berechnung des Tragverhaltens brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung der Träger-Stützen-Anschlüsse. 1993. VI, 146 S. Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1992.

ISBN 3-89288-075-1.

12,78 €

Heft 100

Fachseminar Stahlfaserbeton: 4. März 1993 in Braunschweig; Neue Erkenntnisse und Anwendungsgebiete. 1993. 156 S.

ISBN 3-89288-076-X.

Vergriffen (Kopie: 20,45 €).

Heft 101

Falkner, H.; Teutsch, M.

Vergleichende Untersuchungen an unbewehrten und bewehrten stahlfaserbewehrten Industrie-fußböden. 1993. 79 S.

ISBN 3-89288-077-8.

12,78 €

Heft 102

Falkner, H.; Teutsch, M.

Comparative investigations of plain and steel fibre reinforced industrial ground slabs. 1993.

ISBN 3-89288-078-6.

12,78 €

Heft 103

5. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 06./07.10.1993 in Braunschweig; Kurzreferate.

ISBN 3-89288-079-4.

15,34 €

Heft 104

Thienel, K.-C.

Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung. 1993 Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1993.

ISBN 3-89288-80-8.

12,78 €

Heft 105

Dauerhafte Bauwerke aus Faserbeton:

Braunschweiger Bauseminar 1993; 11.-12.11.1993.

ISBN 3-89288-081-6.

Vergriffen (Kopie: 20,45 €).

Heft 106

Neuentwicklungen im baulichen

Brandschutz: Dr. Meyer-Ottens

60 Jahre; Fachseminar 18.03.1994 in

Braunschweig.

ISBN 3-89288-085-9.

15,34 €

Heft 107

Bunte, D.

Zum karbonatisierungsbedingten

Verlust der Dauerhaftigkeit von

Außenbauteilen aus Stahlbeton. 1994.

Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss.,

ISBN 3-89288-086-7.

20,45 €

Heft 108

Holzenkämpfer, P.

Ingenieurmodell des Verbundes

geklebter Bewehrung für Betonbauteile.

Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1994.

ISBN 3-89288-087-5.

17,90 €

Heft 109

Institut für Baustoffe, Massivbau und

Brandschutz der TU Braunschweig [Hrsg.]

Forschungsarbeiten 1990 - 1994.

Braunschweig, 1994.

ISBN 3-89288-088-3.

30,68 €

Heft 110

Falkner, H.; Teutsch, M; Huang, Z.

Untersuchung der Schubtragfähigkeit und der

Wasserundurchlässigkeit von Arbeitsfugen unter

Verwendung von Stremaform-Abschalelemen-

ten.

Falkner, H.; Teutsch, M; Claußen, T.

Schubtragfähigkeit des Vergußbetons zwischen

Köcher-, Block- oder Hülsefundamenten und

Stützenfuß bei unterschiedlich profilierten Be-

tonoberflächen. 1994.

ISBN 3-89288-089-1.

10,23 €

Heft 111

Voß, K.-U.
 Zum Trag- und Verformungsverhalten von
 Spannbetonträgern im Zustand II - unterschiedli-
 ches Verbundverhalten bei Schwellbeanspru-
 chung. 1994.
 Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1993.
 ISBN 3-89288-090-5.
16,36 €

Heft 112

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonder-
 bauten: 05./06.10.1994 in Braunschweig. Kurz-
 referate. 1994
 ISBN 3-89288-092-1.
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 113

Aus der Forschung in die Praxis:
 10./11.11.1994. Braunschweiger Bauseminar
 1994.
 ISBN 3-89288-091-3.
25,56 €

Heft 114

Warnecke, P.
 Tragverhalten und Konsolidierung von histori-
 schem Natursteinmauerwerk. 1995.
 Zugl.: Braunschweig, Univ.; Diss., 1995.
 ISBN 3-89288-094-8.
Vergriffen (Kopie: 17,90 €).

Heft 115

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1995:
 6. Fachseminar Brandschutz - Forschung und
 Praxis: 04./05.10.1995; Kurzreferate.
 ISBN 3-89288-093-X.
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 116

Huang, Z.
 Grenzbeanspruchung gebetteter Stahlfaserbe-
 tonplatten. 1995.
 Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss. 1995.
 ISBN 3-89288-095-6.
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 117

Falkner, H.; Teutsch, M.; Huang, Z.
 Untersuchung des Trag- und Verformungsver-
 haltens von Industriefußböden aus Stahlfaser-
 beton. 1995.
 ISBN 3-89288-096-4.
Vergriffen (Kopie: 23,01 €).

Heft 118

Kubat, B.
 Durchstanzverhalten von vorgespannten, punkt-
 förmig gestützten Platten aus Stahlfaserbeton.
 1995. Zugl.: Braunschweig, Univ.; Diss., 1995.
 ISBN 3-89288-097-2.
Vergriffen (Kopie: 17,90 €).

Heft 119

Braunschweiger Bauseminar 1995: "Dichte
 Betonbauwerke"; 09./10.11.1995.
 ISBN 3-89288-098-0.
Vergriffen (Kopie: 25,56 €).

Heft 120

Steinert, C.
 Bestimmung der Wärmeübergangsbedingungen
 auf Bauteile im Brandfall: Abschlußbericht.
 1995.
 ISBN 3-89288-099-9.
13,29 €

Heft 121

Schütte, J.; Teutsch, M.; Falkner, H.
 Fugenlose Betonbodenplatten: Forschungsbe-
 richt. 1996.
 ISBN 3-89288-100-6.
Vergriffen (Kopie: 17,90 €)

Heft 122

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonder-
 bauten: 24./25.09.1996 in Braunschweig.
 Kurzreferate. 1996.
 ISBN 3-89288-101-4.
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 123

Droese, S.; Riese, A.
 Belastungsversuche an zwei Durchlauf-Platten-
 streifen aus Elementplatten mit Aufbeton aus
 Stahlfaserbeton. 1996.
 ISBN 3-89288-102-4.
10,23 €

Heft 124

Hankers, C.
 Zum Verbundtragverhalten laschenverstärkter
 Betonbauteile unter nicht vorwiegend ruhender
 Beanspruchung. 1996.
 Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
 ISBN 3-89288-103-0.
Vergriffen (Kopie: 17,90 €).

Heft 125

Schmidt-Döhl, F.
 Ein Modell zur Berechnung von kombinierten
 chemischen Reaktions- und Transportprozessen
 und seine Anwendung auf die Korrosion minera-
 lischer Baustoffe. 1996.
 Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
 ISBN 3-89288-104-9.
20,45 €

Heft 126

Falkner, H.; Teutsch, M.
 Braunschweiger Bauseminar 1996:
 Ingenieurbauwerke mit neuen Konzepten.
 14./15.11.1996.
 ISBN 3-89288-105-7.
30,68 €

Heft 127

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte. 1990 - 1993. 1996.
ISBN 3-89288-106-5.
25,56 €

Heft 128

Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy.
Baustoffe in Praxis, Lehre und Forschung. 1997.
ISBN 3-89288-107-3.
26,59 €

Heft 129

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte. 1994. 1997.
ISBN 3-89288-108-1.
20,45 €

Heft 130

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte. 1995. 1997.
ISBN 3-89288-109-X.
20,45 €

Heft 131

Falkner, H.; Teutsch, M; Klinkert, H.
Trag- und Verformungsverhalten dynamisch beanspruchter Fahrbahnen aus Beton- und Stahlfaserbeton. Forschungsbericht. 1997.
ISBN 3-89288-110-3.
10,23 €

Heft 132

Schütte, J.
Einfluß der Lagerungsbedingungen auf Zwang in Betonbodenplatten. 1997.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 3-89288-111-1.
15,34 €

Heft 133

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1997:
7. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 01./02.10.1997; Kurzreferate.
ISBN 3-89288-112-X.
Vergriffen (Kopie: 17,90 €).

Heft 134

Ameler J.
Betonverhalten bei hohen Temperaturen und triaxialer Beanspruchung - FE-Modell auf der Basis der Betonstruktur. 1997
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 3-89288-113-8.
17,90 €

Heft 135

Rostásy, F. S.; Wigger, H.
Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk: 06. - 7.11.1997 in Braunschweig
ISBN 3-89288-114-6.
Vergriffen (Kopie: 20,45 €).

Heft 136

Falkner, H.; Teutsch, M.
Braunschweiger Bauseminar 1997:
Innovatives Bauen; 13. - 14.11.1997 in Braunschweig.
ISBN 3-89288-115-4.
16,36 €

Heft 137

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1996 - 1997, 1998
ISBN 3-89288-116-2.
25,56 €

Heft 138

Scheibe, M.
Vorhersage des Zeitstandverhaltens unidirektionaler Aramidfaserverbundstäbe in alkalischer Umgebung. 1998. Zugl.: Braunschweig TU, Diss., 1998.
ISBN 3-89288-117-0.
17,90 €

Heft 139

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 29./30.09.1998 in Braunschweig;
Kurzreferate 1998.
ISBN 3-89288-118-9.
Vergriffen (Kopie: 17,90 €).

Heft 140

Gutsch, A.-W.
Stoffeigenschaften jungen Betons - Versuche und Modelle 1998.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 3-89288-119-7
20,45 €

Heft 141

Falkner, H.; Teutsch, M.
Braunschweiger Bauseminar 1998:
Beton auf neuen Wegen; 12./13.11.1998
ISBN 3-89288-120-0
25,56 €

Heft 142

Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Horst Falkner.
1999
ISBN 3-89288-121-9
28,12 €

Heft 143

Teutsch, M; Klinkert, H.
Leistungsklassen von Stahlfaserbeton.
1999.
ISBN 3-89288-122-7
6,65 €

Heft 144

Forschungsarbeiten 1995 - 1999. 1999
ISBN 3-89288-123-5. **23,01 €**

Heft 145

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1999:
8. Fachseminar Brandschutz - Forschung und
Praxis: 04./05.10.1999 in Braunschweig;
Kurzreferate 1999.
ISBN 3-89288-124-3.

Vergriffen (Kopie: 17,90 €).

Heft 146

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]
Braunschweiger Bauseminar 1999:
Bauen im nächsten Jahrtausend 11./12.11.1999.
ISBN 3-89288-125-1

16,87 €

Heft 147

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonder-
bauten: 28./29.03.2000 in Braunschweig;
Kurzreferate 2000.
ISBN 3-89288-126-X.

17,90 €

Heft 148:

Hariri, K.: Bruchmechanisches Verhalten jungen
Betons - Laser-Speckle-Interferometrie und
Modellierung der Rißprozeßzone. 2000.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.

ISBN 3-89288-127-8

18,41 €

Heft 149:

Wigger, H.: Rissbildung in historischem Natur-
steinmauerwerk : Beobachtung, Versuche und
Berechnungsmodelle. 2000.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.

ISBN 3-89288-128-6

18,92 €

Heft 150:

Neubauer, U.: Verbundtragverhalten geklebter
Lamellen aus Kohlenstoffasern – Verbundwerk-
stoff zur Verstärkung von Betonbauteilen. 2000
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.

ISBN 3-89288-129-4.

20,45 €

Heft 151:

Hosser, D. ; Blume, G. ; Will, J.: Brandschutz in
Chemikalienlagern. 2000.

ISBN 3-89288-130-8

20,45 €

Heft 152:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]
Trends und Entwicklungen im Bauwesen : 9.-
10.11.2000 ; Braunschweiger Bauseminar 2000.

ISBN 3-89288-131-6

25,56 €

Heft 153:

Rostásy, F.S. ; Budelmann, H. [Hrsg.]
Rissbeherrschung massiger Betonbauteile :
Bauwerk, Werkstoff, Simulation;
Braunschweig, 20.3.2001.

ISBN 3-89288-132-4

30,68 €

Heft 154:

Krauß, M. ; Hariri, K. ; Rostásy, F.S.
Hydratationsgrad, Ultraschall-Technik zur Be-
schreibung der Erhärtung, bruchmechanisches
Verhalten jungen Betons : Berichte; For-
schungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-
3843), IPACS. 2001.

[Enthaltene Beiträge in englischer Sprache]

ISBN 3-89288-135-9.

27,61 €

Heft 155:

Gutsch, A. ; Rostásy, F.S.
Spannungs-Dehnungslinie, viskoelastisches
Verhalten und autogenes Schwinden jungen
Betons : Berichte ; Forschungsprojekt der EU
(Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.

[Enthaltene Beiträge in englischer Sprache]

ISBN 3-89288-136-7

19,43 €

Heft 156:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.
Spannungsberechnung und Risskriterien für
jungen Beton – Methoden des iBMB : Bericht ;
Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-
3843), IPACS. 2001.

[Enthaltene Beitrag in englischer Sprache]

ISBN 3-89288-137-5

16,36 €

Heft 157:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.
Früher Zwang in massigen Sohlplatten : Bericht
; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-
3843), IPACS. 2001.

[Enthaltene Beitrag in englischer Sprache]

ISBN 4-89288-138-3

25,56 €

Heft 158:

Braunschweiger Brandschutztage 2001: 9. Fach-
seminar Brandschutz - Forschung und Praxis ;
1.-2. Oktober 2001 in Braunschweig,
Kurzreferate. 2001.

ISBN 3-89288-139-1

23,01 €

Heft 159:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]
Bauen im Wandel der Zeit : 8.-9.11.2001 ;
Braunschweiger Bauseminar 2001.
ISBN 3-89288-140-5
23,01 €

Heft 160:

Beiträge zum 40. Forschungskolloquium des
Deutschen Ausschusses für Stahlbeton : 11.-
12.10.2001. 2001.
ISBN 3-89288-141-3
25,65 €

Heft 161:

Dora, B.: Hydraulisch erhärtende Baustoffe aus
Betonbrechsand – Phasenveränderungen durch
Temperaturbehandlung und Einsatzmöglichkeit.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2001.
ISBN 3-89288-142-1.
20 €

Heft 162:

RO 70 : 50 Jahre Forschung und 25 Disserta-
tionen ; Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. zum 70 Ge-
burtstag gewidmet. 2002.
ISBN 3-89288-143-X.
25 €

Heft 163:

Praxisseminar 2002: Brandschutz bei Sonder-
bauten : 1. und 2. Oktober 2002 in Braun-
schweig ; Kurzreferate.
2002.
ISBN 3-89288-144-8
25 €

Heft 164:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Stahlfaser-
beton – ein unberechenbares Material?: 14. und
15. November; Braunschweiger Bauseminar
2002.
ISBN 3-89288-145-6
25 €

Heft 165

Niemann, P.: Gebrauchsverhalten von Boden-
platten aus Beton unter Einwirkungen infolge
Last und Zwang.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2002.
ISBN 3-89288-146-4
20 €

Heft 166

Bauen im Bestand: 25. März 2003 in Braun-
schweig.
ISBN 3-89288-147-2
22 €

Heft 167

Blume, G. W.: Ingenieurmodell zur brand-
schutztechnischen Bemessung von Bauteilen auf
der Basis von experimentell ermittelten Ver-
brennungseffektivitäten. 2003.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2002.
ISBN 3-89288-148-0
15 €

Heft 168

Braunschweiger Brandschutztage 2003: 10.
Fachseminar Brandschutz – Forschung und
Praxis; 30.09. – 01.10.2003 in Braunschweig,
Kurzreferate. 2003.
ISBN 3-89288-149-9
25 €

Heft 169

Falkner, H.; Teutsch, M. (Hrsg.): Bauforschung
und –praxis in schwierigen Zeiten: 13. und 14.
November; Braunschweiger Bauseminar 2003.
ISBN 3-89288-150-2
20 €

Heft 170

Hemmy, O.: Zum Gebrauchs- und Tragverhalten
von Tunnelschalen aus Stahlfaserbeton und
stahlfaserverstärktem Stahlbeton.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2003.
ISBN 3-89288-151-0
19 €

Heft 171

Dehne, M.: Probabilistisches Sicherheitskonzept
für die brandschutztechnische Bemessung. 2003.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2003.
ISBN 3-89288-153-7
18 €

Heft 172

Paliga, K.: Entstehung und Vermeidung von
Betonabplatzungen bei Tunnelbränden. 2003.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2003.
ISBN 3-89288-154-5
20 €

Heft 173

Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser: Brandschutz und mehr. 2003.

ISBN 3-89288-152-9

30 €

Heft 174

Timm, M.: Verbundwirkung des Betons im Bereich von STREMAFORM – Abschalelementen: Untersuchungsbericht; Okt. 2000. 2004.

ISBN 3-89288-156-1

5 €

Heft 175

Zehfuß, J.: Risikogerechte Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für natürliche Brandbeanspruchung. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-155-3

18 €

Heft 176

Nause, P.: Berechnungsgrundlagen für das Brandverhalten von Druckgliedern aus hochfestem Beton. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-157-X

(Erscheint 2006)

Heft 177

Budelmann, H.; Falkner, H. [Hrsg.]: Bauen im Bestand: 23. März 2004.

ISBN 2-89288-158-8

25 €

Heft 178

Hosser, D. [Hrsg.]: Praxisseminar 2004: Brandschutz bei Sonderbauten: 29. – 30.9.2004 in Braunschweig; Kurzreferate. 2004.

ISBN 3-89288-159-6

25 €

Heft 179

Krauß, M.: Probabilistisches Nachweiskonzept zur Kontrolle früher Trennrisse in massigen Betonbauteilen 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2004.

ISBN 3-89288-160-X

18 €

Heft 180

Weiske, R.: Durchleitung hoher Stützenlasten bei Stahlbetonflachdecken. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-161-8

20 €

Heft 181

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Qualität im Bauwesen: 11. und 12. November;

Braunschweiger Bauseminar 2004.

ISBN 3-89288-162-6

25 €

Heft 182

Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Klaus Peter Großkurth: Struktur und Anwendung der Baustoffe. 2005.

ISBN 3-89288-163-4

25 €

Heft 183

Bauen im Bestand: 23. Februar 2005.

ISBN 3-89288-164-2

22 €

Heft 184

Hinrichs, W.: Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik und Validierung ausgewählter Verfahren für die Bestimmung der Maschenweiten von Stahldrahtgeweben. Das Forschungsvorhaben wurde von der Stiftung Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. gefördert (AZ: A182/S24/10036/02). 2005.

ISBN 3-89288-166-9

25 €

Heft 185

Hosser, D. [Hrsg.]: Braunschweiger Brandschutz-Tage '05: 11. Fachseminar Brandschutz-Forschung und Praxis, 28. und 29. September 2005 in Braunschweig; Tagungsband. 2005

ISBN 3-89288-167-7

25 €

Heft 186

Will, J.: Entwicklung eines sauerstoffkalorimetrischen Verfahrens zur Bestimmung von Brandparametern bei unterschiedlich ventilierten Bränden.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2005.

ISBN 3-89288-168-5

20 €

Heft 187

Rigo, E. M.: Ein probabilistisches Konzept zur Beurteilung der Korrosion zementgebundener Baustoffe durch lösenden und treibenden Angriff. 2005

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2005.

ISBN 3-89288-169-3

18 €

Heft 188

Bauen im Bestand: Beton in der Abwassertechnik; 6. Sept. 2005.

ISBN 3-89288-170-7

25 €

Heft 189

Gerritzen, D. P.: Zur Frage der Nachnutzbarkeit verbundlos vorgespannter Stahlbetondecken nach Brandeinwirkung. 2005

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2005.

ISBN 3-89288-171-5.

18 €

Heft 190

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Bewe(ä)hrter Betonbau: 10. und 11. November; Braunschweiger Bauseminar 2005.

ISBN 3-89288-172-3

25 €

Heft 191

Kurzberichte aus der Forschung 2005 [CD-ROM]. 2006

ISBN-10:3-89288-173-1

ISBN-13: 978-89288-173-5

5 €

Heft 192

Hosser, D. [Hrsg.]: Brandschutz bei Sonderbauten: Praxisseminar 2006, 26.-27. September 2006; Tagungsband. 2006.

ISBN-10: 3-89288-174-X

ISBN-13: 978-3-89288-174-2

25 €

Heft 193

Sperling, D.: Eine Methode zur automatisierten Überwachung von Spannbetonwegträgern. 2006. Inhaltsverzeichnis

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006.

ISBN-10: 3-89288-175-8

ISBN-13: 978-3-89288-175-9

20 €

Heft 194

Grunert, J. P.: Zum Tragverhalten von Spannbetonfertigteilbalken aus Stahlfaserbeton ohne Betonstahlbewehrung. 2006. Inhaltsverzeichnis

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006.

ISBN-10: 3-89288-176-6

ISBN-13: 978-3-89288-176-6

25 €

Heft 195

Bau Symposium Braunschweig (BSB 2007): Stand und Entwicklung des Trockenbaus; 8. März. 2007. Inhaltsverzeichnis

ISBN 978-3-89288-177-3

Erscheint am 8.3.2007

Heft 196

Bruder, S.: Adaptives Modell der Dauerhaftigkeit im Zuge der Überwachung von Betonbauwerken. 2007. Inhaltsverzeichnis

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006.

ISBN 978-3-89288-178-0

27 €

Heft 197

Holst, A.: Korrosionsmonitoring und Bruchortung vorgespannter Zugglieder in Bauwerken. 2007. Inhaltsverzeichnis Summary

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2007.

ISBN 978-3-89288-179-7

25 €

Heft 198

Forell, B.: A Methodology to assess Species Yields of Compartment Fires by means of an extended Global Equivalence Ratio Concept. 2007. Inhaltsverzeichnis

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006. [auch online zugänglich über die homepage der Universitätsbibliothek Braunschweig].

ISBN 978-3-89288-180-3

15 €

Heft 199

Hosser, D. [Hrsg.]: Braunschweiger Brandschutz-Tage '07: 21. Fachtagung Brandschutz – Forschung und Praxis, 26. und 27. September 2007 in Braunschweig, Tagungsband. Inhaltsverzeichnis

ISBN 978-3-89288-181-0

25 €

Heft 200

Nothnagel, R.: Hydratations- und Strukturmodell für Zementstein. 2007.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2007.

ISBN 978-3-89288-182-0

Erscheint ca. Okt. 2007

Heft 201

Riese, O.: Ein Brandausbreitungsmodell für Kabel. 2007.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2007.

ISBN 978-3-89288-183-4

20 € (erscheint im Sept. 2007)

Außerhalb der Schriftenreihe sind noch folgende Tagungsbände zu Fachseminaren erschienen. Sie können ebenfalls bei der Bibliothek des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz unter der o. g. Anschrift bezogen werden.

1. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 16./17.09.1987 in Braunschweig; Kurzreferate. Eigenverlag iBMB, 1987. ISBN 3-89288-0697

11 €

2. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 15./16.09.1988 in Braunschweig; Kurzreferate. Eigenverlag iBMB, 1988. ISBN 3-89288-029-8.

11 €

3. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 06./07.09.1989 in Braunschweig; Kurzreferate. Eigenverlag iBMB, 1989. ISBN 3-89288-033-6

Vergriffen (Kopie: 11 €)

Weiterbildungsseminar Brandschutz im Industriebau 06.09.1990 in Braunschweig; Kurzreferate. Eigenverlag iBMB, 1990. ISBN 3-89288-062-X

11 €

4. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 07./08.10.1991 in Braunschweig; Kurzreferate. Eigenverlag iBMB, 1991. ISBN 3-89288-067-0

11 €

Hosser, D [Hrsg.]: 9. Internationales Brandschutz-Symposium „Ingenieurmethoden für die Brandsicherheit“. 25. und 26. Mai 2001 in München; Kurzreferate. ISBN 3-89288-133-2

23 €

Hosser, D [Hrsg.]: 10. Internationales Brandschutz-Symposium „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“. 6. und 7. Juni 2005 in Hannover; Kurzreferate. ISBN 3-89288-165-0

25 €