INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN - MPA BRAUNSCHWEIG

TU BRAUNSCHWEIG

Braunschweiger Brandschutz-Tage '09

23. Fachtagung Brandschutz – Forschung und Praxis

29. und 30. September 2009

Tagungsband

herausgegeben von Dietmar Hosser

Heft 208 · BRAUNSCHWEIG · 2009

Veranstalter:

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

Wissenschaftliche Leitung:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Dietmar Hosser

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN - MPA BRAUNSCHWEIG

TU BRAUNSCHWEIG

Braunschweiger Brandschutz-Tage '09

23. Fachtagung Brandschutz – Forschung und Praxis

29. und 30. September 2009

Tagungsband

herausgegeben von Dietmar Hosser

Heft 208 · Braunschweig · 2009

ISBN 978-3-89288-191-9

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

Vorwort **7**
D. Hosser, Braunschweig

Sitzung 1 - Aktuelles aus der Forschung **9**
Leitung: D. Hosser, Braunschweig

1.1 Innovationen im mehrgeschossigen Holzbau 11
B. Kampmeier, Braunschweig

1.2 Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen für Holzbauteile 39
D. Hollmann, Braunschweig

1.3 Grundlagen und Beispiele zur Umsetzung leistungsorientierter Brandschutzkonzepte mittels Ingenieurmethoden 69
C. Mahlmann, Braunschweig

1.4 Übergreifendes Sicherheitskonzept für Brandschutznachweise mit Ingenieurmethoden 89
A. Weilert und C. Albrecht, Braunschweig

Sitzung 2 - Normen, Richtlinien, Verordnungen **111**
Leitung: K.-D. Wathling, Berlin

2.1 Brandschutzbemessung nach den Eurocodes - Vorgaben für die Anwendung in Deutschland 113
D. Hosser, Braunschweig

2.2 Brandschutztechnische Bemessung von Betontragwerken nach Eurocode 2 Teil 1-2 133
E. Richter, Braunschweig

2.3 Brandschutzbemessung von Stahl- und Verbundtragwerken nach den Eurocodes 3 und 4 153
P. Schaumann und O. Bahr, Hannover

2.4 Neue Normen für anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen 173
H.-J. Gressmann, Braunschweig

Seite

2.5 Normentwurf DIN 18230-4 - Ermittlung der äquivalenten Branddauer und des Wärmeabzuges durch Brandsimulation
U. Schneider und N. Schjerve, Wien 197

2.6 Bauaufsichtliche Schutzzielvorgaben zur Rauchableitung aus Räumen oder Gebäuden
F. Mehl, Leipzig 227

Sitzung 3 - Brandschutzkonzepte an Beispielen 245
Leitung: J. Wesche, Leverkusen

3.1 Kalibrierte Rauchversuche zur realistischen Prüfung von Entrauchungskonzepten
U. Kirchner, Erkelenz 247

3.2 Rauchfreihaltung von Treppenräumen mit Differenzdrucksystemen – Konzepte, Bemessung, Installation und Abnahme
H. A. Ermer, Köln 269

3.3 Brandschutzkonzept für den Neubau von Institutsgebäuden in einer ehemaligen Eisenbahn-Ausbesserungshalle
R. Dobbernack und D. Hosser, Braunschweig 283

3.4 Brandschutzbemessung eines weitgespannten, mehrstöckigen Stahlfachwerk-Trägers für ein Verwaltungsgebäude
J. Zehfuß, Hamburg 301

3.5 Brandschutzkonzepte für Gebäude in Holzbauweise bis zur Gebäudeklasse 5
D. Kruse und M. Dehne, Gifhorn 323

Sitzung 4 - Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes 333
Leitung: H. Hagen, Wiesbaden

4.1 vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes - Überblick und wesentliche Neuerungen der 2. Auflage 2009
D. Hosser, Braunschweig 335

Seite

4.2 Brandszenarien und Bemessungsbrände für die numerische Brandsimulation 345
J. Wiese, Erkelenz und O. Riese, Braunschweig

4.3 Berücksichtigung anlagentechnischer und abwehrender Maßnahmen bei Brandschutznachweisen mit Ingenieurmethoden 377
M. Dehne, Gifhorn und C. Klinzmann, Hamburg

4.4 Beispiele zur Anwendung des Leitfadens bei der Erstellung von leistungsorientierten Brandschutznachweisen 405
V. Hohm und C. Albrecht, Braunschweig

Anhänge **421**

A.1 Anschriften der Referenten und Sitzungsleiter 421
A.2 Kurzvorstellung des Veranstalters (iBMB / MPA) 427
A.3 Verzeichnis der Schriften aus dem iBMB 431

VORWORT

Die „Braunschweiger Brandschutz-Tage“ haben auch in ihrem 23. Jahr nichts an Attraktivität eingebüßt. Sie waren von Beginn an und sind noch immer die größte Brandschutz-Fachtagung im deutschsprachigen Raum. Obwohl ihr Beispiel inzwischen vielfach Schule gemacht hat und über das ganze Jahr in zahlreichen Orten „Brandschutztage“ und Brandschutz-Seminare zu unterschiedlichen Themen stattfinden, kommen unsere langjährigen, treuen „Kunden“ immer wieder gerne nach Braunschweig. Das macht uns als Veranstalter stolz und dankbar. Für mich ist es Anlass, einmal an dieser Stelle, die sonst für ein Geleitwort des Präsidiums der Technischen Universität Braunschweig reserviert ist, nach den Besonderheiten der Braunschweiger Brandschutz-Tage zu fragen.

„Brandschutz – Forschung und Praxis“ lautete das Motto der ersten Veranstaltung im September 1987. Damals galt es, umfangreiche neue Erkenntnisse aus dem Sonderforschungsbereich 148 „Brandverhalten von Bauteilen“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der nach 14 Jahren intensiver Forschung an der TU Braunschweig unter Leitung von Professor Karl Kordina 1986 beendet worden war, möglichst rasch der Praxis zugänglich zu machen. Das Zusammenführen von Brandschutzforschern und Brandschutzpraktikern blieb fortan ein besonderes Anliegen der Braunschweiger Brandschutz-Tage. Seit dem Jahr 2000 hat ein über das andere Jahr die Materialprüfanstalt für das Bauwesen (MPA) Braunschweig eine Fachsitzung zu Neuerungen im baulichen Brandschutz und beim Brandschutz im Ausbau gestaltet und so für noch mehr Praxisnähe gesorgt. Damit sind wir bei dem Alleinstellungsmerkmal dieser Veranstaltungsreihe - der einmaligen Kombination von eigener experimenteller und theoretischer Forschung und universitärer Lehre mit umfangreichen Erfahrungen aus Materialprüfung, Normungsarbeit und Begutachtungspraxis als Basis einer wissenschaftlich orientierten beruflichen Weiterbildung auf höchstem Niveau.

Kennzeichnend ist auch, dass Probleme der Brandschutzpraxis zeitnah erkannt und in den Themenkatalog der Tagung integriert werden. Das hat bisweilen zu sehr kontroversen Diskussionen geführt, aber stets auch geholfen, Problemlösungen vorzubereiten. Voraussetzung dafür waren und sind Referenten, die ihr Fachgebiet souverän beherrschen und ihre Position engagiert vertreten, dabei aber offen sind für kritische Fragen und andere Meinungen. Wir hatten über all die Jahre das Glück, solche Referenten und Moderatoren für ein abwechslungsreiches, stets aktuelles Tagungsprogramm zu finden.

Das diesjährige Programm steht stärker als in anderen Jahren im Zeichen der Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Das ist zum einen Ausdruck der größeren Bedeutung des Brandschutzingenieurwesens, das sich inzwischen auch in Deutschland in Verbindung mit zielorientierten Brandschutzkonzepten auf breiter Front etabliert und den „empirischen Brandschutz“ weitgehend abgelöst

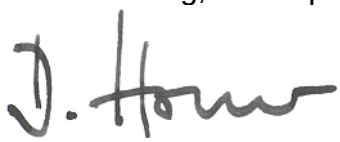
hat. Zum anderen gab es in diesem Jahr zwei Neuerungen, die den Kenntnisstand der Anwender bezüglich der verfügbaren Ingenieurmethoden weiter verbessern und deren Anwendung in der Baugenehmigungspraxis erleichtern sollen. Es handelt sich um das Erscheinen der 2. Auflage des vfdb-Leitfadens Ingenieurmethoden des Brandschutzes im Mai 2009 und um die Veröffentlichung der Nationalen Anhänge zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 1 bis 5 im Juni 2009. Das für den vfdb-Leitfaden verantwortliche vfdb-Referat 4 und der für die Eurocode-Brandschutzteile zuständige DIN-Arbeitsausschuss wollen die Chance nutzen, die neuen Regelungen und Empfehlungen einer breiten Fachöffentlichkeit vorzustellen. Die beiden Gremien sind im ersten Teil der Sitzung 2 „Normen, Richtlinien, Verordnungen“ und in der Sitzung 4 „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ jeweils mit ihren Vorsitzenden und stellvertretenden Vorsitzenden sowie weiteren, für Teilaspekte federführenden Mitgliedern kompetent vertreten und stellen sich in der Diskussion den Fragen der Tagungsteilnehmer. Der Tagungsband enthält zu den neu erschienenen Dokumenten ausführliche Erläuterungen und Hintergrundinformationen, die in dieser Form noch nirgends veröffentlicht wurden.

Auch die übrigen Beiträge zur Sitzung 1 „Aktuelles aus der Forschung“, zum zweiten Teil der Sitzung 2 „Normen, Richtlinien, Verordnungen“ und zur Sitzung 3 „Brandschutzkonzepte an Beispielen“ bieten eine Fülle von neuen Ergebnissen, Erkenntnissen und Anregungen für Brandschutzplaner, Gutachter und Sachverständige sowie Brandschutzexperten bei Genehmigungsbehörden Brandschutzdienststellen, Versicherungen, Bauherren und Brandschutzfirmen. Als praxisrelevantes und derzeit in Fachkreisen umstrittenes Problem wird die „Rauchableitung“ bzw. „Rauchfreihaltung“ gleich in mehreren Beiträgen aus unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchtet und hoffentlich einer Klärung zugeführt.

Zur Nachhaltigkeit der Fachtagung trägt auch die begleitende Fachausstellung mit diesmal rund 60 Fachfirmen bei. Hier können die in den Vorträgen angesprochenen baulichen und anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen in Natura auf dem jeweils neuesten Stand der Technik besichtigt werden. Präsentationen von einschlägiger Software und Fachliteratur runden den Gesamtüberblick über den aktuellen Stand der Brandschutztechnik ab.

Ich danke den Referenten und Moderatoren, den Ausstellern, dem Personal der Zentralstelle für Weiterbildung im Tagungsbüro und nicht zuletzt meinen Mitarbeitern für die Mitwirkung bei der Vorbereitung und Durchführung der Tagung. Allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern wünsche ich viele neue Erkenntnisse aus den Vorträgen, gute Gespräche in den Pausen und beim Abendempfang und viel Spaß beim Lesen dieses Tagungsbandes.

Braunschweig, 29. September 2009



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser
Wissenschaftlicher Leiter der Fachtagung

SITZUNG 1

AKTUELLES AUS DER FORSCHUNG

Sitzungsleitung: D.Hosser, Braunschweig

INNOVATIONEN IM MEHRGESCHOSSIGEN HOLZBAU

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

EINLEITUNG

Mit der Novellierung der Musterbauordnung (MBO) [1] im Jahr 2002 und Einführung der Muster-Holzbaurichtlinie [2] im Jahr 2004 eröffnete sich dem Holzbau ein neuer Markt für mehrgeschossige Gebäude bis 13 m Höhe. Zuvor war der Holzbau auf Gebäude geringer Höhe bis 7 m beschränkt. Um diese Erweiterung des Anwendungsbereichs zu erreichen, musste nachgewiesen werden, dass sich das Brandrisiko im Vergleich zu Massivbauweisen mit Beton oder Mauerwerk nicht erhöht. Der Nachweis wurde in einem 2001 am iBMB abgeschlossenen Forschungsvorhaben erbracht, dessen Ergebnisse Grundlage für die Erarbeitung der Muster-Holzbaurichtlinie (M-HFHHolzR) waren. Zentraler Bestandteil sind konstruktive Vorgaben, die eine Entzündung der tragenden Holzstruktur über 60 Minuten Branddauer durch eine nichtbrennbare Bekleidung verhindern. Im Allgemeinen ist eine mehrlagige Bekleidung aus nichtbrennbaren Platten, z. B. Gipskarton- oder Gipsfaserplatten, erforderlich. Zudem wird gefordert, dass die Hohlräume des Holztafelbaus mit nichtbrennbaren Dämmstoffen zu füllen sind.

Die Muster-Holzbaurichtlinie hat sich seit ihrer Einführung in der Praxis vielfach bewährt. Auf Grundlage der Richtlinie sind zahlreiche 4- und 5-geschossige Gebäude errichtet worden. Es ist jedoch festzustellen, dass es dabei aus verschiedenen Gründen zu Abweichungen von der Muster-Holzbaurichtlinie kam. In den meisten Fällen bestand die Abweichung in einer reduzierten Leistungsfähigkeit der Brandschutzbekleidung. Gründe hierfür waren zum einen wirtschaftliche Überlegungen und zum anderen der Wunsch nach schlankeren Konstruktionen. Aus ökologischer Sicht wurde häufig die Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holzwolle, Cellulose oder auch Schafwolle vom Bauherrn nachgefragt. Diese Produkte sind jedoch brennbar und daher zunächst nicht zugelassen. Weitere Vorteile hinsichtlich des Schallschutzes und des Lastabtrages bietet die Holzmassivbauweise, die daher zunehmend im mehrgeschossigen Holzbau verlangt wird. In unbekleideter Ausführung entspricht sie zudem der Erwartung von Bewohnern eines Holzhauses, dass die ökologische Bauweise auch von außen erkennbar sein soll. Das widerspricht jedoch den Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie hinsichtlich einer nichtbrennbaren Bekleidung.

Dieser Beitrag fasst die wesentlichen Ergebnisse einer kürzlich abgeschlossenen Dissertation am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig [3] zusammen, in die die Ergebnisse zweier Forschungsvorhaben eingeflossen sind. In diesen Vorhaben konnte durch experimentelle und theoretische Untersuchungen nachgewiesen

werden, dass die oben erwähnten Abweichungen von den Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie möglich sind, ohne das derzeitige brandschutztechnische Sicherheitsniveau zu unterschreiten.

STAND DER TECHNIK

Das Brandschutzkonzept der Musterbauordnung - MBO – aus dem Jahr 2002 ist zwischenzeitlich in seinen Grundzügen in die meisten Landesbauordnungen übernommen worden. Grundlage dieses Konzeptes ist eine neue Einteilung der Gebäude entsprechend ihres Risikos. So wurden Gebäude mittlerer Höhe, die zuvor von 7 bis 22 m Höhe reichten, bei 13 m nochmals unterteilt. Neben der Gebäudehöhe wird auch die Größe der Nutzungseinheiten als Kriterium für das Brandrisiko berücksichtigt. Da Gebäude in Zellenbauweise ein geringeres Brandausbreitungsrisiko aufweisen als Brandabschnitte ohne weitere Unterteilung, werden in der Gebäudeklasse 4 neben einer Gebäudehöhe von 13 m ebenfalls die Nutzungseinheiten auf weniger als 400 m² begrenzt (Bild 1). Für diese neu geschaffene Gebäudeklasse 4 wurden die Bauteilanforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer folgerichtig von 90 Minuten (feuerbeständig) auf 60 Minuten (hochfeuerhemmend) reduziert.

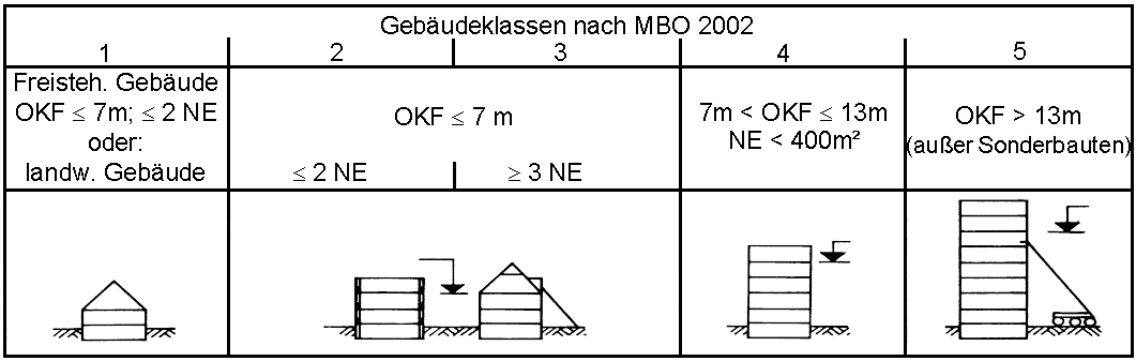


Bild 1 Gebäudeklasseneinteilung entsprechend der Musterbauordnung 2002

Zusätzliche Risiken aus brandschutztechnischer Sicht sind beim Holztafelbau im Vergleich zu Mauerwerk oder Beton der zusätzliche Eintrag von Brandlasten, das erhöhte Brandentstehungs- und Ausbreitungsrisiko durch brennbare Oberflächen und durch die Verlegung von Elektroinstallationen innerhalb brennbarer Baustoffe, sowie die Gefahr von Hohlraumbränden innerhalb der Konstruktionen, die nur schwer von der Feuerwehr zu bekämpfen sind. Zudem besteht die Gefahr der Rauchausbreitung durch raumabschließende Bauteile in Tafelbauweise. Unter Berücksichtigung all dieser Aspekte hat sich die sogenannte „brandschutztechnisch wirksame Bekleidung“ als eine entscheidende bauliche Kompensationsmaßnahme herausgestellt. Aufgabe dieser Bekleidung ist es, einen Entzündungsschutz der Holzbauteile unter Vollbrandbedingungen über die geforderte Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten zu gewährleisten. 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 frühzeitigen Rauchdurchtritts bei raumabschließenden Bauteilen die Bekleidung mindestens zweilagig mit versetzten Fugen ausgeführt werden. Die Hohlräume der Holztafelelemente müssen mit nichtbrennbarer Dämmung mit einem Schmelzpunkt > 1000 °C gefüllt werden.

Die baulichen Anforderungen werden in der „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise“ (M-HFHHolzR), kurz „Muster-Holzbaurichtlinie“ [1], näher erläutert. Die Richtlinie enthält eine Reihe von konstruktiven Mindestanforderungen, bei deren Erfüllung insbesondere die Entzündung der tragenden und aussteifenden Holzkonstruktionen und die damit verbundene Gefahr eines Tragfähigkeitsverlustes innerhalb der geforderten Feuerwiderstandsdauer ausgeschlossen werden können. Zudem wird der Übertragung von Feuer und Rauch in die Wand- und Deckenbauteile über Installationen und Einbauten, der Brandweiterleitung innerhalb dieser Bauteile und der Weiterleitung von Feuer und Rauch über Anschlussfugen von raumabschließenden Bauteilen in angrenzende Nutzungseinheiten oder Räume vorgebeugt.

Die Holzmassivbauweise ist derzeit nicht Bestandteil der Muster-Holzbaurichtlinie, die sich ausschließlich auf stabförmige Holzbauweisen wie den Holztafelbau bezieht. Im Folgenden werden Randbedingungen erarbeitet bei deren Einhaltung von den Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie abgewichen werden kann. Die Abweichungen beziehen sich auf die Verwendung brennbarer Dämmstoffe im Holztafelbau, der Anwendung der Holzmassivbauweise in der Gebäudeklasse 4, sowie einer Reduzierung der Leistungsfähigkeit der Brandschutzbekleidung bis hin zu deren Verzicht.

VERWENDUNG BRENNBARER DÄMMSTOFFE

Die Untersuchungen zur Verwendbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Holztafelbau wurden bereits auf den Braunschweiger Brandschutztagen 2007 [4] vorgestellt. Auf der Grundlage der Untersuchungen sind besondere Konstruktionsregeln zu beachten, wenn hochfeuerhemmende Bauteile in Holztafelbauweise unter Verwendung von brennbaren Dämmstoffen hergestellt werden, die im Folgenden zusammengefasst dargestellt werden.

Brandschutzbekleidung

Die gemäß Muster-Holzbaurichtline erforderliche brandschutztechnisch wirksame Bekleidung muss gewährleisten, dass im Brandfall die Temperatur an der Oberfläche eines brennbaren Dämmstoffes dessen Grenztemperatur der thermischen Zersetzung nicht überschreitet. Das ist 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 Grenztemperatur kann der zuvor beschriebene Prüfaufbau im Cone-Kalorimeter nach ISO 5660

verwendet werden. Zusätzlich kann das „Prüfverfahren für die Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen“ bei reduzierter Temperatur in Anlehnung an DIN 4102-1, Anhang A, 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 der thermischen Zersetzung eines brennbaren Dämmstoffs unter 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 80 mm nicht überschreiten.

Schrauben, Klammern, Nägel in der Brandschutzbekleidung

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

VERWENDUNG MASSIVER, FLÄCHIGER HOLZBAUTEILE

Die bislang durchgeführten Branduntersuchungen an Holzbauteilen für die Gebäudeklasse 4 konzentrierten sich ausschließlich auf den Holztafelbau. Die Holzmassivbauweise fand lediglich als Ausnahme in Form von Deckenbauteilen Berücksichtigung in der Muster-Holzbaurichtlinie. Der Grund hierfür ist zum einen, dass die Erweiterung in Richtung des mehrgeschossigen Bauens mit Holz schrittweise unter Beobachtung der Erfahrungen in der Praxis vollzogen werden

sollte. Zum anderen fehlten auch entsprechende Versuche zur abschließenden Beurteilung des Brandverhaltens dieser Bauteile.

Unter der Holzmassivbauweise werden flächige, hohlraumfreie Holzbauteile verstanden, die als Wand- oder Deckenelemente eingebaut werden können. Die Bauteile werden im Allgemeinen durch Vernageln, Verdübeln oder Verkleben einzelner Holzlamellen hergestellt (vgl. Bild 2). Aus Sicht des Brandschutzes haben Massivholzelemente den Vorteil, dass auf Grund der massiven Querschnitte die Gefahr von Hohlraumbränden nicht besteht.

Bild 2 Darstellung der Holzmassivbauweise (Brettstapel- und Brettsperrholz)

Im Rahmen eines DGfH-Forschungsvorhabens sollte der Nachweis geführt werden, dass bei Einhaltung bestimmter konstruktiver Randbedingungen auch Massivholzelemente in der Gebäudeklasse 4 eingesetzt werden können, ohne das akzeptierte Sicherheitsniveau im Brandschutz abzusenken. Dabei sollte auch untersucht werden, ob die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung reduziert werden oder ganz entfallen kann. Die Versuche wurden an Brettschichtholz- (BSH), Brettsperrholz- (BSpH), Brettstapel- und Holzwerkstoffelementen durchgeführt. Der traditionelle Blockbohlenbau wurde nicht weiter untersucht, weil er auf Grund seiner kleinteiligen Struktur, des geringeren Vorfertigungsgrades, Schwächen im Lastabtrag und der hohen Anfälligkeit hinsichtlich Kriech- und Schwindverformungen keine wirtschaftliche Bedeutung im mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 4 hat.

Als Voraussetzung für den Einsatz unbekleideter massiver flächiger Holzbauteile in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 musste nachgewiesen werden, dass die speziellen Brandrisiken der Bauweise beherrscht werden können. Neben dem zusätzlichen Eintrag von Brandlasten, der erhöhten Brandausbreitungsgeschwindigkeit auf brennbaren Oberflächen und der damit verbundenen Personengefährdung durch Temperatur und Rauchgase war insbesondere zu klären, ob die Holzmassivbauteile nach einem Vollbrand mit einem üblichen Löschangriff der Feuerwehr gelöscht werden können. Entzünden sich die Massivholzelemente, entsteht als Produkt der Verbrennung eine Holzkohleschicht, die infolge ihrer geringen Dichte eine gute wärmeisolierende Wirkung hat. Dies hat den positiven Effekt, dass die Wärme des Brandes die Pyrolysefront langsamer erreicht und die Abbrandgeschwindigkeit abnimmt. Auf der anderen Seite kann bei Löschmaßnahmen die Kühlwirkung des Wassers ebenfalls schlechter an die

Pyrolysefront vordringen. Die Auswirkungen dieser Verkohlungsschicht auf das Löschverhalten der Bauteile sollten daher durch Brandversuche mit anschließendem Löschangriff geklärt werden.

Des Weiteren musste durch Brandversuche die Rauchdichtigkeit der Elemente einschließlich der Bauteilfugen überprüft werden. Nach den Vorgaben der Muster-Holzbaurichtlinie ist eine Brandschutzbekleidung mit versetzten Fugen anzuordnen, um die Rauchdichtigkeit der Bauteile über 60 Minuten Brandbeanspruchung sicherzustellen. Bei einem möglichen Verzicht auf die Brandschutzbekleidung muss die erforderliche Rauchdichtigkeit durch alternative Maßnahmen gewährleistet werden.

Löschverhalten und Rauchdichtigkeit

Zur Klärung der grundsätzlichen Löschbarkeit und der Rauchdichtigkeit massiver flächiger Holzbauteile wurden zunächst orientierende Brandversuche mit einer Brandbeanspruchung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) im Brandofen nach DIN 4102-8 durchgeführt (Bild 3) [5]. Je Versuch wurden zwei Probekörper seitlich in den Brandofen eingebaut. Bei einem Probekörper wurde über Mantelthermoelemente die Temperaturentwicklung des Querschnitts beobachtet, sowohl während der Beflammungsphase als auch während des Löschvorgangs. Die Löschwasserbeaufschlagung im direkten Anschluss an die Beflammung erfolgte über ein Drucksprühgerät. Bei dem anderen Probekörper wurde die Rauchdichtigkeit während der Beflammungsphase untersucht. Die beflammte Fläche je Probekörper betrug 45 cm x 45 cm, die Dicke der Proben variierte je nach Elementtyp.

Bild 3 Versuchsaufbau der kleinformatigen Brandversuche

Zum Vergleich hinsichtlich der Wirkung des Löschwassers diente ein aus Brettstapelelementen hergestellter Bezugsprobekörper, der direkt nach der Beflammung aus dem Ofen herausgeschwenkt, aber erst nach etwa drei Stunden gelöscht wurde. Die Temperaturentwicklung dieses Probekörpers ist in Bild 4 dargestellt. Nach der Beflammung brannte das Element zunächst oberflächlich weiter. Die offenen Flammen an der Oberfläche erloschen allerdings nach

wenigen Minuten und es kam zu einer Abkühlung des Elements in den oberflächennahen Bereichen. Durch Glutnester unter der Kohleschicht stieg die Temperatur im Innern mit der Zeit an. Trotz der Abkühlung im Außenbereich kam es im Innern vereinzelt immer wieder zu Temperatursteigerungen auf Grund von Glutnestern, die dauerhaft weiterglimmten. Ohne den anschließenden Löschangriff nach 3 Stunden wäre der Probekörper vermutlich vollständig verglimmt.

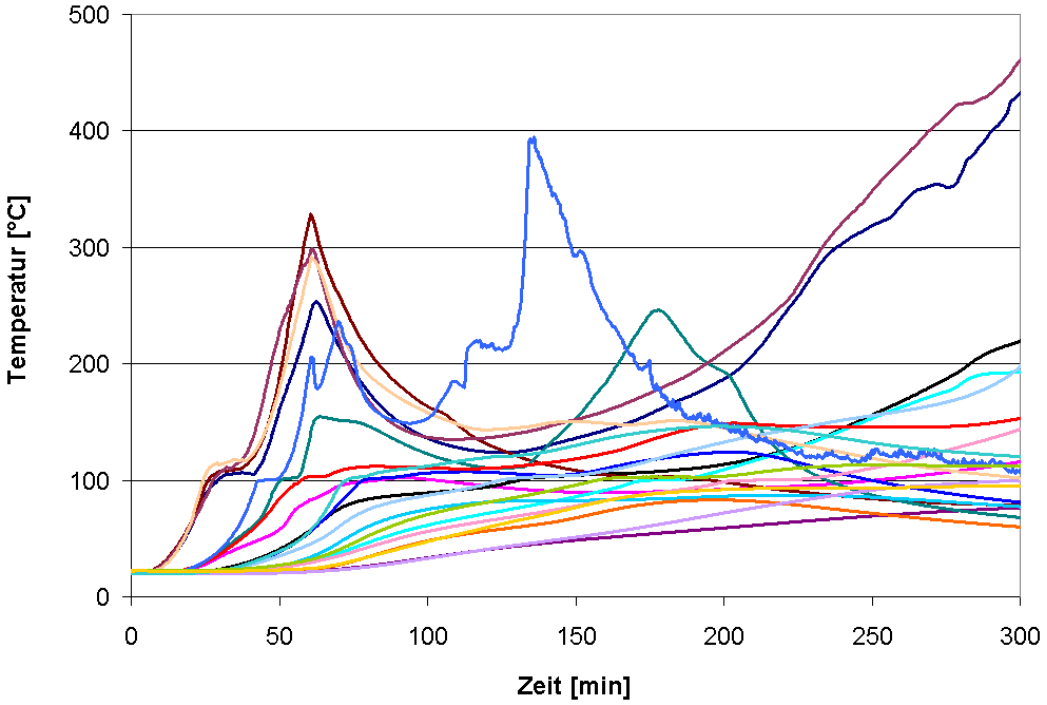


Bild 4 Temperaturentwicklung ohne Löschversuch

Im Vergleich dazu ist die Temperaturentwicklung eines identischen Probekörpers mit sofortigem Löschangriff in Bild 5 dargestellt. In einer Holztiefe z = 30 mm wurde nach 60 Minuten eine Temperatur von etwas mehr als 300 °C gemessen. Die Temperaturen fielen infolge des ersten Löschangriffs rasch ab. Die offenen Flammen wurden mit einem feinen Wassernebel gelöscht, die weitere Kühlung erfolgte durch einen Wasserstrahl. In Anbetracht der schnell fallenden Temperatur auf Werte < 100 °C sind die Bildung von Glutnestern und die Gefahr einer Rückzündung auszuschließen.

Bei allen untersuchten Schnittholzelementen konnte ein ähnliches Löschverhalten festgestellt werden. Bei zwei Versuchen wurden die Probekörper nach der Beflammung ausgebaut und in horizontaler Lage von unten als Deckenbauteil gelöscht. Dabei konnten keine wesentlichen Unterschiede zum Löschverhalten in vertikaler Lage festgestellt werden.

Die Untersuchungen zur Rauchdichtigkeit an den BSH-, BSpH- und Holzwerkstoffelementen zeigten, dass diese als rauchdicht angesehen werden können, da die Messwerte im Rahmen der Messungenauigkeiten bei null liegen (Bild 6). Die genagelten und gedübelten Brettstapelelemente müssen hingegen als nicht

rauchdicht eingestuft werden. Dies war zu erwarten, da es sich bei diesen Elementen um die einzigen handelt, bei denen durchgehende, nicht verklebte Fugen vorliegen.

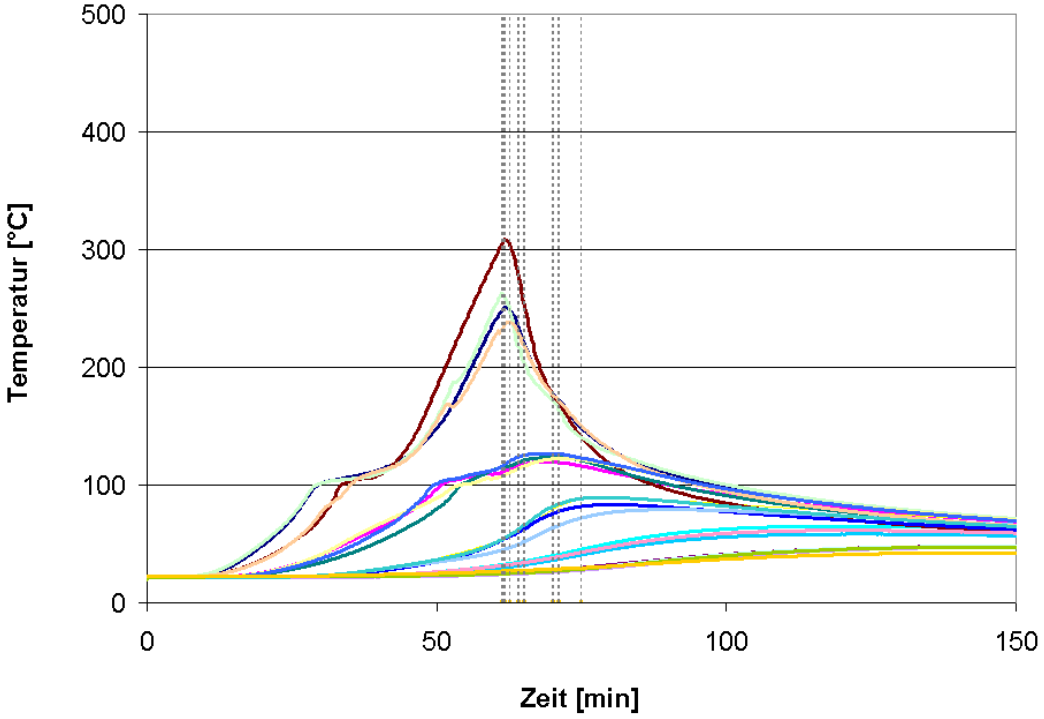


Bild 5 Temperaturentwicklung mit anschließendem Löschversuch

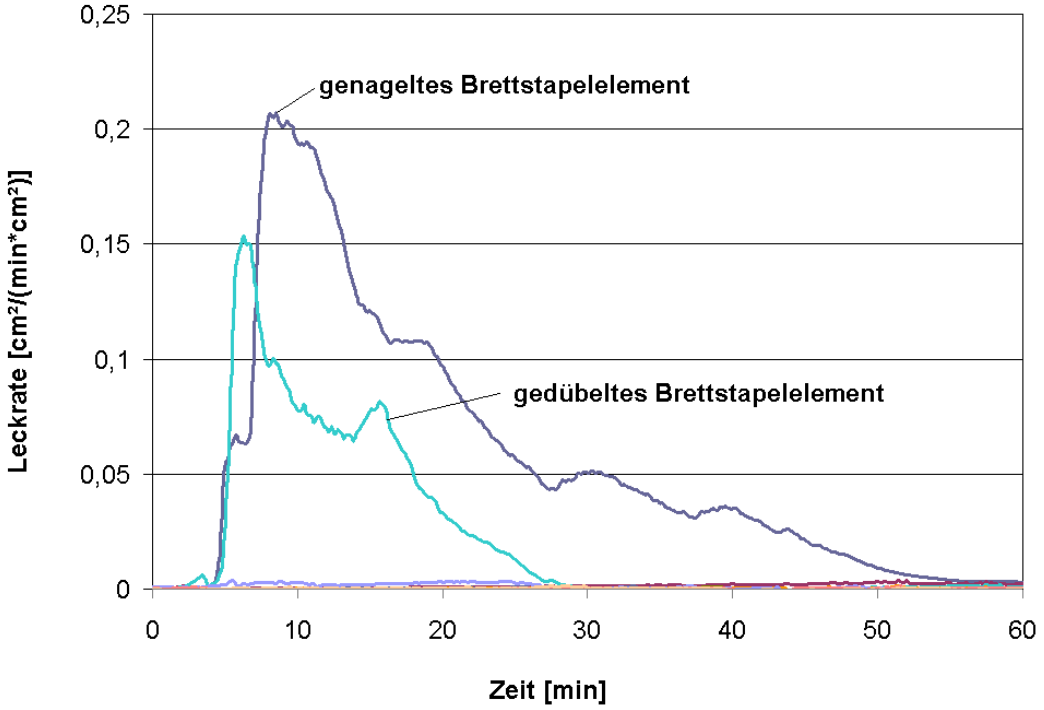


Bild 6 Rauchdichtigkeit der verschiedenen Massivholzelemente

Belegversuche im Realmaßstab

Durch weitere Brandversuche im mittleren Maßstab mit Bauteillängen bis zu 2 m wurden unterschiedliche Bauteilanschlüsse und Elementverbindungen hinsichtlich ihrer Rauchdichtigkeit genauer untersucht und optimiert. Die in dieser Versuchsreihe entwickelten Bauteil- und Elementfugen erwiesen sich im dargestellten Maßstab als rauchdicht. Der abschließende Großbrandversuch (Bild 7) diente dazu, die Ergebnisse der Brandversuche im kleinen und mittleren Maßstab auch im Realmaßstab zu belegen. Ziel dieses Normbrandversuchs war es nachzuweisen, dass die Bauteile mit einem üblichen Löschangriff der Feuerwehr gelöscht werden können und dass die Elementfugen bei annähernd realen Bauteilabmessungen während der Beflammung rauchdicht sind. Die Brandbeanspruchung erfolgte, wie auch schon in den vorherigen Brandversuchen, entsprechend der ETK über 60 Minuten. Anschließend wurde der Löschangriff durch die Berufsfeuerwehr Braunschweig durchgeführt [5].

Bild 7 Versuchsaufbau des Großbrandversuchs

Auf den Brandofen wurde der Probekörper bestehend aus vier Wänden und einer Decke aufgesetzt. Der Probekörper wies eine Grundfläche mit den Innenmaßen 3,8 m x 3,8 m und eine Innenhöhe von 1,5 m auf. Zusammen mit der Innenhöhe des Brandofens von 1,4 m entstand ein Brandraumvolumen vom 3,8 m x 3,8 m x 2,9 m. Zwei Wände des Versuchsaufbaus bestanden aus BSpH-Elementen, die beiden anderen Wände und die Decke wurden aus BSH-

Elementen hergestellt. Die BSH-Elemente hatten eine Dicke von 116 mm, die BSpH-Elemente wiesen eine Dicke von 120 mm auf. Zwei der vier Wandecken wurden mit GKF-Platten in der Qualität $K_2$15 und $K_2$30 nach DIN EN 13501-2, Januar 2007 bekleidet, um auch das Brand- und Löschverhalten dieser Ausführungsvariante abschließend beurteilen zu können. Die restlichen Oberflächen wurden unbekleidet ausgeführt. Die BSH-Bauteile bestanden aus 70,5 cm breiten Einzelelementen mit einer Doppel-Nut-Feder-Verbindung, die BSpH-Elemente waren aus 62,5 cm breiten Elementen aufgebaut und mit einer einfachen Nut-Feder-Verbindung ausgeführt.

Während des Brandversuchs konnte beobachtet werden, dass an mehreren Stellen Rauch durch die Bauteilfugen drang. Der anschließende Löschangriff durch die Feuerwehr wurde in mehreren Intervallen zwischen der 65. und der 89. Minute durchgeführt. Während der Beflammungsdauer, des Löschangriffs und der anschließenden Abkühlphase wurde die Temperatur in den Bauteilen in 10, 25, 40, 55 und 70 mm Tiefe (Maßangabe von der beflammten Oberfläche) gemessen (Bild 8). Die Auswirkungen der Löscharbeiten sind mit den Ergebnissen der Brandversuche im mittleren Maßstab vergleichbar. Bei den nahe der Oberflache gelegenen Thermoelementen in 10 mm und 25 mm Tiefe wurde ein rascher Temperaturabfall festgestellt. Die tiefer gelegenen Thermoelemente erfuhren mit geringer Verzögerung den Abfall der Temperatur. Ab der 75. Minute lagen alle Messwerte unter 200 °C. Die folgenden Aufzeichnungen zeigten ein weiteres Absinken der Temperaturen, so dass keine Gefahr der Rückzündung und des Weiterglimmens mehr bestand. Wie bereits bei den Kleinbrandversuchen festzustellen war, stieg die Temperatur der Thermoelemente in 70 mm Tiefe während des Löschangriffs zunächst weiter an. Danach war auch in dieser Tiefe ein Absinken der Temperatur zu beobachten.

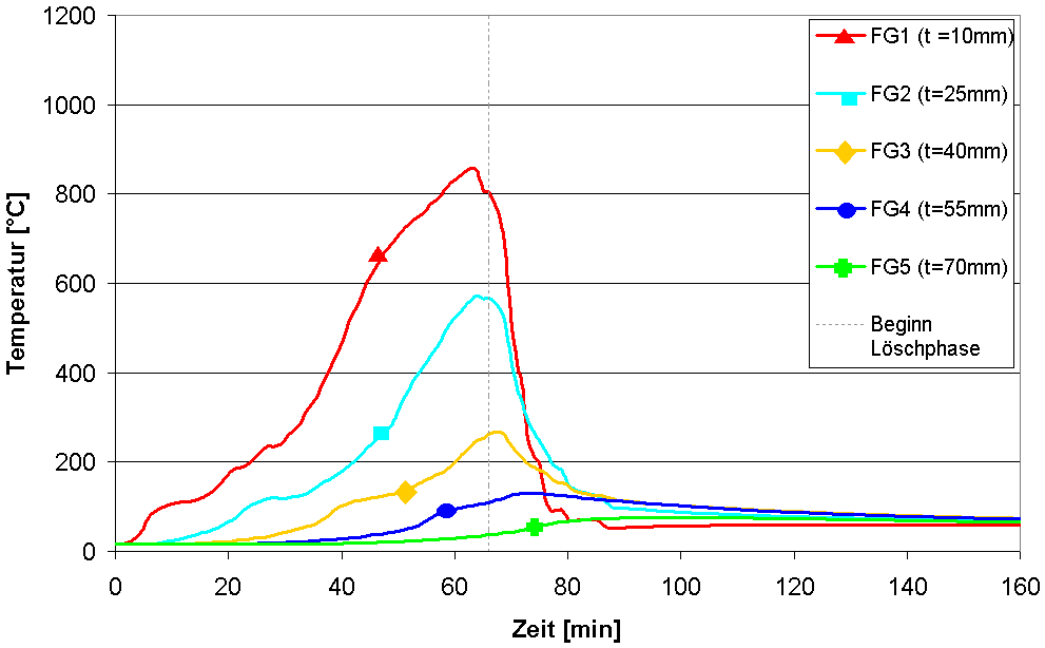


Bild 8 Temperaturverlauf in unterschiedlicher Bauteiltiefe (Mittelwerte)

Es wurden ebenfalls Temperaturprofile unterhalb der Brandschutzbekleidung aufgenommen. Die Bekleidung bewirkt eine deutliche Reduzierung der Temperatur während der Beflammung. Bei den $K_2$15-Bekleidungen wurde die definierte Entzündungstemperatur von 270 °C etwa zur 29. Minute überschritten, während bei den $K_2$30-Bekleidungen dieser Wert zur 55. Minute überschritten wurde. Die Abkühlung erfolgte im Vergleich zu den unbekleideten Bauteilen mit einer leichten Verzögerung. Die gemessenen Temperaturen zeigten jedoch auch, dass bereits vor dem Abschlagen der Bekleidung durch die Feuerwehr ab der 85. Minute die Temperaturen unterhalb von 200 °C lagen und somit als unkritisch einzustufen waren.

Die Ausführung der Elementstöße bei den BSH-Elementen erfolgte durch doppelte Nut-Feder-Verbindungen. Die Verbindung zwischen den einzelnen Elementen stellte wie bei den Brandversuchen im mittleren Maßstab ein 15 mm dicker OSB-Streifen dar, der mit Klammern auf der Rückseite befestigt wurde. Die Fugenausbildung erfolgte entweder mit Keramikpapierstreifen, intumeszierenden Dichtungsbändern oder ohne Dichtungsbänder (Bild 9). Die BSpH-Elemente wurden mit einer einfachen Nut-Feder-Verbindung zusammengefügt. Die Verbindung stellte ein 2,65 cm dickes und 9,5 cm breites, auf der brandabgewandten Seite aufgeklammertes Koppelbrett dar. In den etwa 1 cm breiten Spalt der Elementfuge wurden entweder Mineralwollestreifen oder ebenfalls eine Art Keramikpapierstreifen in unterschiedlicher Dicke angeordnet. Diese Fugenausbildungen hatten sich in den Brandversuchen im mittleren Maßstab während der 60-minütigen Beflammung als rauchdicht herausgestellt. Auf Grund nicht zu vermeidender Fertigungs- und Montageungenauigkeiten haben sich die Fugen im Realmaßstab jedoch als nicht rauchdicht erwiesen.

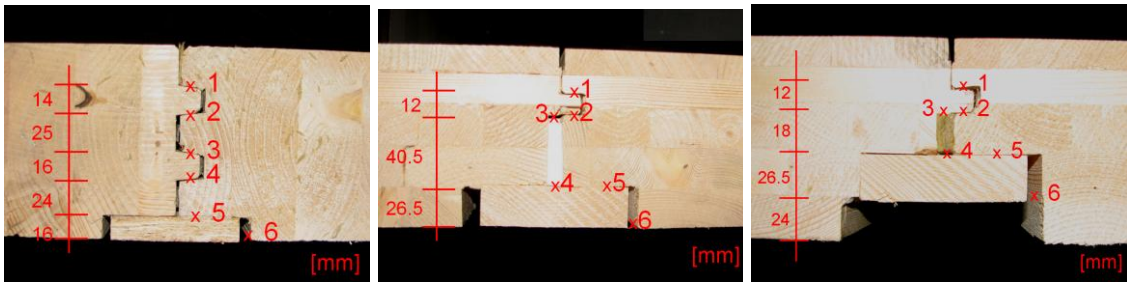


Bild 9 Ausführungsvarianten der Elementfugen

Konstruktionsregeln zur Verwendung von Massivholzelementen

Im Folgenden werden auf Grundlage der Brandversuche die Konstruktionsanforderungen für massive flächige Holzbauteile in der Gebäudeklasse 4 entwickelt. Es handelt sich dabei um Mindestanforderungen für Massivholzbauteile mit einem reduzierten Entzündungsschutz, der nur in Verbindung mit weiteren Kompensationsmaßnahmen ausgeführt werden kann. Bei Ausführung der Massivholzbauteile mit einer Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten und einem Entzündungsschutz von ebenfalls 60 Minuten (REI 60 $K_2$60 nach DIN 13501-2) sind die Anforderungen der Muster-Holzbaurichtlinie sinngemäß einzuhalten.

Durch die Auswertung abgeschlossener Zulassungsprüfungen und die Erkenntnisse aus dem abschließenden Belegversuch konnte gezeigt werden, dass eine $K_2$60-Bekleidung auf Massivholzbauteilen ein ähnliches Brandverhalten aufweist wie auf Holztafelelementen. Die Schutzziele der Brandschutzbekleidung werden somit auch in gleicher Weise bei Massivholzelementen erreicht.

Brandverhalten der Fugen

Die Elementfugen müssen hohlraumfrei ausgeführt werden. Eine doppelte Nut-Feder-Verbindung ist zu bevorzugen. Das Spaltmaß zwischen den Elementen darf 2 mm nicht überschreiten, um einen verstärkten Einbrand zu verhindern. Werden Fugen mit Hohlraum ausgeführt, ist dieser mit nichtbrennbaren Baustoffen vollständig und rauchdicht auszufüllen.

Rauchdichtigkeit

Die Massivholzelemente sind mit Ausnahme der Brettstapelelemente als rauchdicht anzusehen. Dies war bereits auf Grund von Beobachtungen bei früheren Brandprüfungen bekannt und wurde durch eigene Laborbrandversuche im Zuge eines Forschungsvorhabens bestätigt. Für Bauteilanschlüsse konnte die Rauchdichtigkeit durch das Einlegen eines mindestens 10 mm dicken Mineralwollestreifens mit einer Schmelztemperatur > 1000 °C bei eigenen Brandversuchen im mittleren Maßstab nachgewiesen werden. Die Verbindung ist dazu kraftschlüssig auszuführen, sodass der Mineralwollestreifen komprimiert wird. Da eine gleichmäßige Kompression auf Grund von Fertigungs- und Montageungenauigkeit nicht zuverlässig sichergestellt werden kann, sollte die Bauteilfuge bei unbekleideter Ausführung der Bauteile auf beiden Seiten durch eine dauerelastische Dichtungsmasse abgedichtet werden.

Die Rauchdichtigkeit der Elementfugen ist stark von den Fertigungs- und Montageungenauigkeiten abhängig und somit sehr fehleranfällig. Sie muss daher auf andere Weise sichergestellt werden. Dies kann entweder durch die Anordnung einer beidseitigen rauchdichten Bekleidung oder durch eine einseitige $K_2$60-Bekleidung erfolgen. Die Ausführung eines zweischaligen Bauteilaufbaus mit einer innenliegenden Rauchdichtigkeitsebene ist ebenfalls denkbar.

Bauteilanschlüsse

Es dürfen keine (Element)-Fugen über raumabschließende Bauteile hinweg geführt werden, da diese auf Grund kaum vermeidbarer Fertigungs- und Montageungenauigkeiten nicht rauchdicht ausgeführt werden können.

Löschverhalten

Durch die Brandversuche konnte eindeutig belegt werden, dass nach einem 60-minütigen Vollbrand massive Holzbauteile ohne vorheriges mechanisches Abtragen der Verkohlungsschicht mit einem üblichen Löschangriff der Feuerwehr

abgelöscht werden können. Dies gilt in gleicher Weise für die Elementfugen und Bauteilanschlüsse. Nach dem Löschen sind ein unbemerktes Weiterglimmen und eine Rückzündung der Bauteile nicht zu befürchten.

Die Temperaturaufzeichnungen zeigten zudem, dass auch unterhalb einer $K_2$30- oder $K_2$15-Brandschutzbekleidung die Wirkung des Löschwassers die Temperaturen auf unkritische Werte reduziert hat. Dennoch ist für diese Bereiche aus Sicherheitsgründen ein Abnehmen der Brandschutzbekleidung nach dem Löschangriff zu empfehlen, um ein Weiterglimmen zuverlässig ausschließen zu können.

Installationsführung

Installationen sind grundsätzlich außerhalb der Bauteile zu führen. Im Allgemeinen bietet sich hierfür die Schaffung einer Installationsebene an, die durch eine Vorsatzschale bzw. eine Unterdecke gebildet wird. Die Bauteiloberfläche der Massivholzelemente als Rückseite der Installationsebene muss aus einer nichtbrennbaren Bekleidung mindestens der Qualität $K_2$10 bestehen. Der Grund hierfür ist, dass bei einer Brandentstehung in der Installationsebene die Brandlasten der Konstruktion nicht direkt zugänglich sind.

Eine Ausnahme bilden elektrische Leitungen. Diese dürfen als Einzelleitung oder gebündelt zu maximal drei Leitungen auch innerhalb der Massivholzelemente geführt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Leitungen allseitig ohne Hohlraum durch nichtbrennbare Baustoffe umgeben sind. Dies ist sichergestellt, wenn in den Grund des Installationsschlitzes ein Gipsplattenstreifen eingelegt, anschließend die Leitung montiert und der restlichen Hohlraum durch eine nichtbrennbare Spachtelmasse verschlossen wird. Dies gilt insbesondere für Leitungsführungen in Bauteilebene (Bild 10). Bei der Führung von Leitungen durch ein Massivholzelement hindurch kann von der Forderung nach einer nichtbrennbaren Ummantelung abgewichen werden, wenn es sich um ein mindestens schwerentflammbares Kabel handelt, das hohlraumfrei geführt wird.

Elektroinstallationsdosen

Beim Einbau von Elektroinstallationsdosen ist darauf zu achten, dass diese bei gegenüberliegender Anordnung um mindestens 150 mm versetzt sind. Die Elektroinstallationsdosen müssen bei unbekleideter Ausführung der Bauteile auf ihrer Rückseite durch eine Gipsplatte vom Massivholzbauteil getrennt sein. Bei Anordnung einer Brandschutzbekleidung muss diese in gleicher Qualität die Hohlraumdose umhüllen. Dies kann durch die Anordnung von Plattenmaterialien oder durch eine nichtbrennbare Spachtelmasse sichergestellt werden (Bild 10).

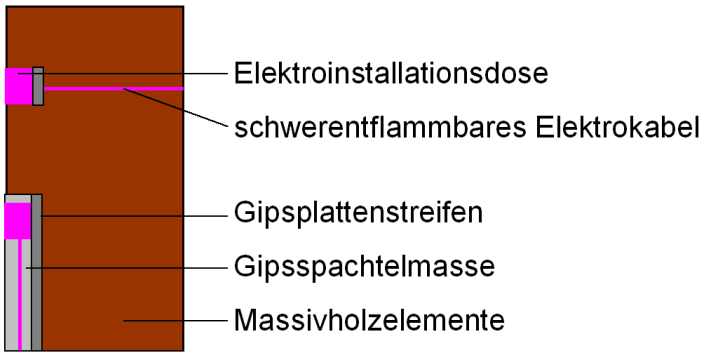


Bild 10 Führung von Elektroinstallationen innerhalb massiver Holzbauteile

Massivholzelemente mit planmäßigen Hohlräumen

Bei Massivholzelementen mit planmäßigen Hohlräumen besteht wie bei der Holztafelbauweise die Gefahr von Hohlraumbränden. Ist ein Brand in den Hohlraum eingedrungen, kann er sich unbemerkt und vergleichsweise rasch ausbreiten. Die Gefahr ist von der Feuerwehr nur schwer zu erkennen und es können keine wirksamen Löscharbeiten durchgeführt werden. Nach dem Löschangriff bleiben Glutnester eventuell über längere Zeit bestehen, die nach dem Abrücken der Feuerwehr zu Rückzündungen führen können. In der Folge kann es letztendlich zu einem verzögerten Tragwerksversagen oder zu einem Durchbrand in angrenzende Nutzungseinheiten kommen.

Auf Grund dieses Gefahrenpotenzials sind Massivholzelemente mit planmäßigen Hohlräumen nur mit üblichen Massivholzelementen gleichzusetzen, wenn über die gesamte Feuerwiderstandsdauer sichergestellt ist, dass es nicht zu einem Hohlraumbrand kommt. Daher muss durch eine entsprechend dimensionierte massive Außenschicht sichergestellt sein, dass die Hohlräume nicht in das Brandgeschehen mit einbezogen werden. Als Maß wird der rechnerische Abbrand nach 60 Minuten zuzüglich eines Sicherheitszuschlags von 2 cm vorgeschlagen. Der rechnerische Abbrand kann durch Anordnung einer Bekleidung reduziert werden. Darüber hinaus müssen die Hohlräume vollständig mit nichtbrennbaren Baustoffen gefüllt sein, um die Ansammlung von Rauchgasen und einen damit verbundenen verstärkten Fugeneinbrand zu unterbinden.

BEWERTUNG DES BRANDRISIKOS BEI REDUZIERTEM ENTZÜNDUNGSSCHUTZ

Zur brandschutztechnischen Risikobewertung werden die drei Bauweisen Holztafelbauweise mit nichtbrennbarer Dämmung, Holztafelbauweise mit brennbarer Dämmung und die Holzmassivbauweise entsprechend ihrer Kapselungsdauer in Bauteile mit 60 Minuten Entzündungsschutz, Bauteile mit 30 Minuten Entzündungsschutz und Bauteile ohne Entzündungsschutz eingeteilt. Wie die vorangestellten Ausführungen zeigen, werden die bauweisenspezifischen Brandrisiken durch die Anordnung einer $K_2$60- Brandschutzbekleidung

vollständig kompensiert. Bei der Verwendung brennbarer Dämmstoffe ist jedoch zu beachten, dass durch die Brandschutzbekleidung ebenfalls die Zersetzung der Dämmstoffe verhindert wird. Dies ist sichergestellt, wenn die Dämmstoffe nicht über die Grenztemperatur der thermischen Zersetzung erwärmt werden und keine elektrischen Leitungen innerhalb der Bauteile geführt werden.

Eine oftmals aus wirtschaftlichen Gründen gewünschte Reduzierung der Brandschutzbekleidung von 60 Minuten Entzündungsschutz auf 30 Minuten hat zur Folge, dass es im Brandfall bei spätem Eintreffen der Feuerwehr während der Löscharbeiten und einer eventuell durchzuführenden Fremdrettung von Personen zu einer Entzündung der Holzkonstruktion kommen kann. Dies hat den Brandeintrag in die Konstruktion und die thermische Umsetzung der immobilen Brandlast der Konstruktion zur Folge. Zur Kompensation kann eine Brandmeldeanlage dienen, die für eine frühzeitige Alarmierung der Bewohner sorgt, sodass diese vor dem Versagen der Brandschutzbekleidung das Gebäude selbstständig verlassen können. Eine Brandmeldeanlage nach DIN VDE 0833 Teil 2 und DIN 14675 zieht die Anordnung erheblicher technischer Einrichtungen wie die Übertragungsanlage zur Feuerwehr oder die Brandmeldezentrale nach sich. Dieser erhebliche technische und finanzielle Aufwand sollte daher nur für Sonderbauten mit einem höheren Risikopotenzial gefordert werden. Eine Alternative, die Vorteile der automatischen Brandmeldung mit geringerem Aufwand für Wohngebäude nutzen zu können, bietet die Anordnung von Brandmeldern nach DIN 14676. Um die Funktionstüchtigkeit der Brandmelder zu gewährleisten, sollte jedoch eine regelmäßige Wartung durch eine Elektrofachkraft vorgesehen werden. Die Auslösung des automatischen Alarms führt auch ohne automatische Übertragung zur unverzüglichen Alarmierung der Feuerwehr durch Nutzer oder Passanten. Eine eventuell erforderliche Fremdrettung kann somit schnell erfolgen, ebenso die eigentliche Brandbekämpfung.

Bei der Holztafelbauweise mit brennbarer Dämmung muss auch bei einer Reduzierung der Kapselungsdauer auf 30 Minuten der thermische Schutz der Dämmstoffe weiterhin über 60 Minuten sichergestellt sein. Dies kann durch eine unterhalb der Brandschutzbekleidung angeordnete Holzwerkstoffplatte gewährleistet werden. Unter Beachtung dieser Zusatzanforderung sind $K_2$30-gekapselte Holztafelelemente mit brennbarer Dämmung Holztafelelementen mit nichtbrennbarer Dämmung und identischer Kapselungsdauer ebenbürtig.

Da bei der Holzmassivbauweise die Gefahr unentdeckter Hohlraumbrände nicht besteht, ist eine weitere Reduzierung der Brandschutzbekleidung oder die unbekleidete Ausführung denkbar. Dies hat jedoch wiederum eine Erhöhung des brandschutztechnischen Risikos für das Gebäude zur Folge, was sinnvoll kompensiert werden muss. Eine weitere Reduzierung der Brandschutzbekleidung ist hingegen für die Holztafelbauweise nicht vertretbar, da über die Hohlräume eine rasche unentdeckte Brand- und Rauchausbreitung in benachbarte Nutzungseinheiten stattfinden kann.

Auch ohne die Gefahr von Hohlraumbränden erhöht sich bei der Holzmassivbauweise bei vollständigem Verzicht auf eine Brandschutzbekleidung das

Brandrisiko durch die Gefahr der raschen Brandausbreitung über brennbare Oberflächen in Verbindung mit der Umsetzung der zusätzlichen immobilen Brandlast. Der Nachweis des Löschverhaltens und der Rauchdichtigkeit konnte durch Brandversuche an massiven, flächigen Holzbauteilen geführt werden. Es konnte gezeigt werden, dass nach einem Vollbrand von 60-minütiger Dauer und anschließendem Löschangriff die Gefahr des unentdeckten Weiterglimmens und einer damit verbundenen Rückzündung der Bauteile nicht besteht. Die Bauteile konnten durch einen üblichen Löschangriff ohne mechanisches Abtragen der Verkohlungsschicht gelöscht werden. Der Nachweis der Rauchdichtigkeit konnte für die Massivholzelemente einschließlich der Fugen durch die Anordnung einer rauchdichten Bekleidung erbracht werden. Die brennbaren Oberflächen haben zur Folge, dass sich ein Brand im Vergleich zu gekapselten Bauteilen schneller zu einem Vollbrand entwickeln kann. Durch die zusätzliche Brandlast ist zudem mit einer höheren Wärmefreisetzung beim Brand zu rechnen. Bei vollständigem Verzicht auf eine Brandschutzbekleidung muss die thermische Umsetzung der zusätzlich eingebrachten Brandlasten der Konstruktion daher auf andere Weise verhindert werden, z. B. durch die Installation einer automatischen Löschanlage. Die Löschanlage begrenzt den Brand bereits in der Entstehungsphase, sodass nur ein geringer Teil der immobilen Brandlast umgesetzt wird. Der Brand wird kontrolliert und auf die Größe eines Entstehungsbrandes begrenzt, der letztendlich von der Feuerwehr vollständig gelöscht wird. Die Gefahr der schnellen Brandausbreitung über brennbare Oberflächen ist damit ebenfalls kompensiert.

Die Auslegung einer Löschanlage für öffentliche Gebäude oder Industrieanlagen erfolgt entsprechend den Richtlinien der Sachversicherer (CEA-VDS). Für diese Systeme bestehen erhöhte Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Wasserversorgung. Auf Grund positiver Erfahrungen in anderen europäischen Ländern und begleitenden wissenschaftlichen Arbeiten im nationalen Bereich ist zu überlegen, ob zur Kompensation in Wohngebäuden nicht sogenannte „residential sprinkler“ eingesetzt werden können, die direkt an die Hauswasserversorgung angeschlossen werden und somit geringere Kosten verursachen.

Wird auf eine Brandschutzbekleidung verzichtet und zur Kompensation keine automatische Löschanlage vorgesehen, muss für den Brandfall die thermische Umsetzung der zusätzlichen immobilen Brandlast unterstellt werden. In den Forschungsprojekten zur Erarbeitung der Muster-Holzbaurichtlinie wurde dargelegt, dass die bewertete Brandlast eines Gebäudes in Holzmassivbauweise ohne brandschutztechnische Bekleidung etwa um den Faktor 4 größer ist als die Brandlast eines Gebäudes aus Mauerwerk oder Beton [6]. Die Brandlast setzt sich dabei aus einem mobilen Anteil der Nutzung und einem immobilen Anteil des Tragwerks zusammen (Bild 11).

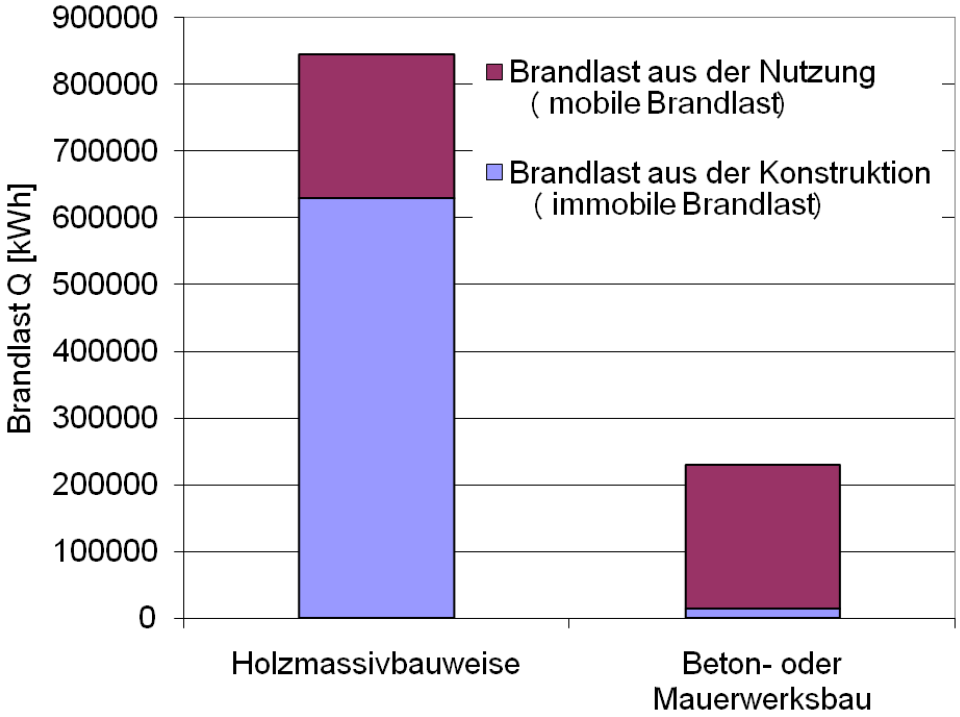


Bild 11 Brandlastvergleich zwischen Holzmassivbauweise und Beton- oder Mauerwerksbau

Im Vergleich zur gekapselten Holzbauweise kann ein Feuer bei Verwendung unbekleideter Massivholzelemente eine deutlich höhere Wärmefreisetzung zur Folge haben, wodurch es von der Feuerwehr schwieriger zu beherrschen ist. Einen Beleg hierfür lieferte auch der Löschangriff durch die Feuerwehr nach dem Großbrandversuch, in dem das Abkühlen der Brandraumtemperatur einen erheblich höheren Aufwand als üblich erforderte. Diese Aussage bezieht sich auf Erfahrungswerte der anwesenden Feuerwehrleute und spiegelt die Tatsache wider, dass die zusätzliche Brandlast der Konstruktion thermisch umgesetzt wird. Bei der Verwendung unbekleideter Massivholzelemente muss diesem Sachverhalt durch eine Begrenzung der thermisch umsetzbaren Brandlast begegnet werden. Dies geschieht durch die Reduzierung der maximalen Größe der Nutzungseinheit und durch eine Beschränkung unbekleideter Bauteile auf Teilbereiche.

Die maximale Größe von Nutzungseinheiten innerhalb der Gebäudeklasse 4 beträgt 400 m². Eine Fläche von 400 m² gilt bei Feuerwehrleuten als im Brandfall gerade noch beherrschbar. Falls alle Bauteile in massiver Holzbauweise und ohne Bekleidung ausgeführt werden sollen, muss die maximal zulässige Fläche einer Nutzungseinheit um etwa den Faktor 4 reduziert werden, damit die Gesamtbrandlast den allgemein üblichen Wert einer Nutzungseinheit von 400 m² mit nichtbrennbarer Konstruktion nicht überschreitet. Die maximale Größe einer Nutzungseinheit, deren Wand- und Deckenbauteile aus unbekleideten, massiven Holzbauteilen bestehen, sollte daher auf 100 m² begrenzt werden. Reduziert man den Anteil unbekleideter Holzbauteile, kann die maximal zuläs-

sige Fläche der Nutzungseinheit entsprechend vergrößert werden. Aus aktuellen Bauvorhaben weiß man, dass oftmals der Wunsch nach einer unbekleideten Deckenunterseite besteht. Auf der sicheren Seite liegend kann ein Flächenanteil der unbekleideten Deckenunterseiten von 50 % angenommen werden. Ist also höchstens die Hälfte der Konstruktionsoberflächen (ohne Fußboden) brennbar, sollte die Größe der Nutzungseinheiten auf maximal 200 m² beschränkt werden. Diese Größe ist im Allgemeinen für Wohnungen als ausreichend anzusehen.

Dennoch gilt weiter, dass bei unbekleideter Ausführung der Holzkonstruktion mit einer schnellen Brandausbreitung zu rechnen ist, sodass der erste Rettungsweg frühzeitig blockiert werden kann. Infolge der raschen Brandentwicklung und Verrauchung kann ggf. auch der zweite Rettungsweg über Fenster bei Eintreffen der Feuerwehr nicht mehr nutzbar sein. Neben einer frühzeitigen Alarmierung der Bewohner durch eine automatische Brandmeldeanlage muss daher die Rettungswegsituation insgesamt verbessert werden. Dies kann z. B. durch den Einbau von Rauchschutztüren zwischen der Nutzungseinheit und dem notwendigen Flur bzw. durch rauchdichte Brandschutztüren des Typs T 30-RS zwischen einer Nutzungseinheiten und dem Treppenhaus geschehen. Alternativ kann ein zweiter baulicher Rettungsweg beispielsweise über eine Außentreppe angeordnet werden, der bei einer Blockierung des ersten Rettungsweges durch Feuer und Rauch benutzbar wäre, sodass auf den Einbau von klassifizierten Wohnungseingangstüren verzichtet werden könnte.

Auf Grundlage der zuvor dargestellten Ergebnisse der Brandversuche und der Risikoanalyse kommen fünf unterschiedliche Brandschutzkonzepte in Frage, die im Folgenden nochmals zusammengefasst dargestellt werden.

Tabelle 1 Zusammenstellung der Brandschutzkonzepte

	Konzept				
	1	2	3	4	5
Bauweise	Holztafelbauweise (nichtbrennbare Dämmung) (brennbare Dämmung) Holzmassivbauweise		Holzmassivbauweise		
Qualität der Bauteile	REI 60 $K_2$60	REI 60 $K_2$30	REI 60 unbekleidet	REI60 unbekleidet	REI60 $^{K30}/_{K0}$
Max. Größe der NE	< 400 m²	< 400 m²	< 400 m²	< 100 m²	< 200 m²
Brandmeldeanlagen	-/-	Ja	-/-	Ja	Ja
Klassifizierte Türen	-/-	-/-	-/-	Ja *	Ja *
Rettungswegsituation	-/-	-/-	-/-	Ja *	Ja *
Autom. Löschanlagen	-/-	-/-	Ja	-/-	-/-

*) Alternativ zur Verbesserung der Wohnungseingangstüren kann die Rettungswegsituation durch Anordnung eines 2. baulichen Rettungsweges verbessert werden.

Konzept 1: $K_2$60-Kapselung

Durch die Kapselung aller tragenden und raumabschließenden Bauteile über die erforderliche Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten (Gebäudeklasse 4) wird die thermische Zersetzung der Konstruktion verhindert. Die nichtbrennbaren Oberflächen unterbinden ebenfalls die Gefahr einer schnellen Brandausbreitung. Wie bei der Holztafelbauweise entsprechend der Muster-Holzbaurichtlinie werden in diesem Fall alle speziellen Risiken, die von der Holzbauweise ausgehen, durch die Brandschutzbekleidung beherrscht. Dies gilt auch bei der Anordnung brennbarer Dämmstoffe, sowie bei der Verwendung massiver Holzbauelemente.

Konzept 2: $K_2$30-Kapselung

Alle tragenden und raumabschließenden Bauteile werden mit einem reduzierten Kapselungsschutz von 30 Minuten versehen. Damit existieren keine brennbaren Oberflächen, sodass die Gefahr der schnellen Brandausbreitung nicht besteht. Der Gefahr einer Entzündung der Bauteile nach 30 Minuten wird durch die Anordnung einer automatischen Brandmeldung begegnet.

Konzept 3: automatische Löschanlage

Alle tragenden oder raumabschließenden Bauteile bleiben unbekleidet. Die Nutzungseinheit wird auf 400 m² begrenzt und zur Kompensation der zusätzlichen Brandlast der Konstruktion wird eine automatische Löschanlage installiert.

Konzept 4: unbekleidete Bauteile

Es werden unbekleidete Massivholzelemente im gewünschten Umfang verwendet. Die dadurch vergrößerte immobile Brandlast wird durch Reduktion der maximal zulässigen Größe der Nutzungseinheit kompensiert. Unter der Voraussetzung, dass alle brennbaren Holzoberflächen unbekleidet bleiben, ist die Größe der Nutzungseinheiten auf 100 m² zu begrenzen. Zur Kompensation der schnellen Brandausbreitung über brennbare Oberflächen wird eine Brandmeldeanlage in Kombination mit klassifizierten Wohnungseingangstüren eingesetzt. Als Alternative zum Einbau klassifizierter Wohnungseingangstüren kann ein 2. baulicher Rettungsweg angeordnet werden.

Konzept 5: teilweise unbekleidete Bauteile

Dieses Konzept ist eine Kombination der Konzepte 2 und 4. Wenn maximal 50 % der Bauteiloberflächen unbekleidet ausgeführt werden, wobei es sich in der Regel um die Unterseiten der Decken handeln wird, ist die Größe der Nutzungseinheiten auf 200 m² zu begrenzen. Die restlichen Oberflächen werden mit einer Brandschutzbekleidung mindestens der Qualität $K_2$30 geschützt. Die Kompensationsmaßnahmen zur Verbesserung der Rettungswegsituation sind entsprechend dem Konzept 4 zu wählen.

RISIKOGERECHTE BEWERTUNG DER KOMPENSATIONSMAßNAHMEN

Die sicherheitstechnische Gleichwertigkeit der zuvor dargestellten Brandschutzkonzepte mit reduziertem Entzündungsschutz und entsprechenden Kompensationsmaßnahmen mit dem Standardbrandschutzkonzept der MBO und der Muster-Holzbaurichtlinie wurde mit Hilfe einer Risikoindexmethode überprüft und nachgewiesen. Zur vergleichenden Risikobewertung kam die Fire Risk Index Method – For Multi-storey Apartment Buildings 2.0 (kurz: FRIM-MAB 2.0) zur Anwendung [7]. Es handelt sich hierbei um eine sehr praxisnahe und rationelle Methode zur vergleichenden Bewertung des Brandrisikos mehrgeschossiger Wohngebäude in Holzbauweise.

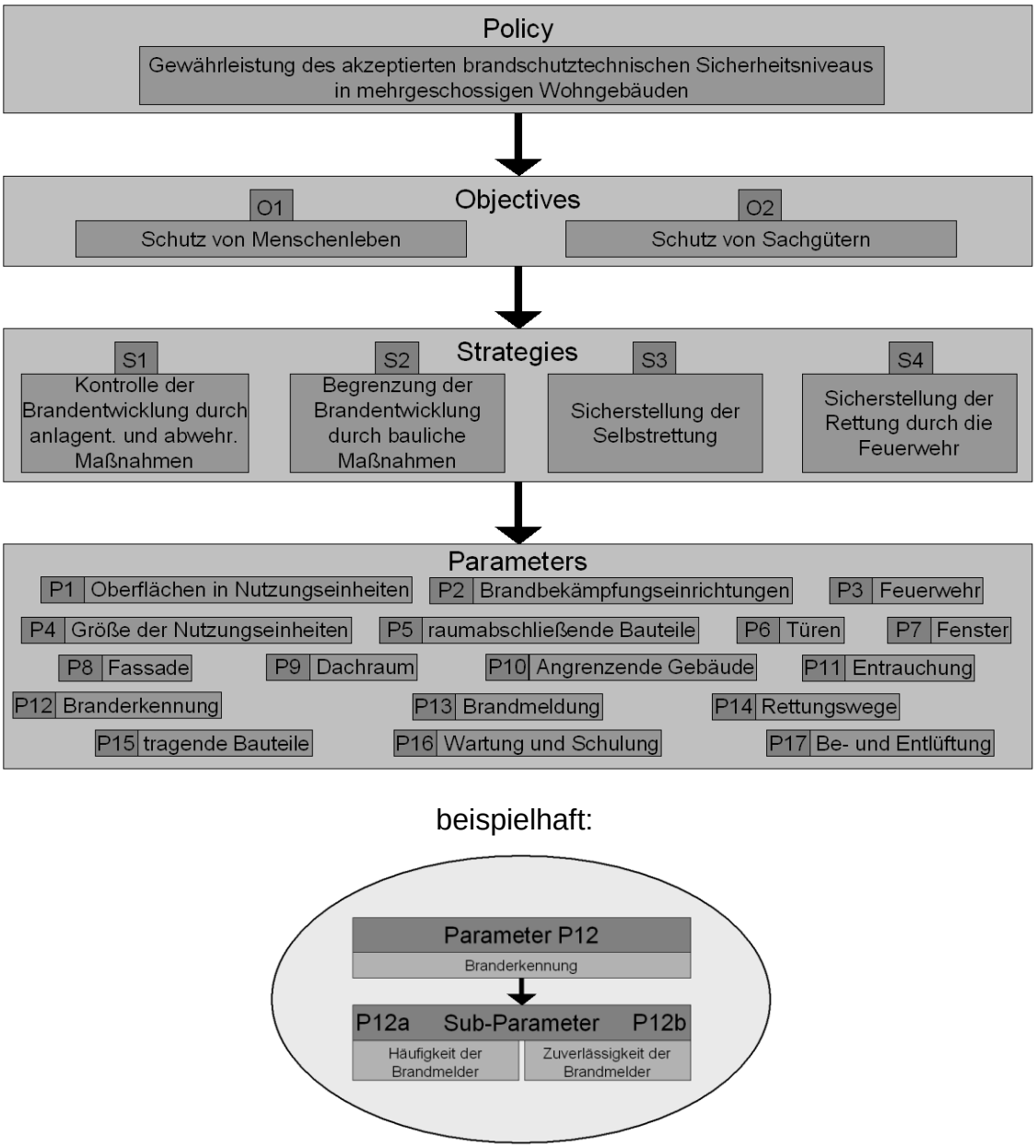


Bild 12 Darstellung der Hierarchieebenen der FRIM-MAB

Die FRIM-MAB 2.0 hat einen von einer Expertengruppe entwickelten hierarchischen Aufbau. Die Hirarchie der FRIM-MAB ist in Bild 12 dargestellt. Die oberste Ebene in der Hierarchie ist die „Policy“. Sie gibt die übergeordnete Zielsetzung für das Brandschutzkonzept wieder. Die „Policy“ wird in der darunter liegenden Ebene der „Objectives“ in verschiedene Schutzziele untergliedert. Die dritte Ebene der „Strategies“ enthält die verschiedenen Strategien, mit denen die Schutzziele erreicht werden sollen. Die unterste Ebene der „Parameters“ umfasst eine Vielzahl von (Brandschutz-) Maßnahmen, die zur Umsetzung der „Strategies“ beitragen. Da die „Parameters“ in geeigneter Weise messbar oder bewertbar sein müssen, werden sie teilweise zusätzlich in „Sub-Parameters“ unterteilt. Eine detaillierte Beschreibung der Entwicklungsarbeiten ist in [3] enthalten.

Zur Anwendung in Deutschland wurde die ursprünglich in Skandinavien zur Ermittlung des Brandrisikos in mehrgeschossigen Wohngebäuden entwickelt Indexmethode an das nationale Baurecht angepasst. Dazu wurden die einzelnen das Brandrisiko beeinflussenden Parameter auf Grundlage einer Delphi-Umfrage unter Brandschutzexperten neu gewichtet. Außerdem wurden die das Tragwerk betreffenden Parameter zur Berücksichtigung der Kapselbauweise überarbeitet und die Baustoffqualität der Oberflächen wurde als zusätzliche Bauteileigenschaft definiert.

Voraussetzung zur Anwendung der FRIM-MAB ist, dass die Gebäude den Anforderungen der zu berücksichtigenden Bauordnung in allen Punkten genügen müssen. Zwar ist es theoretisch möglich, bei Anwendung der FRIM-MAB für einzelne Parameter Werte anzugeben, die unterhalb bzw. oberhalb der bauaufsichtlichen Anforderungen liegen, jedoch ist eine Kompensation durch andere Parameter nicht vorgesehen. Der wesentliche Grund liegt darin, dass nicht alle Parameter einen unmittelbaren Einfluss auf das zu kompensierende Risiko haben. So könnte beispielsweise rein rechnerisch die Nichterfüllung der Anforderungen an die Fassadenkonstruktion durch eine erhöhte Qualität der Rettungswegtüren kompensiert werden, obwohl das Brandrisiko eines Brandüberschlags über die Fassade damit nicht beeinflusst wird. Um die FRIM-MAB auch gezielt zur Bewertung von Kompensationsmaßnahmen für die Nichterfüllung bestimmter brandschutztechnischer Anforderungen einsetzen zu können, muss das Wirken der Kompensationsmaßnahmen an der richtigen Stelle gewährleistet sein. Nur so kann das entstandene erhöhte Risiko tatsächlich beherrscht werden. Hierzu müssen die einzelnen Parameter hinsichtlich des durch sie beeinflussten Brandrisikos analysiert werden. Dies erfolgt durch eine vorgeschaltete qualitative Brandschutzanalyse. Dabei werden sogenannte Kompensationsgruppen gebildet, in denen festgelegt wird, durch welche Parameter ein erhöhtes Brandrisiko kompensiert werden kann. Die derart weiterentwickelte, auf das deutsche Baurecht angepasste Indexmethode wird mit FRIM-MAB-D bezeichnet.

Durchführung der semi-quantitativen Risikoanalyse

Mit der so ertüchtigten Indexmethode wurden die zuvor entwickelten Brandschutzkonzepte in einer vergleichenden Risikostudie unter Verwendung von Ergebnissen aus den durchgeführten Brandversuchen bewertet. Ziel des Risikovergleichs ist es, die brandschutztechnische Gleichwertigkeit der Holzbauweisen mit reduzierter Kapselung in Kombination mit den entsprechenden Kompensationsmaßnahmen im Vergleich zu den Anforderungen der MBO und der Muster-Holzbaurichtlinie nachzuweisen.

Dazu wird zunächst als Vergleichswert das allgemein anerkannte Sicherheitsniveau der MBO anhand einer Bewertung eines mehrgeschossigen Gebäudes in REI 60 $K_2$60-Bauweise gemäß der Muster-Holzbaurichtlinie bestimmt. Alle Parameter entsprechen dabei den Mindestanforderungen der MBO. Die Bewertung der Parameter und die daraus resultierende Ermittlung des Risikoindexes ist in Tabelle 2 dargestellt. Die detaillierte Ermittlung der einzelnen Bewertungen der Parameter kann ebenfalls in [3] nachvollzogen werden. Als Referenzwert erhält man für den Risikoindex einen Wert von 3,27. Dieser Wert ist ein Maß für das vorhandene Brandrisiko des Gebäudes.

Es gibt derzeit in einigen Bundesländern Bestrebungen, einen Grundschutz an Anlagentechnik zur Branderkennung und -meldung gesetzlich vorzuschreiben. So sind in den Landesbauordnungen der Länder Rheinland-Pfalz, Saarland, Schleswig-Holstein, Hessen und Hamburg batteriebetriebene Rauchwarnmelder für Neubauten bereits gesetzlich vorgeschrieben. Es ist damit zu rechnen, dass die anderen Länder diesem Beispiel folgen werden. Der Grundschutz sieht mindestens einen batteriebetriebenen Rauchwarnmelder je Wohneinheit vor. Obwohl an die Zuverlässigkeit der Rauchwarnmelder nur geringe Anforderungen gestellt werden und eine Wartung nicht vorgeschrieben ist, erhalten die Parameter P12 und P13 im Zuge eines auf der sicheren Seite liegenden Risikovergleichs die Bewertungen 2 und 3. Durch diese Anforderungen erhöht sich das brandschutztechnische Sicherheitsniveau gegenüber dem Brandschutzkonzept der MBO. Dies wurde in einer Vergleichsrechnung berücksichtigt. Der Risikoindex erhält mit einem Grundschutz an Rauchwarnmeldern den Wert 2,99.

Auf die gleiche Weise werden ebenfalls die Risikoindizes für die vier Brandschutzkonzepte bei einem ansonsten identischen Gebäude ermittelt. Die Gegenüberstellung der Risikoindizes ist Tabelle 3 zu entnehmen. Da es sich bei dem Risikoindex um ein Maß für das Brandrisiko eines Gebäudes handelt, bedeutet ein kleinerer Wert eine höhere Sicherheit. Bei der Angabe der Risikoindizes sollte immer beachtet werden, dass die Berechnung auf der Grundlage von Experteneinschätzungen beruht und nicht das Ergebnis einer exakten mathematischen Berechnung ist. Um nicht eine falsche Genauigkeit dieser Methode vorzutäuschen, sollten die ermittelten Risikoindizes mit maximal zwei Nachkommastellen angegeben werden.

Tabelle 2 Ermittlung des Vergleichsindexes der MBO

Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P2	Brandbekämpfungs-einrichtungen	keine Anforderung	6,75	0	0,0000
P3	Feuerwehr	Brandbekämpfung und Personenrettung gleichzeitig möglich; Hilfsfrist 10 - 15 Minuten; mindestens 1 Fenster pro Wohnung anleiterbar	6,85	3,15	0,2158
P4	Größe der Nutzungseinheiten	200 - 400 m²	6,64	1	0,0664
P5	Raumabschl. Bauteile	REI 60 $K_2$60; Installations-führung gemäß MLAR	6,75	4,28	0,2889
P6	Türen	dichtschließende Türen zwischen NE und notw. Flur; RS-Türen zwischen notw. Flur und Treppenraum	6,95	1,66	0,1154
P7	Qualität der Fenster	keine Anforderungen	4,75	0	0,0000
P8	Fassade	schwerentflammbar; Hinterlüftungsspalt wird durch Brandsperren geschlossen	4,96	3	0,1488
P9	Dachraum	< 1600 m²	5,23	0	0,0000
P10	Angrenzende Gebäude	5 m	4,04	1	0,0404
P11	Entrauchung	in jedem Geschoss des Treppenraums befindet sich ein manuell zu öffnendes Fenster	6,06	2	0,1212
P12	Branderkennung	keine Anforderung	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	keine Anforderung	5,06	0	0,0000
P14	Rettungswege	ein Treppenraum und ein Fenster können je NE zur Flucht genutzt werden; der Treppenraum befindet sich in max. 35 m Entfernung; das Gebäude hat 5 Geschosse; die Anzahl der NE je Geschoss ist nicht begrenzt; keine Orientierungshilfen; nichtbrennbare Oberflächen	6,05	1,15	0,0696
P15	Tragfähigkeit	REI 60 $K_2$60	6,31	4,26	0,2688
P16	Wartung und Schulung	keine Anforderung	6,01	0	0,0000
P17	Be- und Entlüftung	Systeme nach DIN 18017 T1 und T3	5,56	2	0,1112
			Summe:		1,7339
			Risikoindex =(5- 1,7339)		3,2661
					~ 3,27

Tabelle 3 Ergebnisse der vergleichenden Risikoanalyse

	Brandschutzkonzept					
	1 (MBO)	2	3	4	5	MBO mit Rauchmeld.
Qualität der Bauteile	REI 60 $K_2$60	REI 60 $K_2$30	REI 60 unbekleidet	REI 60 unbekleidet	REI 60 $^{K30}/_{K0}$	REI 60 $K_2$60
Max. Größe der NE	< 400 m²	< 400 m²	< 400 m²	< 100 m²	< 200 m²	< 400 m²
Brandmeldeanlagen	-/-	Ja	-/-	Ja	Ja	Rauchmeld.
Klassifizierte Türen	-/-	-/-	-/-	Ja	Ja	-/-
Autom. Löschanlagen	-/-	-/-	Ja	-/-	-/-	-/-
Risikoindex	3,27	2,70	2,85	2,83	2,72	2,99

Die Werte der Brandschutzkonzepte 2 bis 5 liegen alle unterhalb des zuvor ermittelten Referenzwertes der Musterbauordnung (Brandschutzkonzept 1) von 3,27. Es ist somit der Nachweis erbracht, dass das brandschutztechnisch akzeptierte Sicherheitsniveau bei Umsetzung der Vorgaben der vier Brandschutzkonzepte eingehalten wird. Auch im Vergleich zu einem geforderten Rauchwarnmeldergrundschutz erreichen die Brandschutzkonzepte mindestens das gleiche Sicherheitsniveau, wie der Vergleich in Tabelle 3 zeigt.

Alternativ zur Verbesserung der Wohnungseingangstüren kann die Rettungswegsituation bei den Varianten 4 und 5 durch die Anordnung eines 2. unabhängigen baulichen Rettungsweges verbessert werden. Diese Varianten wurden ebenfalls bewertet und die Ergebnisse in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4 Ergebnisse der vergleichenden Risikoanalyse

	Brandschutzkonzept	
	4	5
Qualität der Bauteile	REI 60 K0	REI 60 $^{K30}/_{K0}$
Max. Größe der NE	< 100 m²	< 200 m²
Brandmeldeanlagen	Ja	Ja
Rettungswegsituation	Ja	Ja
Autom. Löschanlagen	-/-	-/-
Risikoindex	2,84	2,73

Auch bei diesen alternativen Varianten ist das Brandschutzniveau als mindestens ebenbürtig zu dem der MBO anzusehen. Die Risikoindizes der Brandschutzkonzepte 4 und 5 liegen unterhalb des Vergleichswertes der MBO, sowohl mit als auch ohne den in einigen Ländern bereits geforderten Rauchwarnmeldergrundschutz.

Der zusätzlich für Kompensationsmaßnahmen geforderte Teilnachweis innerhalb einer Kompensationsgruppe unterscheidet sich bei den vorliegenden Brandschutzkonzepten vom Globalnachweis im Wesentlichen dadurch, dass der Sub-Parameter P16a (Wartung der anlagentechnischen Maßnahmen) nicht zu berücksichtigen ist. Da durch die Bauweise direkt drei Parameter beeinflusst werden, sind die Kompensationsgruppen des Parameters P1 (Oberflächen in Nutzungseinheiten) und der Sub-Parameter P5b (Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile) und P15c (Brandverhalten der tragenden Bauteile) gemeinsam zu bewerten. Für das Brandschutzkonzept 2 mit $K_2$30-gekapselten Bauteilen und einer automatischen Brandmeldung als Kompensationsmaßnahme wird dies in den Tabelle 5 bis 7 exemplarisch gezeigt. In Tabelle 5 und 6 werden zunächst die Vergleichswerte der MBO-Anforderungen ohne und mit dem Rauchwarnmeldergrundschutz berechnet. Bei der Berechnung der resultierenden Gewichtung eines Sub-Parameter ist zu beachten, dass die Gewichtung des Parameters mit der des Sub-Parameters multipliziert wird.

Es ergibt sich für die Anforderungen der MBO ohne Rauchwarnmeldergrundschutz ein Risikoindex für die Kompensationsgruppe von 0,57. Der Risikoindex für die Kompensations-gruppe mit Rauchwarnmeldern beträgt 0,29. Der Kompensationsindex des Brandschutzkonzeptes muss nun unterhalb der Vergleichswerte der MBO liegen, um die Gleichwertigkeit der Maßnahmen nachzuweisen. Dies ist mit einem Index von 0,09 der Fall, wie Tabelle 7 zeigt.

Tabelle 5 Ermittlung des Risikoindexes der Kompensationsgruppe gemäß MBO

zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI 60 $K_2$60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI 60 $K_2$60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	keine Anforderungen	6,30	0	0,0000
P13	Brandmeldung	keine Anforderungen	5,06	0	0,0000
		Summe:	21,52		0,5079
		Kompensationsindex =((0,2152 x 5)- 0,5079)			0,5681
					~ 0,57

Tabelle 6 Ermittlung des Risikoindexes der Kompensationsgruppe gemäß MBO mit Rauchwarnmeldergrundschutz

zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI60 $K_2$60	0,41 x 6,75	5	0,1384
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI60 $K_2$60	0,26 x 6,31	5	0,0820
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	Ein batteriebetriebener Rauchmelder in jeder Nutzungseinheit	6,30	2	0,1260
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal nur in Nutzungseinheit möglich	5,06	3	0,1518
		Summe:	21,52		0,7857
		Kompensationsindex =((0,2152 x 5)- 0,7857)			0,2903
					~ 0,29

Tabelle 7 Ermittlung des Risikoindexes der Kompensationsgruppe gemäß Konzept 2

zu kompensierende Parameter		Beschreibung	Gewichtung [%]	Bewertung	Gewichtete Bewertung
P1	Oberflächen in Nutzungseinheiten	Baustoffklasse A2	5,75	5	0,2875
P5b	Brandverhalten der raumabschließenden Bauteile	REI60 $K_2$30	0,41 x 6,75	4	0,1107
P15c	Brandverhalten der tragenden Bauteile	REI60 $K_2$30	0,26 x 6,31	4	0,0656
Kompensationsmaßnahmen					
P12	Branderkennung	Strom- und batteriebetriebene Rauchmelder in jedem Zimmer und in den Rettungswegen	6,30	5	0,3150
P13	Brandmeldung	Alarmierung durch Tonsignal für gesamtes Gebäude möglich	5,06	4	0,2024
		Summe:	21,52		0,9812
		Kompensationsindex =((0,2152 x 5)- 0,9812)			0,0948
					~ 0,09

Die Gegenüberstellung der Kompensationsindizes für alle Brandschutzkonzepte ist in Tabelle 8 enthalten. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass bei allen Brandschutzkonzepten auch der Teilnachweis innerhalb der Kompensationsgruppen erfolgreich ist. Die Vorgehensweise kann in [3] nachgelesen werden.

Tabelle 8 Teilnachweise für die Kompensationsgruppen

Brandschutz-konzept	Kompensations-index	Vergleichswert MBO (ohne Rauchwarnmelder)	Vergleichswert MBO (mit Rauchwarnmeldern)
2	0,09	0,57	0,29
3	0,59	0,91	0,63
4	0,68	1,02	0,74
5	0,57	1,02	0,74
Alternative Konzept 4	0,61	0,94	0,66
Alternative Konzept 5	0,50	0,94	0,66

ZUSAMMENFASSUNG

Die dargestellten Ergebnisse sollen dazu beitragen, die Holzbauweisen auch für mehrgeschossige Gebäude in ihrer ganzen Vielfalt nutzen zu können. Die erforderlichen mechanischen und physikalischen Grundlagen wurden durch praktische Brandversuche als auch durch theoretische Untersuchungen geschaffen. Damit konnte der Nachweis erbracht werden, dass unter Einhaltung definierter konstruktiver Randbedingungen sowohl brennbare Wärmedämmungen in Holztafelelementen als auch flächige Massivholzelemente verbaut werden können, ohne das brandschutztechnische Sicherheitsniveau zu reduzieren. Eine wesentliche bauliche Voraussetzung bleibt jedoch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung mit dem Leistungskriterium $K_2$60.

Gestützt auf Brandversuche vom kleinen Maßstab bis zum Realmaßstab und theoretische Überlegungen, wurden Mindestanforderungen für die Konstruktionen definiert, bei deren Einhaltung die Brandschutzbekleidung verringert werden oder entfallen kann. Anhand von vergleichenden Risikoanalysen wurde anschließend aufgezeigt, wie das durch eine Reduktion der Brandschutzbekleidung erhöhte Brandrisiko im Rahmen ganzheitlicher, schutzzielorientierter Brandschutzkonzepte kompensiert werden kann. Solche Brandschutzkonzepte wurden für alle Holzbauweisen mit einer $K_2$30-Bekleidung sowie ohne Bekleidung für die Holzmassivbauweise erarbeitet. Zur risikogerechten Bewertung der Brandschutzkonzepte wurde die semi-quantitative Risikoindexmethode FRIM-MAB weiterentwickelt und an das deutsche Baurecht angepasst. Mit deren Hilfe wurden die erarbeiteten Brandschutzkonzepte mit reduzierter Kapselungsdauer im Vergleich zu den Anforderungen nach MBO und Muster-Holzbaurichtlinie bewertet. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Indexmethode nicht zur Dimensionierung von Brandschutzmaßnahmen und auch nicht als Ersatz für eine qualitative Risikoanalyse im Rahmen von Brandschutzkonzepten geeignet ist. Sie bietet aber erstmals die Möglichkeit, die Wirksamkeit von

Brandschutzkonzepten im mehrgeschossigen Wohnungsbau mit angemessenem Kosten- und Zeitaufwand zahlenmäßig zu belegen.

Es ist beabsichtigt, die Ergebnisse dieser Arbeit in die fällige Überarbeitung der Muster-Holzbaurichtlinie einzubringen. Vorschläge für die Ergänzungen der Muster-Holzbaurichtlinie sind in [3] enthalten. Bei deren Umsetzung wären schutzzielorientierte Sicherheitskonzepte neben dem Standardkonzept der Bauordnung mit materiellen Brandschutzanforderungen für Gebäude normaler Art und Nutzung als sicherheitstechnisch gleichwertige Alternative verankert.

DANK

Der Autor dankt dem Holzabsatzfonds, dem Deutschen Institut für Bautechnik und der Holzindustrie für die Förderung des DGfH-Projektes „Brandverhalten massiver flächiger Holzbauteile“ und der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung für die gute Betreuung.

LITERATUR

[1] Musterbauordnung – MBO- , Fassung November 2002.

[2] Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie - M-HFHHolzR), Fassung Juli 2004.

[3] Kampmeier, B.: Risikogerechte Brandschutzlösungen für den mehrgeschossigen Holzbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 206, zugleich Dissertation TU Braunschweig, Braunschweig 2008, ISBn 978-3-89288-189-6.

[4] Kampmeier, B.: Verwendbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Holztafelbau. In: Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘07, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 199, Braunschweig 2007, ISBN 978-3-89288-181-0.

[5] Hosser, D.; Kampmeier, B.: Bewertung des Brandverhaltens unbekleideter flächiger massiver Holzbauteile im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau unter Berücksichtigung des geltenden nationalen Sicherheitsniveaus sowie der DIN EN 1995-1-2. Abschlussbericht im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Braunschweig Juli 2008.

[6] Becker, J; Tichelmann, K; Hosser, D; Wesche, J: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise. Abschlussbericht im Auftrag der deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Teil 1, Juli 1997.

[7] Karlsson, B.: Fire Risk Index Method – Multi-storey Apartment Buildings; Version 2.0. Trätek, Rapport P 0212053. Stockholm 2002.

HOCHLEISTUNGSBRANDSCHUTZBESCHICHTUNGEN FÜR HOLZBAUTEILE

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

EINLEITUNG

Der nachwachsende Baustoff Holz erfreut sich aus ökologischen Gründen immer größerer Beliebtheit. In der Anwendung, insbesondere im mehrgeschossigen Holzbau, sind dem Baustoff Holz aber Grenzen gesetzt. Denn die Bauordnungen definieren Mindestanforderungen in Bezug auf die Brennbarkeit der Baustoffe und die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile.

Die Musterbauordnung von 2002 [1], in Verbindung mit der Muster-Holzbaurichtlinie, erlaubt den Einsatz von Holzkonstruktionen in Bauwerken der Gebäudeklasse 4. Dieses bedeutet, dass prinzipiell Häuser mit bis zu 5 Vollgeschossen errichtet werden können. Die tragende und aussteifende Holzkonstruktion muss hierbei aber eine Dauer von 60 Minuten die Tragfähigkeit behalten. Ein Entzünden der tragenden und aussteifenden Bauteile ist innerhalb der Feuerwiderstandsdauer ebenfalls zu verhindern. Dazu wird derzeit eine Beplankung aus nichtbrennbaren Feuerschutzplatten verwendet. Nachteil dieser Beplankung ist eine Vergrößerung der tragenden Querschnitte sowie der Verlust des, architektonisch besonders häufig erwünschten, Holzcharakters. In einem aktuellen Forschungsvorhaben zum mehrgeschossigen Holzbau [2] werden zusätzliche Wege aufgezeigt, wie das erforderliche brandschutztechnische Sicherheitsniveau mittels geeigneter Kompensationen erhalten werden kann, wenn zum Beispiel statt der 60 Minuten Entzündungsschutz nur 30 Minuten realisiert werden.

Dämmschichtbildende Beschichtungen können dazu beitragen, den Anwendungsbereich von Holz zu erweitern, indem sie dessen Brandverhalten deutlich verbessern. Sie werden als deckender oder transparenter Anstrich auf die Holzbauteile aufgetragen. Bei Brandbeanspruchung bilden sie eine voluminöse Schicht, die das darunter liegende Material schützt und seine Entzündung verhindert bzw. deutlich hinauszögert. Bereits seit den siebziger Jahren werden Dämmschichtbildner für Stahlkonstruktionen erfolgreich eingesetzt. Für den Holzbau existieren Anstriche, die eine Klassifizierung des Holzes in die Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) erlauben. Die Gebrauchseigenschaften wie Abriebfestigkeit oder Widerstandsfähigkeit gegen Feuchte sind bisher häufig nicht überzeugend.

Das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig, die Institute Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzforschung (WKI) und Institut für chemische Technologien (ICT) der Fraunhofer-Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Becker als ausgewiesener Fachmann des Holz- und Trockenbaus

sowie neun industrielle Partner führten gemeinsam das InnoNet-Verbundvorhaben "Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen und Entwicklung überprüfbarer Beurteilungskriterien" [3] durch. Ausgangsbasis des Projekts waren Forschungsergebnisse aus strategischen Eigenforschungsvorhaben der Fraunhofer-Gesellschaft zu keramisierenden Elastomerschichten und aus dem erfolgreich bearbeiteten InnoNet-Projekt „Holzbrand“ [4].

ZIELSETZUNG

Zielvorgabe war, vorhandene Beschichtungssysteme so weiter zu entwickeln, dass neben einer gesteigerten Schutzwirkung im Brandfall auch gute Gebrauchseigenschaften wie Elastizität, Kratz- und Abriebfestigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit und Dauerhaftigkeit gewährleistet sind. Der Entzündungsschutz für Holzoberflächen sollte bis auf eine Branddauer von 60 Minuten gesteigert werden. Durch die Beschichtung von Nagelplattenbindern sollte deren Tragfähigkeit für eine Branddauer von 30 Minuten gewährleistet werden. Mit Hilfe der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung soll es in Zukunft möglich sein, schwerentflammbare (B1) Fassaden aus Holzwerkstoffen zu errichten. Dabei soll die Beschichtung durch schlagartiges Aufschäumen in der Lage sein, den Hinterlüftungsspalt, als möglicher Weg der Brandweiterleitung, zu verschließen.

Da eine Beschichtung mit entsprechend hoher Brandleistung bisher nicht am Markt existiert, wurden in diesem Projekt mögliche Beurteilungskriterien für das Zulassungsverfahren erarbeitet. Dabei wurde zum Ziel gesetzt, möglichst nur auf etablierte und allgemein anerkannte Prüfverfahren zurückzugreifen und diese gegebenenfalls an das besondere Baustoffverhalten einer Hochleistungsbrandschutzbeschichtung für Holz anzupassen.

TECHNOLOGIE DER HOCHLEISTUNGSRANDSCHUTZBESCHICHTUNG

Dämmschichtbildende Beschichtungen reagieren auf eine Änderung der Umgebungsbedingungen, hier die Temperaturerhöhung bei einem Brand. Wird eine Grenztemperatur überschritten, bilden sie eine voluminöse Kohlenstoffschicht, die das darunter liegende Holz schützt. Die Bildung der Dämmschicht basiert auf einer Reihe temperaturabhängiger chemischer Reaktionen. Die Dämmschichtbildner bestehen aus den Komponenten Bindemittel, Gasbildner, Kohlenstoffbildner und einem sauren Katalysator. Bei steigender Temperatur wird zunächst eine Säure freigesetzt, die mit dem Kohlenstoffbildner reagiert. Parallel dazu setzt die Gasreaktion ein und führt zu der Volumenvergrößerung. Sofern die zeitliche Abfolge der Reaktion übereinstimmt und diese mit dem Erweichen der Bindemittelmatrix zusammenfallen, bildet sich eine Dämmschicht aus Kohlenstoff [5].

CHEMISCHE ENTWICKLUNGSARBEITEN

Ausgangsbasis für die chemischen Entwicklungsarbeiten waren die Erkenntnisse des Vorgängerprojekts "Holzbrand" [4]. Folgende Arbeitsschwerpunkte wurden dabei von den Forschern für das aktuelle Projekt gewählt:

- Optimierung der Brandschutzleistung
- Modifikation der Grundrezepturen
- Physikalische Eigenschaften mittels Deckbeschichtungen
- Umweltverträglichkeit
- Erweiterte Anwendungsgebiete
- Klimastabile Rezepturen
- Richtformulierungen

In diesem Beitrag werden die Einzelschritte der chemischen Entwicklung nicht genauer vorgestellt sondern es wird auf den Abschlussbericht des Projektes verwiesen [3].

BAUSTOFFVERHALTEN

Im Rahmen der brandschutztechnischen Untersuchungen wurden umfangreiche Versuche im genormten und nicht-genormten Bereich durchgeführt, um das Baustoffverhalten beschichteter Holzbauteile charakterisieren zu können. Neben Möglichkeiten der Baustoffklassifizierung im nationalen und europäischen Rahmen sollten Erkenntnisse über das allgemeine Zünd- und Abbrandverhalten beschichteter Holzwerkstoffe gewonnen werden.

Bombenkalorimeter

Um einen Baustoff in die europäische Baustoffklasse A2 einordnen zu können, ist die Prüfung zur Bestimmung der Verbrennungswärme nach DIN EN ISO 1716 [6] zu bestehen. Bei dem erforderlichen Prüfgerät handelt es sich um das sog. Bombenkalorimeter oder auch Kalorimeterbombe. Bei der Prüfung wird eine Probe unter normierten Bedingungen in dem Prüfgerät verbrannt. Auf Grundlage der Temperaturerhöhung wird die Verbrennungswärme, unter Berücksichtigung von Wärmeverlusten und der latenten Verdampfungswärme von Wasser, berechnet.

Es wurden Untersuchungen der Netto-Verbrennungswärme (PCS-Wert) an den Laborformulierungen S12 und S20 durchgeführt. Die Laborformulierung S12 erreichte im Mittel einen PCS-Wert von 13,2 [MJ/kg] und die Formulierung S20 9,5 [MJ/kg]. Gemäß DIN EN 13501-1 [7] dürfen homogene Bauprodukte zur Einstufung in die Baustoffklasse A2 maximal einen PCS-Wert von 3,0 aufweisen. Die überprüften Formulierungen der Hochleistungsbrandschutzbe-

schichtung überschreiten diesen Grenzwert demnach um das Drei- bis Vierfache. Die verschiedenen Formulierungen der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung können demnach nicht in eine europäische Baustoffklasse mit höheren Anforderungen als die der Klasse B eingestuft werden.

Brandschacht

Um einen Baustoff in die nationale Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) einordnen zu können, ist das Bestehen des Brandschachttests erforderlich. Das zu Grunde liegende Brandszenario ist ein Papierkorbbrand in einer Raumecke, bei dem die Brandweiterleitung durch den zu prüfenden Baustoff als Wandbauteil nur in begrenztem Umfang erfolgen darf. Als Beurteilungskriterium dient bei dieser Baustoffprüfung neben der Brandausbreitung die freigesetzte Wärmeenergie. Normativ geregelt wird der Aufbau des Brandschachtes in DIN 4102-15 [8].

Im Brandschacht wurde unter anderem das Brandverhalten des im Fassadengroßbrandversuch getesteten Systems untersucht. Das Substrat bestand aus einer 28 mm starken Sperrholzplatte KertoQ der Firma Finnforest. Die Beschichtung bestand aus der Laborformulierung RAB7-2a mit einer kalkulierten Schichtdicke von 500 µm.

In Bild 1 werden die Restlängen des Schaums und des Substrates gezeigt. Das im Großbrandversuch getestete Fassadensystem hat die Anforderungen der Brandschachtuntersuchung zur Einstufung in die nationale Baustoffklasse B1 mit relativ großen Systemreserven bestanden.

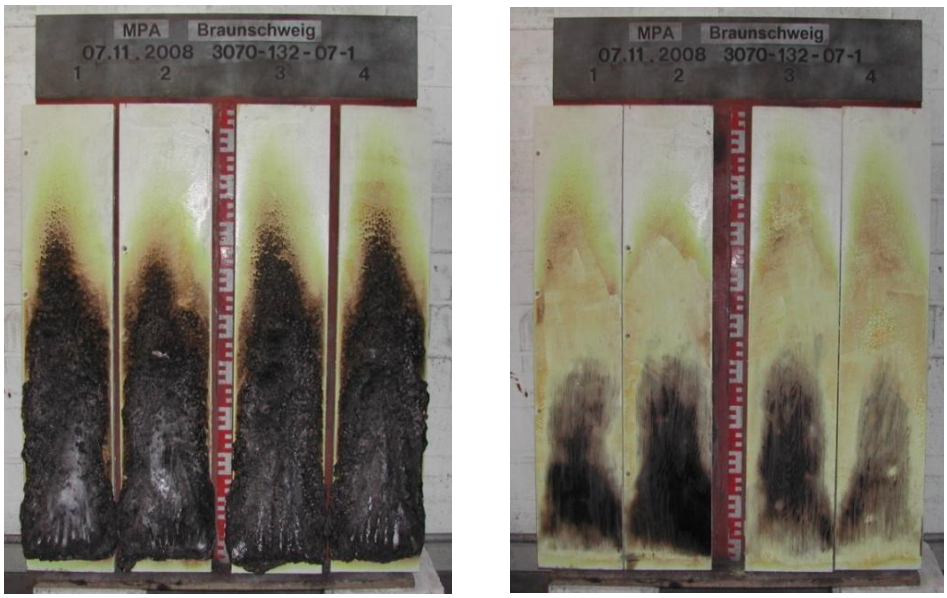


Bild 1 Probekörper nach Brandschachttest; links: Schaumstruktur, rechts: Verkohlung des Substrates, Laborformulierung RAB 7-2a, kalkulierte Schichtdicke 500 µm

In einem weiteren Versuch wurde zusätzlich ein Decklack aufgetragen, welcher der Verbesserung des Witterungsverhaltens der Beschichtung dienen soll. Auch hier wurde der Brandschachttest mit großen Reserven bestanden.

Single Burning Item Test (SBI-Test)

Die europäische Baustoffklassifizierung erfolgt für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen nach DIN EN 13501-1, Tabelle 1[7]. Der SBI-Test ist in DIN EN 13823 [9] geregelt und wird neben anderen Verfahren zur Einordnung in die europäischen Baustoffklassen A2, B, C und D eingesetzt. Der SBI- Test basiert prinzipiell auf demselben Brandszenario wie der national geregelte Brandschachttest nach DIN 4102-15 [8]. Es wird die Brandweiterleitung eines einzelnen brennenden Gegenstandes in einer Raumecke untersucht, wobei die untersuchte Brandsituation der Phase vor dem Feuerüberschlag entspricht.

Im Folgenden wird das Ergebnis des SBI-Tests vorgestellt, welcher mit der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung des Fassadensystems durchgeführt wurde. Die überprüfte Formulierung RAB 7-2a hatte dabei eine Schichtdicke von ca. 500 µm. Substrat war wiederum Fichtensperrholz.

Die wesentliche Kenngröße für die Klassifizierung von Baustoffen im SBI-Test ist der Feuerwachstumswert FIGRA, vgl. Bild 2. Er erreicht im Maximum eine Größe von 32 W/s, was den Grenzwert von 120 W/s für die Einstufung in die europäische Baustoffklasse A2 deutlich unterschreitet. Die Gesamtwärmefreisetzung THR liegt bei 0,7 MJ, wobei wiederum der Grenzwert für die Einstufung in Klasse A2 (7,5 MJ) deutlich unterschritten wird. Die Klassifizierung könnte dennoch „nur“ B s1,d0 lauten, weil die Prüfung im Bombenkalorimeter für die Baustoffklasse A2 nicht bestanden wird.

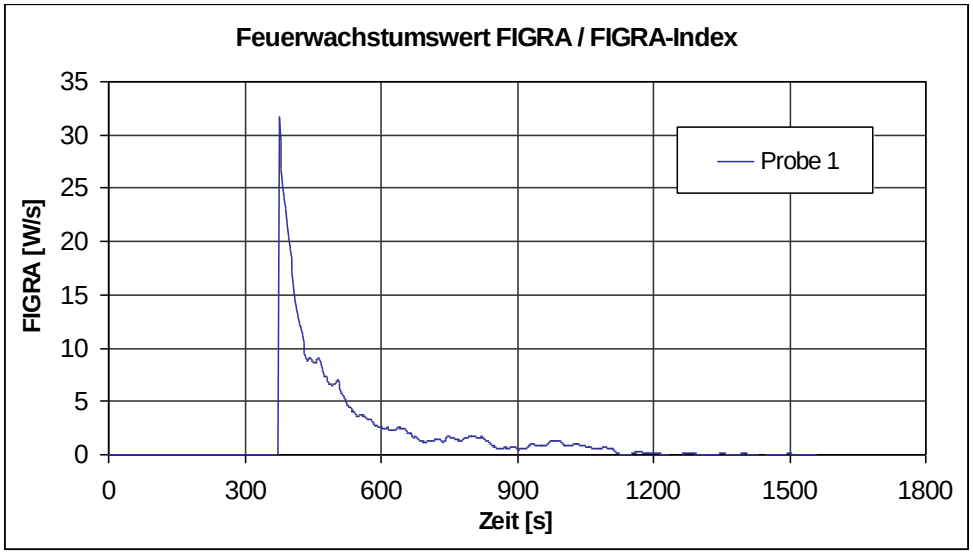


Bild 2 *SBI-Test am Fassadensystem, Darstellung des Feuerwachstumswertes FIGRA [W/s], Beschichtungssystem RAB7-2a, kalkulierte Schichtdicke 500 µm*

Tabelle 1 Feuerwachstumswert FIGRA und Gesamtenergiefreisetzung THR verschiedenartiger Plattenwerkstoffe, entnommen aus [10]

Plattenwerkstoff	**Dichte** [kg/m³]	**FIGRA** [kw/s]	**THR** [MJ]	**Euro-klasse**
Gipsbauplatte mit Papierdecklage	716	21	1	A2/B
Gipsbauplatte mit Papierdecklage und Deckanstrich	727	16	0,8	B
Papiertapete auf Gips	719	202	1,4	C
Intumeszierende Beschichtung auf Spanplatte	723	16	1,9	B
Spanplatte mit Melaminharzbeschichtung	695	381	20,1	D
Gewöhnliche Spanplatte	713	404	26,9	D
Papiertapete auf Spanplatte	694	479	26,7	D
MDF-Platte	846	436	33,4	D
Textiltapete auf Calcium-Silikat-Platte	959	162	1,9	C
Intumeszierende Beschichtung auf Fichtensperrholz (dieses Projekt)	-*	32	0,7	B
*das in [10] definierte Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte wurde hier nicht angewendet				

Um den erreichtem FIGRA im Vergleich zu anderen Baustoffen bewerten zu können, wird mit Tabelle 1 eine Reihe verschiedenartiger Plattenwerkstoffe, teilweise in Kombination mit Decklagen, und deren Brandeigenschaften im SBI-Test vorgestellt. Es wird deutlich, dass das System Beschichtung auf Fichtensperrholz ähnliche Brandeigenschaften aufweist wie Gipsbauplatten mit Papierdecklage. Eine Textiltapete auf Calcium-Silicatplatten erreicht in der Euroklassifizierung sogar nur die Klasse C. Die in [10] untersuchte intumeszierende Beschichtung ist in der Gesamtleistung mit der hier untersuchten Hochleistungsbrandschutzbeschichtung vergleichbar.

Cone-Kalorimeter

Das Cone-Kalorimeter ist ein Gerät zur Baustoffprüfung, welches in nationalen und europäischen Normen noch keinen Einzug gehalten hat, sondern im US-amerikanischen Raum sehr verbreitet ist. Der Aufbau des Cone-Kalorimeters ist

in ISO 5660 [11] genormt. Als Wärmequelle dient ein elektrisch betriebener, kegelförmig ausgebildeter Heizer. Dieser erzeugt einen konstanten Wärmestrom von bis zu 100 kW/m² und erwärmt den Probekörper mit einer in der Regel quadratischen Grundfläche von 10/10 cm². Der Probenhalter wird auf eine Waage montiert, so dass der Massenumsatz über die Branddauer aufgezeichnet werden kann. Die bei der Verbrennung entstehenden Rauchgase werden in einer Messstrecke analysiert. Mit dem Verfahren der Sauerstoffkalorimetrie ist es möglich, den zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsrate zu bestimmen. Bild 3 zeigt den schematischen Aufbau des Cone-Kalorimeters.

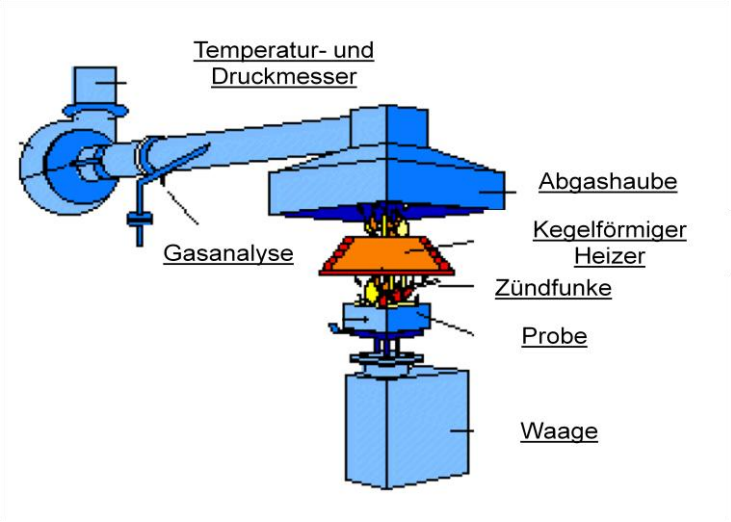


Bild 3 Schematischer Aufbau des Cone-Kalorimeters nach ISO 5660

Nach Erreichen der Initialtemperatur schäumt die Hochleistungsbrandschutzbeschichtung auf und entfaltet ihre wärmeisolierende Wirkung. Bis zum Erreichen der Entzündungstemperatur wird das Substrat im Vergleich zu ungeschützten Flächen für einen relativ großen Zeitraum vorgewärmt. Bei der Prüfung von Brandschutzbekleidungen nach DIN EN 14135 [12] bzw. der Klassifizierung nach DIN EN 13501-2 [13] wird angenommen, dass die Zündtemperatur üblichen Nadelholzes oberhalb 270 °C liegt, weshalb diese Temperatur als Prüfkriterium für die Prüfung der Kapselungsdauer angesetzt wird.

Zum Nachweis der Richtigkeit des 270 °C – Kriteriums wurden verschiedenartige Versuchsreihen durchgeführt. Zur Simulation der physikalischen Wirkung über einen längeren Zeitraum konnte nicht direkt mit der Beschichtung gearbeitet werden, da diese mit entsprechender Leistungsfähigkeit so dick werden müsste, dass sie weit in den Kegelheizer hinein aufschäumen würde. Somit wurde eine Abdeckung mit Vermiculitplatten gewählt. Dabei stellte sich heraus, dass die Dauer der Einwirkung keinen Einfluss auf die Holzverfärbung hat, wenn eine Temperatur von 275 °C nach 9, 12 oder 38 Minuten erreicht wird. Bei einer Vergleichstemperatur von 300 °C zeigten sich ebenfalls keine wesentlichen Unterschiede in einer Breite der Einwirkungsdauern von 12 bis 48 Minuten.

In einer weiteren Versuchsreihe sollte untersucht werden, ob kurz vor Erreichen der kritischen Temperatur von 270 °C bereits eine Energiefreisetzung zu messen ist, hervorgerufen durch eine in einem Bereich von 150°C bis 200 °C bereits einsetzende Pyrolyse [14]. Hierfür wurden Probekörper mit einer geringen Schichtstärke der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung ausgerüstet und in der Grenzschicht zwischen Beschichtung und Substrat mit einem Thermoelement versehen. In Bild 4 ist der Temperaturverlauf sowie die Wärmefreisetzungsrate eines repräsentativen Versuchs über die Branddauer aufgetragen worden.

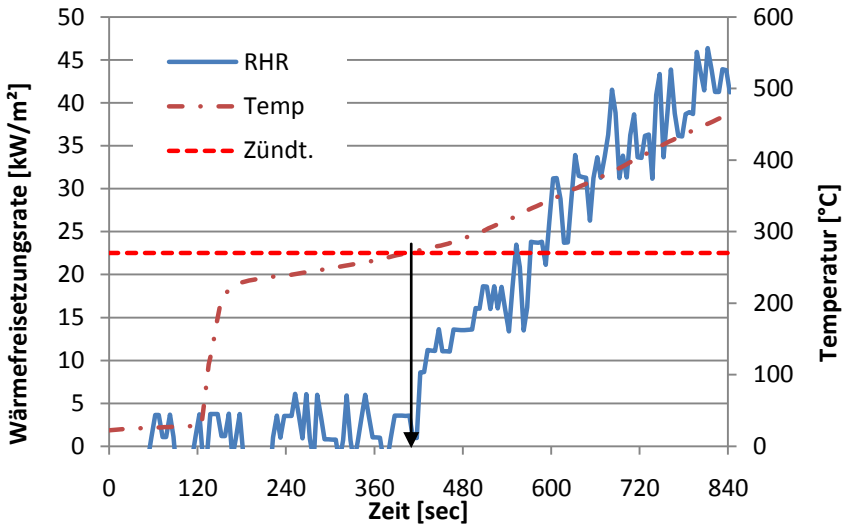


Bild 4 Verläufe der Wärmefreisetzungsrate und der Temperatur in der Grenzschicht, Fichtenholzprobe 2801 mit Rezeptur RAB6 – S161

Die Wärmefreisetzungsrate steigt nach Erreichen der kritischen Temperatur von 270 °C auf der Holzoberfläche sprunghaft an. Davor liegen die aufgezeigten Schwankungen innerhalb der Messungenauigkeit des Cone-Kalorimeters. Es ist also keine relevante Energiefreisetzung nachweisbar.

Das 270 °C-Kriterium, wie es nach DIN EN 14135 [12] für die Prüfung der Kapselwirkung von Beplankungen zu Grunde gelegt wird, kann entsprechend der Versuchsergebnisse im Cone- Kalorimeter auch auf Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen angewendet werden.

BAUTEILVERHALTEN

Im Rahmen der Versuche zum Bauteilverhalten beschichteter Holzkonstruktionen wurde verschiedenen Fragestellungen nachgegangen. Es wurden Kenntnisse über den Temperaturverlauf im inneren massiver Holzbauteile gewonnen. Weiterhin wurden Konstruktionsdetails wie Elektrodosen, Rohrduchführungen, metallische Anbauteile oder Bauteilfugen untersucht. Wesentlicher Bestandteil waren die Überprüfungen des Entzündungsschutzes anhand großformatiger Probekörper. In zwei Bauteilversuchen wurde versucht, Nagelplattenverbin-

dungen für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten zu ertüchtigen. Für das Brandverhalten beschichteter Fassadenelemente wurden Erfahrungswerte im Rahmen eines organisatorisch sehr aufwendigen Fassadengroßbrandversuchs gesammelt.

Temperaturprofile und Abbrandraten beschichteter Massivholzteile

Um die Verzögerung der Entzündung tragender Holzquerschnitte im Brandfall bei der statischen Auslegung berücksichtigen zu können, sind Kenntnisse über den Temperaturverlauf innerhalb des Querschnittes erforderlich. Zur Generierung entsprechender Informationen wurden Bauteilversuche an flächigen Probekörpern und an Stützenabschnitten durchgeführt.

Die flächigen Probekörper hatten Abmessungen von 50/50 cm² bei einer Dicke von 10 cm und wurden im Kleinbrandofen nach DIN 4102-8 [15] untersucht. Es wurden 2 Versuche dieser Art durchgeführt, wobei jeweils die Laborrezeptur INMSP Verwendung fand. Die Temperatureinwirkung wurde entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2 [16] gefahren. In Versuch 1 betrug die Brandleistung der Laborformulierung INMSP mit einer Schichtstärke von 3,3 mm 48 min bis zum Entzünden der Holzoberfläche. Versuch 2 mit einer Schichtstärke von 3,9 mm dagegen erreichte nur 38 min. Das vorzeitige Versagen lässt sich auf das Abrutschen der Beschichtung zurückführen. Es wird deutlich, dass die Brandleistung nicht durch die Erhöhung der Schichtstärke beliebig gesteigert werden kann. Wenn der Schaum zu dick und damit zu schwer wird, können in der Reaktionsschicht die Schubspannungen nicht mehr aufgenommen werden und der Schaum rutscht zwangsläufig ab. Innerhalb der Querschnitte wurden umfangreiche Temperaturmessstellen angeordnet. Bild 5 zeigt die Auswertung der Temperaturmessungen von Versuch 1 in Form der Abbrandtiefe des Holzquerschnittes. Hierbei wurde entsprechend der Logik des Eurocode 5 [17] die Temperatur der Abbrandgrenze mit 300 °C angenommen. Bei den Temperaturmessungen wurde der Temperatur-Zeit-Verlauf jeder definierten Tiefenordinate zweifach bestimmt, weshalb in Bild 5 zwei Messreihen aufgetragen sind. Bei der hier verwendeten Hochleistungsbrandschutzbeschichtung ist nach einer Branddauer von 90 Minuten mit einer mittleren eindimensionalen Abbrandtiefe von 12,5 mm zu rechnen. Bei ungeschütztem Nadelholz unter Normbrandbedingungen beträgt entsprechend Eurocode 5 die Abbrandtiefe 58,5 mm. Dieser Vergleich zeigt das enorme Potenzial der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung zur Steigerung der Tragfähigkeit sowohl flächiger als auch stabförmiger Holzbauteile.

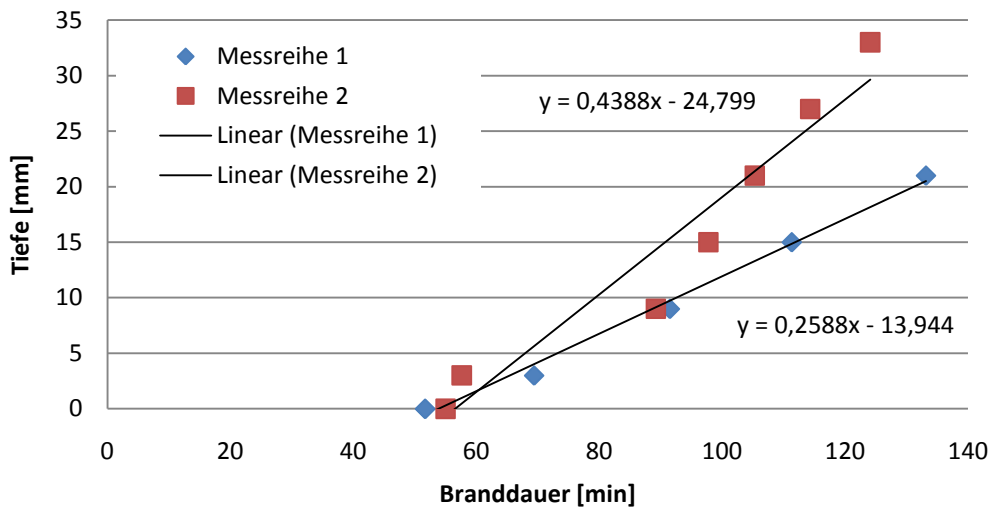


Bild 5 *Darstellung der eindimensionalen Abbrandtiefe eines flächigen Massivholzbauteils mit der Laborformulierung INMSP bei einer Schichtstärke von 3,3 mm*

Für die Bemessung stabförmiger Bauteile ist die Temperaturverteilung im Eckbereich von besonderer Bedeutung, da es hier aus geometrischen Gründen zu einer erhöhten Beanspruchung kommt. Dieses wird in DIN 4102-22 [18] und dem Eurocode 5 [17] durch eine ideelle Abbrandtiefe berücksichtigt. Da die Hochleistungsbrandschutzbeschichtung im Eckbereich einen Radius bildet und somit aufgrund der geringeren Dicke auch eine geringere Isolationswirkung hat, kann nicht ohne Weiteres davon ausgegangen werden, dass die Umrechnung zwischen eindimensionaler und ideeller Abbrandtiefe in gleicher Größenordnung wie bei ungeschützten Bauteilen möglich ist. Bild 6 ist eine Aufnahme der Probekörper, die in Form von Stützenabschnitten im kleinen Wandbrandhaus des iBMB aufgestellt wurden, um dieser Fragestellung genauer nachzugehen.

Bild 6 *Brandversuch im Wandbrandhaus mit Stützenabschnitten*

Auf Basis der bisher durchgeführten Versuche ist davon auszugehen, dass eine Hochleistungsbrandschutzbeschichtung mit 30 Minuten Entzündungsschutz in der Fläche nur einen Schutz von 13,5 Minuten auf der Ecke gewährleisten kann. Um den vollständigen Entzündungsschutz für 30 Minuten zu erreichen, sind daher im Eckbereich zusätzliche Maßnahmen erforderlich, auf die in [3] näher eingegangen wird.

Zugversuche an brandbeanspruchten Nagelplattenverbindungen

Im Ingenieurholzbau werden häufig Nagelplattenbinder genutzt, wenn relativ große Spannweiten von Dachkonstruktionen mit möglichst leichten Fachwerkträgern überspannt werden sollen. Bei Nagelplattenbindern werden die Gurte und Pfosten mit den so genannten Nagelplatten kraftschlüssig verbunden. Die Nagelplatten werden maschinell in das Holz eingebracht und liegen grundsätzlich auf der Außenseite des Holzes. Eine Nagelplattenkonstruktion ohne besondere Schutzmaßnahmen verfügt über keine nennenswerte Feuerwiderstandsdauer, weil die außenliegenden Stahlbleche im Brandfall sehr schnell erhitzt werden und ihre Festigkeit verlieren. Weiterhin sind die Nägel sehr kurz und finden somit ihren Halt nur im frühzeitig geschwächten Randbereich des Holzes.

Im Rahmen des Projekts wurden zwei Kleinbrandversuche unter Zugbelastung an Nagelplattenverbindungen durchgeführt. Ziel war es, durch die Isolation der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten zu erzielen. Bild 7 zeigt einen der Probekörper vor dem Einbau in den Brandofen und nach einer Branddauer von 15 Minuten.

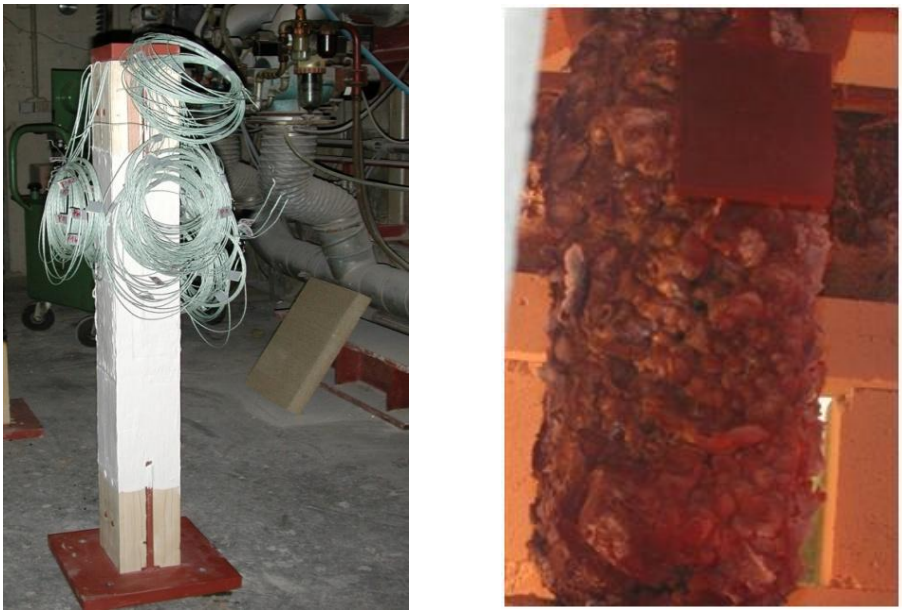


Bild 7 links: Probekörper für Nagelplattenzugversuch vor dem Einbau in den Brandofen; rechts: Wirkungsweise der Beschichtung nach einer Branddauer von 15 Minuten

Die Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen basieren stark auf der physikalischen Eigenschaft der Wärmedämmung und sind daher grundsätzlich auch auf den Nagelplatten aus Stahl einsetzbar. Voraussetzung ist, dass die Haftung im Gebrauchszustand und im Brandfall sichergestellt ist.

In beiden Versuchen versagte die Verbindung nach 28 Minuten, so dass das Ziel der Feuerwiderstandsklasse von 30 Minuten nur knapp verfehlt wurde. Der grundsätzliche Lösungsansatz ist jedoch vielversprechend und sollte daher in weiteren Forschungsarbeiten verfolgt werden.

Nachweis des Entzündungsschutzes an großformatigen Probekörpern

In mehreren Kleinbrandversuchen sollte die Brandschutzleistung der eingesetzten Beschichtung in Anlehnung an die Durchführungsvorschriften der DIN EN 14135 [12] untersucht werden.

In dem hier vorgestellten Versuch wurde das Erreichen der Brandschutzfunktion K (Kapselung bzw. Entzündungsschutz) für eine Branddauer von 45 Minuten angestrebt. Es handelt sich um einen Bauteilversuch unter Vollbrandbedingungen mit einer thermischen Einwirkung entsprechend ETK.

Es wurden drei Probekörper untersucht: ein Deckenbauteil und zwei Wandbauteile. Als Beschichtungssystem wurde ein modifiziertes S11-System eingesetzt. Hierbei handelt es sich um eine deckende Formulierung mit verbesserten Verarbeitungseigenschaften. Die Schichtstärke betrug bei allen Bauteilen 3,2 mm. Als Substrat diente jeweils eine Holzspanplatte, welche auf einer Rahmenkonstruktion befestigt wurde. Die Dicke betrug 19 +/- 2 mm bei einer Rohdichte von 680 +/-50 kg/m³. Die Spanplatte war neben der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung mit keinen weiteren Flammschutzmitteln ausgerüstet. In den weiteren Erläuterungen dieses Beitrages soll nur das Deckenbauteil ausführlich behandelt werden.

Der Decken-Probekörper hatte eine Grundfläche von 120/170 [cm²], wobei die beflammte Fläche 100/150 [cm²] betrug. Der unbeflammte Rand lag auf der Oberkante des Ofens auf und wurde mit einem Mineralwollstreifen unterlegt. Die Rückseite des Bauteils war ungedämmt. Es wurden die Temperaturverläufe in der Grenzschicht zwischen Substrat und Beschichtung und zwischen Mineralwollstreifen und Spanplatte gemessen.

Während der gesamten Versuchsdauer wurden die Temperaturen der Messstellen im Abstand von 60 Sekunden aufgezeichnet. Die Branddauer betrug 45 Minuten, entsprechend der angestrebten Kapselklasse K45. Nach dem Abstellen der Brenner wurde die Deckenplatte vom Ofen abgehoben, und leichte Brandnester abgelöscht. Danach wurde der isolierende Schaum mit einem Spachtel abgekratzt, um die Spanplatte nach Verkohlungserscheinungen zu untersuchen.

Innerhalb der Branddauer von 45 Minuten erreichten keine durch Messstellen abgedeckte Bereiche die kritische Temperatur von 270°C. Nach DIN EN 14135 ist neben der Temperaurauswertung aber auch eine visuelle Betrachtung der Trägerplatte nach Ablauf der Branddauer und Entfernung der Beschichtung erforderlich.

Bild 8 zeigt das untersuchte Deckenbauteil nach dem Ausbau aus dem Ofen und Abkratzen der Beschichtung. An einigen Stellen war die Trägerplatte sehr stark verkohlt, was auf Temperaturen von über 270 °C schließen lässt. Da die Thermoelemente nicht im direkten Einflussbereich der verkohlten Stellen angebracht waren, konnten die Verkohlungen messtechnisch nicht detektiert werden. Bild 8 zeigt eine deutliche Konzentration der Brandstellen in den Randbereichen auf der vom Brenner abgewandten Seite. In den übrigen Bereichen zeigte die Trägerplatte in der Hauptsache nur Verfärbungen, die in der Regel schon deutlich vor Erreichen der Zündtemperatur auftreten und völlig unkritisch zu betrachten sind.

Der Versuch zeigt, dass eine normgerechte Prüfung in Anlehnung an DIN EN 14135 möglich ist. Beschichtete Wandbauteile verhalten sich wegen der Abrutschgefahr des Schaumes kritischer als Deckenbauteile. Eine Klassifizierung für beschichtete Wandbauteile nur auf Basis eines Deckenversuches ist damit nicht möglich. Problematisch ist der Anschluss von beschichteten Bauteilen an unbeschichtete, in dem Versuch wurde dieses durch das Deckenbauteil und die Ofenwandungen simuliert. In den Randbereichen schäumt die Beschichtung nur teilweise auf, so dass ein zusätzlicher Wärmeeintrag in das Substrat gegeben ist. Hier müssen geeignete konstruktive Gegenmaßnahmen entsprechend der Ausführungen in [3] ersonnen werden.

Bild 8 Deckenbauteil nach Versuchsende und Entfernung der Beschichtung; Kreuze markieren Messstellen mit Thermoelementen

Kleinbrandversuch mit Rauchdichtemessung

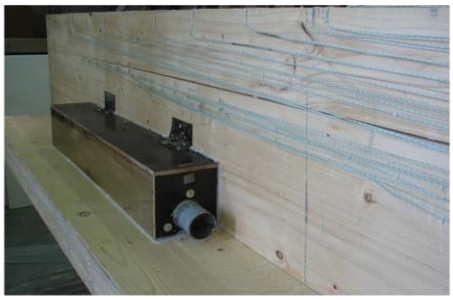
In einem weiteren Versuch wurden verschiedene Baustoffkombinationen untersucht. Ziel war es unter anderem, die Erkenntnisse vorangegangener Versuche bei der Konstruktion einfließen zu lassen. Weiterhin wurden umfangreiche Temperaturmessungen durchgeführt. Zentrale Fragestellung dieses Versuchs war jedoch die Rauchweiterleitung in Querrichtung von Bauteilfugen, weshalb zwei Rauchdichtemessungen durchgeführt wurden.

Der Versuch wurde im kleinen Deckenbrandhaus des iBMB durchgeführt. Der Probekörper wurde in Einzelteilen vorgefertigt, am WKI beschichtet und dann im iBMB zusammengebaut. Bild 9 zeigt den Aufbau von der Unterseite. Folgende Baustoffkombinationen in Wand- und Deckenanordnungen wurden bezüglich ihrer Eckausbildungen untersucht: Brettsperrholz mit Brettsperrholz, Holztafelbau (beschichtet) mit Brettsperrholz, Holztafelbau (beplankt) mit Brettsperrholz sowie Holztafelbau (beschichtet) mit Holztafelbau (beplankt).

Die Brettsperrholzbauteile bestanden aus 3-fach verleimten Fichtenholzlamellen mit einer Gesamtdicke von 115 mm. Die Holzrahmenbauteile waren in der Grundkonstruktion aus Konstruktionsvollholz mit den Abmessungen 60/120 mm² gefertigt. Die Beplankung bestand entweder aus beschichteter Spanplatte oder aus 2-lagiger GKF-Platte mit einer Dicke von zweimal 12,5 mm. Unterhalb der Beschichtung wurden Thermoelemente mit Plättchen vom Typ K angeordnet. Innerhalb der Holzquerschnitte waren es Elemente mit aufgeschweißten Perlen und in der Dämmung nadelförmige Mantelthermoelemente. Alle Elemente des Probekörpers wurden stumpf gestoßen und miteinander verschraubt. Dabei wurden keinerlei Dichtungsbänder oder Dämmstoffmatten eingesetzt. Die Kanten, an denen beschichtete und unbeschichtete Flächen aufeinander stießen, wurden Eckleisten angebracht, die ebenfalls beschichtet waren.

Bild 9 Kleinbrandversuch mit Rauchdichtemessung, Untersicht des Probekörpers

Das Prinzip der Rauchdichtemessung wird in Bild 10 für beide untersuchten Anschlusssituationen aufgezeigt. Dieses sind die Verbindungen zwischen einer Wand und der Decke mit beschichtetem Brettsperrholz sowie die Decke mit einer beplankten Wand in Holztafelbauart. Die Decke wurde 20 cm über die Wände überstehen lassen, um in den Ecken jeweils Kästen zum Auffangen des durchtretenden Rauches anzubringen. An die Kästen wurde eine Lichtmessstrecke angeschlossen, um die Trübung des Rauchgases bestimmen zu können. Für die Errechnung der Leckrate ist es erforderlich, dass eine definierte Luftmenge durch die Messanordnung gespült wird. Als Beschichtungssystem diente INMSP mit weißer Pigmentierung. Die Oberflächenqualität war sehr hoch, obwohl die Oberflächen des Probekörpers im Vorfeld nicht besonders mechanisch vorbehandelt worden waren.



Fuge Brettsperrholz / Brettsperrholz

Fuge Brettsperrholz / GKF-Platten

Bild 10 Kleinbrandversuch mit Rauchdichtemessung, Anordnung der Rauchkästen und Prinzip der Messung

Das wesentliche Ergebnis dieses Versuchs ist die Bestimmung der Leckrate. Entsprechend den Ergebnissen des Forschungsvorhabens [19] liegt der Grenzwert für die Leckrate bei 54 cm²/(min*cm), damit das Schutzziel „Verhinderung der Rauchausbreitung“ gewährleistet wird. In der Fuge Holz – GKF wurde während der gesamten Versuchsdauer keine nennenswerte Leckrate ermittelt, der Rauchdurchgang war praktisch null. An der Fuge Holz- Holz wurde ab der 2. Minute ein Wert von 2 cm²/(min*cm) gemessen, wobei die Kurve ab der 18. Minute schlagartig auf 55 cm²/(min*cm) anjstieg, um genau so plötzlich wieder steil zu sinken. Dieser schnelle Anstieg fällt zeitlich in den Bereich, wo auch die Thermoelemente in der Nähe der betroffenen Fuge die Entzündung des Holzes detektierten. An der anderen Längsfuge kommt es zwar eher zu einer Entzündung, die angeordnete Eckleiste verhindert jedoch vermutlich den Rauchdurchtritt und fungiert als konstruktive Barriere.

Wesentliche Erkenntnis dieses Versuchs ist die Tatsache, dass die Beschichtung in der Lage ist, den Rauchdurchtritt ohne besondere Dichtmaßnahmen wie Dämmstreifen oder intumeszierende Dichtstreifen wirksam zu behindern. Wie sich jedoch das Dichtverhalten über den Zeitpunkt des Versagens der Beschichtung hinaus für einen längeren Zeitraum verändert, wurde nicht nachgewiesen. Es liegen in der Literatur jedoch Angaben vor, wie reine Massivholzkonstruktionen auszuführen sind, um das Schutzziel „Verhinderung der Rauchausbreitung“ zu erreichen.

Fassadengroßbrandversuch

Wesentlicher Bestandteil der Forschungen war die Entwicklung witterungsbeständiger Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen. An einem praxisgerecht hergestellten Probekörper sollte die Möglichkeit der B1-Klassifizierung für beschichtete Fassadenelemente aus Holzwerkstoffen nachgewiesen werden. Als Besonderheit wurde die Idee verfolgt, mit der Beschichtung die Brandausbreitung im Hinterlüftungsspalt zu behindern, ohne zusätzlich konstruktive Brandsperren einbauen zu müssen.

Der Fassadengroßbrandversuch wurde entsprechend dem Arbeitspapier zum Entwurf der DIN V 4102-20 [20] durchgeführt. Bild 11 zeigt die Abmessungen des Versuchsstandes, wie er in dem Normentext vorgesehen ist und am iBMB der TU Braunschweig vorgehalten wird. Der Grundaufbau besteht aus 15 cm dicken Porenbetonplatten, auf die die eigentliche Fassadenkonstruktion detailgetreu entsprechend der vorgesehenen Anwendung aufgeschraubt wird. In der unteren Ecke befindet sich eine Brandkammer, deren Öffnung ein Fenster simulieren soll. Bild 11 zeigt den Aufbau der beschichteten Fassade vor der Durchführung des Versuchs.

Es bestehen zwei Möglichkeiten, den Versuchsstand zu befeuern: mit einer brennenden Holzkrippe oder mit einem Gasbrenner. Vorteil des Gasbrenners ist die definiert steuerbare Wärmefreisetzungsrate, die über einen Zeitraum konstant eingestellt werden kann. Die Holzkrippe verändert mit der Zeit sowohl ihre Geometrie als auch die pro Zeiteinheit umgesetzte Brandlast. Der Gasbrenner ist demnach insbesondere bei solchen Versuchen zu bevorzugen, wo mit Hilfe der Sauerstoffkalorimetrie Aussagen über die Wärmefreisetzungsrate der Baustoffe gemacht werden sollen, so dass in diesem Projekt die Befeuerung mit dem Gasbrenner zum Zuge gekommen ist.

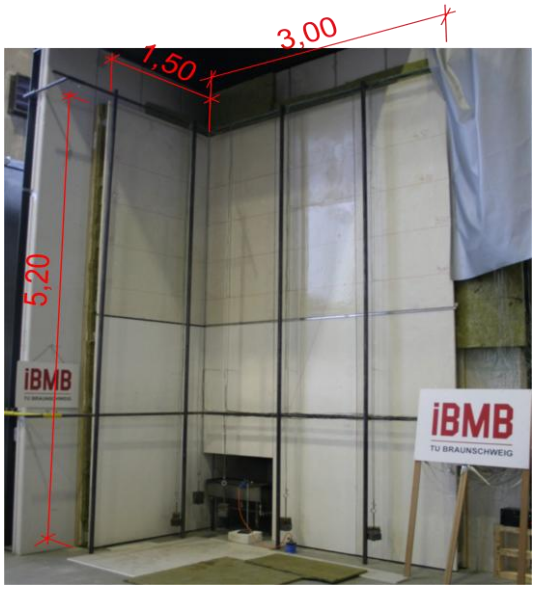


Bild 11 Abmessungen des Versuchsstandes für Fassadengroßbrandversuche, hier dargestellt: beschichtete Holzwerkstoffplatten mit Hinterlüftungsspalt

Bei der Planung des Probekörpers für den Fassadengroßbrandversuch sollte modellhaft ein Wandaufbau reproduziert werden, wie er typischer Weise in einem Objekt der Gebäudeklasse 4 MBO unter Berücksichtigung der Muster-Holzbaurichtlinie zu finden sein könnte. Es ist davon auszugehen, dass Fassadensysteme mit Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen in der nächsten Zukunft noch über relativ kurze Renovierungsintervalle verfügen werden. Aus diesem Grunde legten die Industriepartner darauf Wert ein Befestigungssystem für die Fassadenplatten zu verwenden, welches die zügige Demontage, Erneuerung der Beschichtung und Wiedermontage gewährleistet.

Der Probekörper bestand in der inneren Lage aus Brettsperrholz vom Typ Leno mit einer Stärke von 72 mm, auf die Gipskarton Feuerschutzplatten (GKF) mit einer Dicke von 12,5 mm aufgeschraubt wurden. Hierauf wurde im Werk der Firma Finnforest Merk passgenau ein Schienensystem aus Aluminium befestigt, welches aus U-förmigen Haltern und Längsprofilen Bestand. In die Längsprofile waren langlochartige Kerben eingefräst, in die später die an den eigentlichen Fassadenplatten befestigten Dollen eingehängt werden konnten. Zusätzlich wurden auch noch Kanthölzer neben den Schienen festgeschraubt, um die Fassadenplatten auf eine zweite Weise zu fixieren. Da im Vorfeld nicht genau einzuschätzen war, wie groß die Temperatureinwirkung an den Schienensystemen sein würde, sollten die Verschraubung mit den Kanthölzern sicherstellen, dass es keinesfalls zu einem verfrühten Abfallen der Fassadenplatten kommen konnte. Denn in diesem Versuch sollte vorrangig die Hochleistungsbrandschutzbeschichtung und nicht das Befestigungssystem untersucht werden. Die Kanthölzer bzw. Schienen waren so dimensioniert, dass die Innenseite der Fassadenplatten 130 mm von der Oberfläche der GKF-Platten standen. Als Dämmmaterial wurde Steinwolle der Wärmeleitfähigkeitsklasse WLK 035 verwand. Die zweilagig fixierten Matten hatten eine Gesamtdicke von

100 mm, so dass ein Hinterlüftungsspalt von 30 mm entstand. Die hier beschriebene Unterkonstruktion wird vor und nach dem Befestigen der Dämmwolle in Bild 12 gezeigt. Die Fassadenplatten wurden aus KertoQ mit einer Dicke von 28 mm hergestellt. Auf der Rückseite befanden sich jeweils Schienen, an denen die bereits erwähnten Dollen befestigt waren. Die Platten waren von der Firma Finnforest Merk exakt vorgearbeitet worden, so dass diese nach dem Beschichten einfach eingehängt und zusätzlich verschraubt werden konnten.

Bild 12 Unterkonstruktion für Fassadengroßbrandversuch

Bei der Versuchsdurchführung wurden die Messerfassung und die Sauerstoffkalorimetrie ca. fünf Minuten vor Versuchsbeginn für die Initialisierungsphase eingeschaltet. Nach der Entzündung des Hauptbrenners wurde kontinuierlich die Leistung bis zum Erreichen des Soll-Wertes gesteigert. Der Brenner wurde für eine Dauer von 20 Minuten mit voller Leistung gefahren und dann abgestellt. Bild 13 zeigt die Brennerflamme aus zwei Perspektiven.

Bild 13 Beflammung der Versuchsfassade mit Blickrichtung aus zwei Perspektiven

Um den Versuch beurteilen zu können, wurden im Vorfeld die zu erreichenden Schutzziele definiert. Im Folgenden werden nur die wesentlichen Ergebnisse des Fassadengroßbrandversuchs dargestellt. Eine ausführliche Diskussion kann in [3] nachgelesen werden.

In Bild 14 wird das Ergebnis der Sauerstoffkalorimetrie dargestellt. In dem Diagramm ist die auf Basis des gemessenen Gasdurchflusses berechnete Brennerleistung sowie die Gesamtleistung der Versuchsanordnung aufgetragen. Demnach wurde die Brennerleistung konstant bei 346 kW gehalten. Die Gesamtleistung pendelt mehr oder weniger um die Brennerleistung herum. Hierbei ist zu bedenken, dass die Sauerstoffkalorimetrie bei einem so großen Versuchsaufbau natürlich größeren Schwankungen unterliegt, zumal nicht gewährleistet werden kann, dass immer alle Rauchgase auch wirklich in die Abluft gelangen. Denn die Absaughaube ist vom eigentlichen Brandherd relativ weit entfernt und der gesamte Aufbau ist zu den Seiten völlig offen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Fassade an der Gesamtwärmefreisetzung keinen merklichen Anteil hatte. Diese Erkenntnis wird durch die Inaugenscheinnahme der Fassadenelemente nach dem Versuch zusätzlich bestätigt, da diese kaum verkohlt waren.

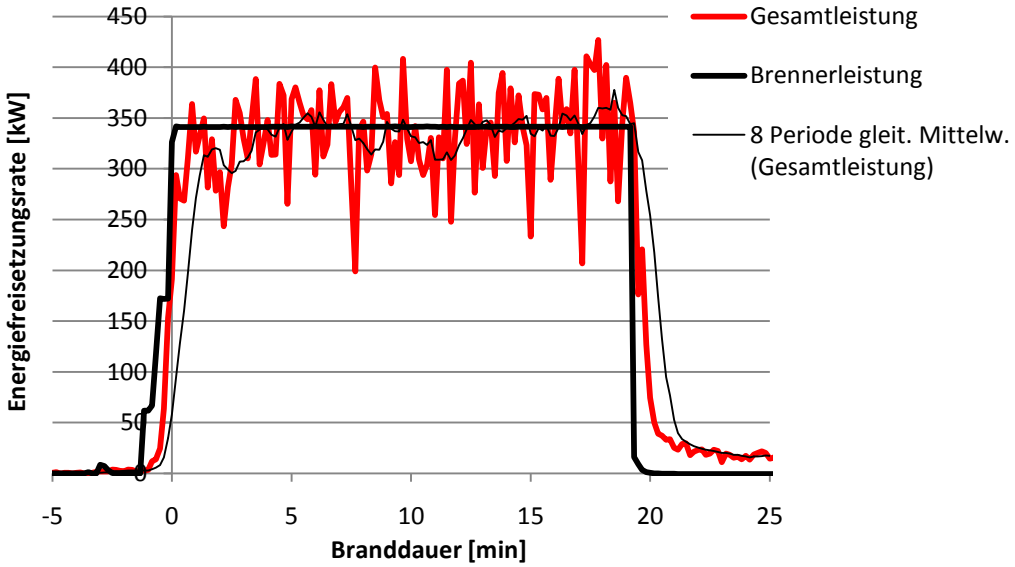


Bild 14 Ergebnis der Sauerstoffkalorimetrie

Bild 15 zeigt das Ausmaß der Beschädigungen an der Außenseite der Fassadenelemente. Bis zu einer Höhe von 1,50 m über dem Sturz war die thermische Beanspruchung so groß, dass es zu einer ausgeprägten Intumeszenz kam. In den höheren Regionen und insbesondere im Eckbereich gab es zwar Anzeichen einer beginnenden Reaktion, für eine dauerhafte Intumeszenz reichte die vorhandene Wärmeenergie jedoch nicht. Regelrechte Verkohlungen konnten nur auf dem Fassadenelement direkt über dem Brenner und auf der seitlichen Platte in entsprechender Höhe beobachtet werden. Dabei waren die Verkohlungen auf einem Streifen von etwa 30 cm über dem Sturz durchgängig und

darüber nur vereinzelt erkennbar. Nach dem Versuch wurde der Schaum teilweise von den Platten abgekratzt. In nicht verkohlten Bereichen war noch eine Schicht nichtreagierter Hochleistungsbrandschutzbeschichtung vorhanden.

Bild 15 Schädigung der Fassadenelemente auf der Außenseite

Bild 16 Schädigung der Fassadenelemente auf der Innenseite, Fassadenelemente direkt über dem Brenner

Auf der Innenseite erfolgte die wesentliche Beschädigung der Fassadenelemente nur auf dem Plattenstreifen direkt oberhalb des Brenners, vgl. Bild 16. Eine Verkohlung bzw. regelrechte Verbrennung der Fassadenplatten erfolgte lediglich am unteren Rand. Die Aluminium Schienen sind aufgrund der thermischen Einwirkungen nicht verzogen worden.

Die im Vorfeld definierten Schutzziele wurden sehr zufriedenstellend erreicht. Es zeigte sich deutlich, dass das System noch über starke Leistungsreserven verfügte. Die Idee, als einer der zentralen Bestandteile des Projektes, den Hinterlüftungsspalt mit einem Beschichtungssystem schlagartig zu verschließen, wurde im Großversuch erfolgreich bestätigt.

ENTWICKLUNG ÜBERPRÜFBARER BEURTEILUNGSKRITERIEN

Ausgangslage

Reaktive Brandschutzsysteme sind insbesondere zur brandschutztechnischen Ertüchtigung von Stahlkonstruktionen seit vielen Jahren bekannt. Die entsprechenden Produkte werden von den Herstellern gegenwärtig in der Regel im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung, welche vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) erteilt wird, in den Markt eingeführt. Basis für die Zulassungsprüfungen von Dämmschichtbildnern für den Stahlbau sind die vom DIBt herausgegebenen „Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Stahlbauteilen“ [21]. Im Rahmen der europäischen Harmonisierung wurde auch bei der EOTA mit der ETAG 018 eine Richtlinie für die Prüfung und Zertifizierung von Brandschutzprodukten erarbeitet. Der zweite Teil „reactive coatings for fire protection of steel elements” behandelt die Dämmschichtbildner für Stahlbauteile. Produkte, die auf Basis dieser Richtlinie geprüft werden, können eine europäische Zulassung (ETA) erhalten.

In einer weiteren Richtlinie formuliert das DIBt „Zulassungsgrundsätze für dämmschichtbildende Baustoffe“ [22], die ausdrücklich nicht für Holzbaustoffe zum Nachweis der Baustoffklasse und nicht für Stahlbauteile zum Nachweis der Feuerwiderstandsklasse heranzuziehen sind. Nach dieser Richtlinie sollen allgemeine dämmschichtbildende Baustoffe geprüft und schließlich zugelassen werden, z. B. Dichtstreifen innerhalb von Brandschutzschotts. Die Dämmschichtbildner können als Platten, Streifen, Geweben, Mörteln, Anstriche oder als Granulate zur Anwendung kommen.

Auf dem Markt existieren bereits dämmschichtbildende Anstriche, die in der Lage sind, die Baustoffklasse von Holz zu verbessern. Die Prüfung der brandschutztechnischen Eigenschaften kann auf Basis der bereits etablierten Normen und Regelwerke problemlos vorgenommen werden. Schwerpunkt dieses Forschungsvorhabens sind jedoch Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen, die in der Lage sein sollen, das Holz für einen Zeitraum von bis zu 60 Minuten vor der Entzündung zu bewahren. Für diese Anwendung gibt es jedoch

nur Prüfansätze, die ausschließlich brandschutztechnisch wirksame Bekleidungen aus Plattenwerkstoffen berücksichtigen.

Vorgehensweise

Zunächst wurde eine allgemeine Anforderungsmatrix erarbeitet, in der alle von den beteiligten Forschungspartnern als relevant erachteten Holzkonstruktionen Berücksichtigung fanden. Diesen Anwendungsbereichen wurden Anforderungen mit brandschutztechnischer und gebrauchstauglicher Relevanz zugeordnet. Diese Anforderungsmatrix stellte eine Leitlinie da, an der die Forscher Ihren Entwicklungsfortschritt messen konnten.

Im nächsten Schritt wurde ein Entwurf „Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Holzbauteilen“ erarbeitet. Zielsetzung war hier die Nutzung bereits genormter oder allgemein anerkannter Prüfverfahren, um bei den entsprechenden Prüfinstituten und Zulassungsstellen eine möglichst breite Akzeptanz zu erfahren. Es stellte sich heraus, dass für die wesentlichen Zulassungsprüfungen, insbesondere jene mit hoher Sicherheitsrelevanz, bereits geeignete Prüfverfahren vorliegen, die auch auf Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen anwendbar sind.

Zur Absicherung der theoretischen Überlegungen sind Baustoff- und Bauteilprüfungen zu den sicherheitsrelevanten Eigenschaften unternommen worden, so dass der Entwurf „Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Holzbauteilen“ bereits auf einer beträchtlichen praktischen Erfahrung beruht, die im Rahmen der zukünftigen Zulassungsprüfungen aber sicherlich noch erweitert werden kann und muss.

Allgemeine Anforderungsmatrix

Die im Folgenden aufgeführten Anwendungsbereiche sollen unter Anwendung der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung erschlossen werden:

- Fußbodenbelag
- Holztreppen
- Türen, Tore, Fenster (innen und außen)
- Pfosten-Riegel-Konstruktionen (innen und außen)
- Fassade
- Hinterlüftete Fassade (Fassadenzwischenraum)
- Mehrgeschossiger Holzbau
- Denkmalschutz
- Nagelplattenbinder

Hinter dem Oberbegriff „Mehrgeschossiger Holzbau“ verbergen sich Gebäude der Gebäudeklasse 4 MBO, die nach derzeitigem Stand mit einer brandschutztechnisch wirksamen Kapselung K60 ausgerüstet werden müssen. Der Denkmalschutz zielt auf die Ertüchtigung von Holzkonstruktionen mit transparenten, möglichst dünnen Beschichtungen. Der Entzündungsschutz ist hier mit 15 Minuten zu kalkulieren. Der Fassadenzwischenraum hinterlüfteter Fassaden muss derzeit durch Brandsperren unterbrochen werden, damit eine Brandweiterleitung im Spalt über das nächst höhere Geschoss hinaus nicht erfolgen kann. Die Hochleistungsbrandschutzbeschichtung soll durch schlagartiges Zuschäumen den Fassadenspalt abschotten, so dass in Zukunft auf zusätzliche Brandsperren verzichtet werden kann.

Alle oben aufgeführten Anwendungsbereiche haben spezielle Anforderungsprofile für die Hochleistungsbrandschutzbeschichtung. Zu unterscheiden sind Leistungseigenschaften in den Bereichen Brandschutz, Optik, Mechanik, Klima, Dauerhaftigkeit und Sonstiges. Um das Produkt auf dem Markt etablieren zu können, müssen die Leistungseigenschaften in allen genannten Bereichen erbracht werden. Als Negativbeispiel sei eine Beschichtung genannt, die unter UV-Einfluss stark vergilbt. Diese kann aus ästhetischen Gründen von den Gebäudenutzern nicht akzeptiert werden, auch wenn sie brandschutztechnisch voll leistungsfähig ist. Aus brandschutztechnischer Sicht sind dagegen in der Regel nur die Merkmale für Brandleistung, Mechanik und Dauerhaftigkeit von besonderer Bedeutung. Bei Fassadensystemen ist die Dauerhaftigkeitsanforderung als größte Hürde anzusehen.

Nagelplatten müssen in vielen Anwendungsbereichen keinen Ansprüchen an die Optik genügen, hier sind aber besondere Anforderungen an die Haftung zu stellen, da die Beschichtung auch nach vielen Jahren nicht von den verzinkten Nagelplatten abblättern darf. Und auch im Brandfall muss ausreichend Widerstand gegen Abrutschen des Schutzschaumes gewährleistet werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass „Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Holzbauteilen“ nicht nur die Brandschutzwirkung allein beinhalten müssen. Daneben sind die Leistungskriterien auch unter Gebrauchsbedingungen für einen ausreichend langen Zeitraum sicherzustellen. Im folgenden Abschnitt wird das übergeordnete Prüfungskonzept vorgestellt, bei dem wie in einem Baukastensystem für die jeweilige spezielle Anwendung das erforderliche Prüfprogramm von der Prüfstelle und der Zulassungsstelle ausgewählt werden kann.

Allgemeines Prüfkonzept – Baukastensystem

Die Prüfverfahren können in zwei Blöcke aufgeteilt werden. Zum einen sind dies die Grundprüfungen und zum anderen die Prüfungen des Verhaltens der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung unter Umwelteinflüssen. Bild 17 stellt das Schema der Zulassungsprüfungen dar.

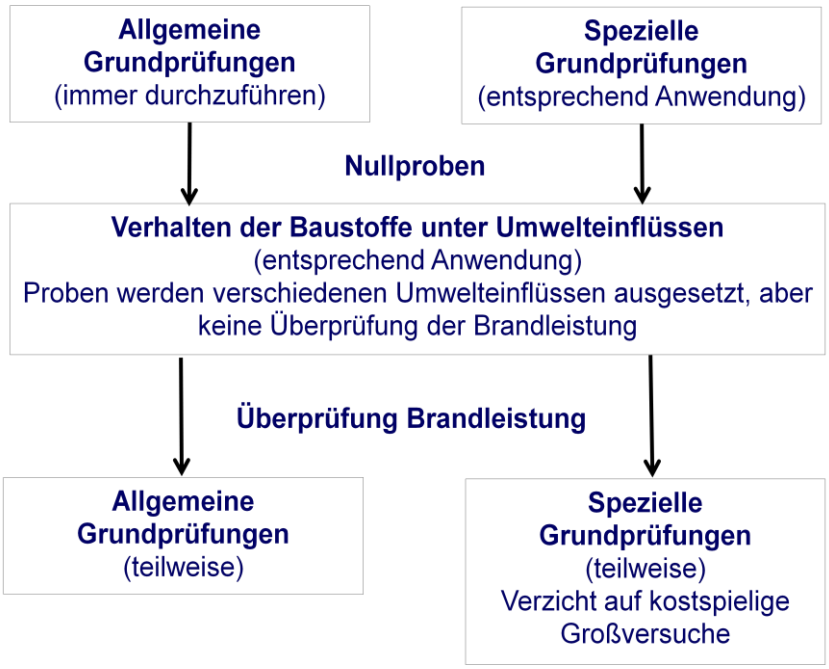


Bild 17 Schema der Zulassungsprüfungen

Eine Reihe von allgemeinen Grundprüfungen ist unabhängig vom zu erschließenden Anwendungsbereich immer durchzuführen. Diese allgemeinen Grundprüfungen erschließen die chemischen und physikalischen Grundeigenschaften des zuzulassenden Produkts und beinhalten auch Standardverfahren, die eine Beurteilung der Brandschutzleistung im Labormaßstab ermöglichen. Daneben existieren die speziellen Grundprüfungen, welche auf den jeweiligen Anwendungsbereich zugeschnitten und daher im Einzelfall auszuwählen sind. Spezielle Grundprüfungen sind vom Labormaßstab hin zu Großversuchen im Realmaßstab skaliert. Aus den allgemeinen und speziellen Grundprüfungen ergeben sich sog. Nullproben, die eine Charakterisierung der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung im Herstellzustand ermöglichen.

In einem weiteren Block werden Proben Umwelteinflüssen ausgesetzt, z. B. der Außenbewitterung. In diesem Block wird nur das Verhalten der Beschichtung an sich überprüft, ohne die Brandleistung einzubeziehen.

Im letzten Prüfungsblock werden Probekörper, deren Reaktion auf die Umwelteinflüsse überprüft wurde, wieder einer Reihe von Grundprüfungen unterzogen. Sie betreffen in der Regel nur die Brandleistung und nicht noch einmal alle allgemeinen Eigenschaften der Beschichtung. Von den speziellen Grundprüfungen werden ebenfalls nicht alle für den Anwendungsbereich relevanten Versuche durchgeführt. Anstelle kostspieliger Großversuche sind geeignete Kleinbrandversuche und/oder Laborversuche durchzuführen. Wesentliche Erkenntnis der nachgeschalteten Grundprüfungen muss sein, dass das Produkt die brandschutztechnischen Eigenschaften unter Umwelteinflüssen, zum Beispiel bei Außenbewitterung oder chemischem Angriff mit Haushaltschemikalien, nicht verliert oder zumindest über einen genügend langen Zeitraum beibehält.

Im Rahmen des Projektes [3] wurde umfangreich über die verschiedenen Prüfungen berichtet. In diesem Beitrag soll nur exemplarisch die Prüfung des Entzündungsschutzes vorgestellt werden. Sie ist besonders bedeutend, weil es bisher am Markt keinen Beschichtungswerkstoff gibt, der auf den Entzündungsschutz hin geprüft wurde.

Prüfung des Entzündungsschutzes (Kapselkriterium)

Die Prüfung des Kapselkriteriums bzw. Entzündungsschutzes ist eine wesentliche Problemstellung innerhalb des Projekts gewesen, da derartige Brandschutzfunktionen bisher nur mit Plattenwerkstoffen, die silikatisch- bzw. gipsgebunden sind, realisiert werden. Bereits im vorhergehenden InnoNet Projekt Holzbrand [4] wurde die Idee verfolgt, die Prüfung des Entzündungsschutzes in Anlehnung an DIN EN 14135 [12] durchzuführen. In diesem Beitrag werden die Begriffe Kapselkriterium und Entzündungsschutz in der Regel gleichberechtigt verwendet, weil die brandschutztechnische Wirkung für das zu schützende Bauteil identisch ist. Streng genommen ist im bautechnischen Sinne eine Kapsel jedoch immer eine plattenförmige Applikation und keine lackförmige Beschichtung.

Entsprechend DIN EN 14135 [12] werden Brandschutzbekleidungen auf einer Norm-Trägerplatte aus Spanplatte mit einer Dicke von 19 +/- 2 mm geprüft. Bei Normalklima muss die Platte eine Dichte von 680 +/- 50 kg/m³ aufweisen.

Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen sind bei der Klassifizierungsprüfung auf einem Substrat zu testen, welches dem Anwendungsbereich des Produktes entspricht. Dieses bedeutet, dass die Norm-Trägerplatte nicht ohne Weiteres als Standard eingesetzt werden kann. Folgende Gründe sprechen gegen die ausschließliche Anwendung einer Spanplatte als Trägermaterial: Die Oberflächengüte der Trägerplatte hat Einfluss auf das Haftungsvermögen der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung. Insbesondere bei senkrecht gelagerten Bauteilen muss das Abrutschen der Beschichtung verhindert werden. Die Bauteilprüfungen sind an verschiedenen Holzfamilien durchzuführen, wobei auch das Schliffbild (Körnung des Schleifpapiers) zu dokumentieren ist. Hölzer, von denen bekannt ist, dass sie über ähnliche Oberflächeneigenschaften verfügen, sind demnach nicht im Einzelfall zu testen. Weiterhin unterscheiden sich die Holzwerkstoffe in ihrem Saugverhalten. Eine Spanplatte mit sehr hoher Rohdichte ist in der Porenstruktur weitaus geschlossener als zum Beispiel eine Sperrholzplatte mit Nadelholzdeckschicht. Eine offenere Porenstruktur führt dazu, dass mehr Beschichtungsmaterial nach dem Auftragen aufgesaugt wird und dann nicht für den Intumeszenzvorgang zur Verfügung steht. Holzstruktur und effektive Schichtstärke stehen in einem funktionellen Zusammenhang. Und im nächsten Schritt stehen wiederum auch Schichtstärke und Brandleistung des Beschichtungssystems in einem funktionellen Zusammenhang. Wenn mehr Erfahrungen bezüglich der Wechselwirkungen verschiedener Holzarten vorliegen, kann unter Umständen die Prüfung an einer Holzart durchgeführt werden und die Ergebnisse übertragen werden.

Bei Beplankungen wird davon ausgegangen, dass eine Prüfung an Deckenbauteilen auf Wandbauteile direkt übertragbar ist, sofern die Verbindungsmittel zwischen tragender Konstruktion und Beplankung fachgerecht eingebaut werden. In vielen Einzelversuchen dieses Projekts stellte sich heraus, dass die Beschichtung unter bestimmten Umständen bei vertikaler Anordnung zum Abrutschen neigt. Dieser Umstand kann an Deckenbauteilen nicht mit ausreichender Sicherheit überprüft werden. Denn zähflüssige Medien verhalten sich unter Schubbeanspruchung anders als unter Normalbeanspruchung. Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen, die in vertikaler Anordnung eingesetzt werden sollen, sind aufgrund der beschriebenen Umstände grundsätzlich vertikal zu prüfen. Das Wandbauteil sollte eine Fläche von 9,0 m² bei einer Länge einer Seite von mindestens 3,0 m haben.

In Versuchen konnte gezeigt werden, dass eine besondere Anschlussproblematik im Bereich der Kontaktfuge zwischen Ofenwandung und beschichtetem Bauteil vorliegt. Hier entfaltet der schützende Schaum nicht seine volle Wirkung und die Trägerplatte wird eher verkohlt als die übrigen Bereiche. Diese Randbereiche sind bei der Prüfung besonders zu schützen, vgl. [3]. Im realen Bauwerk sind die entsprechenden Schutzvorkehrungen ebenfalls auszuführen, wenn ein beschichtetes Bauteil über Eck mit einem nicht beschichteten zusammentrifft. In der bauaufsichtlichen Zulassung sollten die entsprechenden Ausführungsskizzen eingearbeitet werden.

In einem Kleinbrandversuch im Brandofen nach DIN 4102-8 wurde die Laborformulierung IN MSP jeweils mit einer theoretischen Schichtstärke von 3,3 mm und 3,9 mm untersucht. Bei der geringeren Schichtstärke versagte die Hochleistungsbrandschutzbeschichtung nach knapp 48 Minuten. Durch die vergrößerte Schichtstärke konnte die Brandleistung nicht gesteigert werden, sondern im Gegenteil: die Brandleistung ließ deutlich nach. Es kam schon frühzeitig zum Abrutschen der Beschichtung, da das/die vergrößerte Schaumvolumen/-masse und die damit einhergehende vergrößerte Schubbeanspruchung in der Reaktionsebene nicht aufgenommen werden konnte. Im Zuge der Zulassungsprüfungen muss demnach eine obere und eine untere Grenze für die Schichtstärke der Beschichtung angegeben werden, in deren Rahmen das System die geforderte Brandleistung erreicht.

DIN EN 13501-2 [13] definiert die Anforderungen an Brandschutzbekleidungen, die bei der Bauteilprüfung zu erfüllen sind, um eine Einordnung in die entsprechende Klasse vornehmen zu können. Um diese Prüfkriterien auf den Entzündungsschutz von Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen übertragen zu können, waren besondere Betrachtungen erforderlich. Folgende Anforderungen werden für eine Bekleidung der Klasse K2 ohne hinterliegendem Hohlraum in Abschn. 7.6.4.2 DIN EN 13501-2 definiert:

- Die Brandschutzbekleidung darf nicht zusammenbrechen, auch nicht Teile davon

- Nach der Prüfung darf kein verbranntes Material oder verkohltes Material an beliebiger Stelle der Trägerplatte auftreten, wobei Verfärbungen erlaubt sind
- Die mittlere Temperatur, die an der feuerseitigen Oberfläche der Trägerplatte gemessen wird, darf die Anfangstemperatur um nicht mehr als 250 °C überschreiten
- Die Maximaltemperatur, die an einer beliebigen Stelle dieser Seite gemessen wird, darf die Anfangstemperatur um nicht mehr als 270 °C überschreiten

Die Kriterien für das Verkohlungsverhalten können direkt auf Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen übertragen werden. Die Temperaturkriterien wurden innerhalb dieses Projekts genau untersucht. In [19] wird nachgewiesen, dass übliche Bauhölzer (Nadelholz) eine Entzündungstemperatur von 300 °C aufweisen. Entsprechend den beschriebenen Kriterien, ausgehend von Raumtemperatur, wäre die Prüfung bei Erreichen von 290 °C Trägerplattentemperatur an einer beliebigen Stelle bereits durchgefallen. Im Mittel darf die Trägerplatte an der Oberfläche eine absolute Temperatur von 270 °C aufweisen, so dass hier ein Sicherheitsabstand zu der definierten Entzündungstemperatur von 300 °C vorliegt. Dieser Sicherheitsabstand gewährleistet jedoch, dass die Konstruktion nach Ablauf der Branddauer auch wirklich nicht von alleine weiterbrennt. Würde man nach der Mindestschutzdauer exakt die Entzündungstemperatur erreichen, würde die Konstruktion von alleine brennen und der gefürchtete Hohlraumbrand wäre unweigerlich die Folge.

Um zu untersuchen, ob die Vorwärmdauer einen baupraktisch relevanten Einfluss auf das Entzündungsverhalten hat, wurden Versuche im Cone-Kalorimeter durchgeführt. Als zusätzliche Absicherung wurden dabei die Temperatur-Zeitverläufe auf dem Substrat, wie sie in den Kleinbrandversuchen gemessen wurden, ausgewertet. Bild 18 zeigt ein typisches Ergebnis der Kleinbrandversuche im Brandofen nach DIN 4102-8 [15]. Getestet wurde die Laborformulierung IN MSP auf einem 10 cm dicken Brettschichtholzelement. Bei dieser Anordnung fließt aufgrund der guten Isolationswirkung des Massivholzes nur wenig Wärme von der beschichteten Oberfläche ab. Im Normversuch ist die 19 mm starke Trägerplatte auf der Rückseite ungedämmt, so dass hier ein größerer Wärmeabfluss an die Umgebung möglich ist. Im Vergleich zum Normversuch liegen die Ergebnisse des betrachteten Kleinbrandversuchs demnach leicht auf der sicheren Seite. Bild 18 zeigt den mittleren Temperaturverlauf, wie er direkt unter der Beschichtung gemessen wurde. Im Bereich der Grenztemperatur von 270°C wird der Temperatur-Zeitverlauf immer steiler, wie sich auch eindeutig anhand der aufgetragenen 1. Ableitung ablesen lässt. Gleichzeitig steigt auch die 2. Ableitung enorm an, so dass die erhöhte Wäremfreisetzung mit guter Übereinstimmung im Bereich der normativ festgelegten Temperaturkriterien beobachtet werden kann. Die 2. Ableitung ist eine Art Beschleunigung des Temperatur-Zeitverlaufs. Wenn diese schlagartig zunimmt, muss sich eine Variable im System geändert haben. Hier ist es die Entzündung des Holzes, wessen Umsetzung zusätzliche Energie freisetzt.

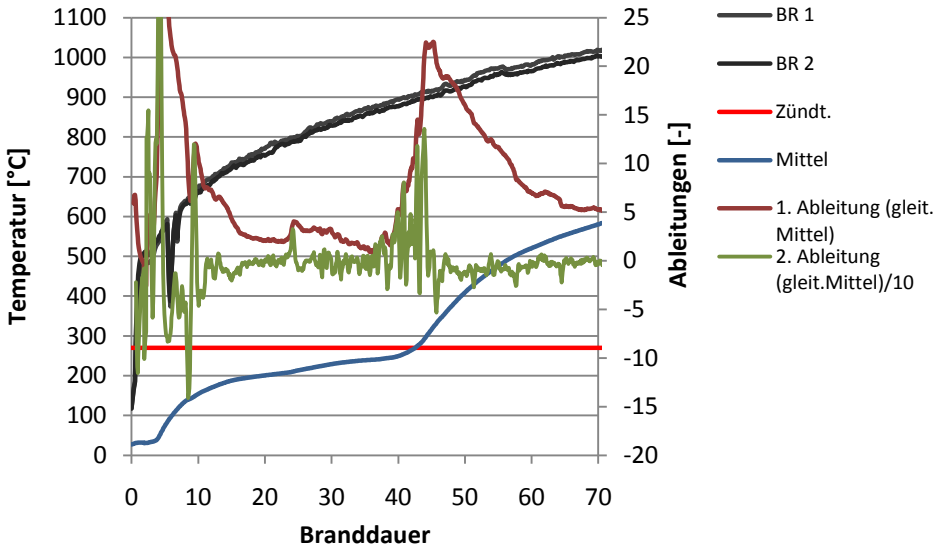


Bild 18 *Auswertung des Temperaturverlaufs eines Versuchs im Kleinbrandofen nach DIN 4102-8; Laborformulierung IN MSP (2,5 mm) auf 100 mm starkem Brettschichtholz*

FAZIT

Als Ergebnis der Forschung wurden Richtformulierungen beschrieben, aus denen die Beschichtungsmittelindustrie ein Produkt weiterentwickeln und auf den Markt bringen kann. Wesentliche Ziele für die Hochleistungsbrandschutzbeschichtung im Innenbereich waren die Verbesserung der Gebrauchseigenschaften und die Steigerung der Brandleistung bis zu einem Entzündungsschutz von 60 Minuten. Die Gebrauchseigenschaften konnten erheblich gesteigert werden. Außerdem wurden Lösungen für bislang unbekannte Probleme (z. B. Rissneigung) erarbeitet. Der Entzündungsschutz über 60 Minuten wurde im Rahmen des Projektes nicht erreicht. Die Ursache hierfür liegt in einem zu frühen Abreißen aufgrund des Eigengewichts der dazu notwendigen, vergleichsweise dicken Schutzschichten. Es kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass eine Produkteinführung mit 30-minütigem Entzündungsschutz möglich ist.

Durchgeführte Brandversuche zeigen das Potenzial der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung, Nagelplattenkonstruktionen für einen Feuerwiderstand von 30 Minuten auszurüsten. Für den Außenbereich wurde in einem Fassadengroßbrandversuch die Leistungsfähigkeit der Hochleistungsbrandschutzbeschichtung nachgewiesen. Dabei konnte die Idee, den Hinterlüftungsspalt im Brandfall durch die intumeszierende Beschichtung zu verschließen, bestätigt werden. Nachteilig wirken sich noch die kurzen Renovierungsintervalle aus. Auf Basis von Literaturstudien und Brandversuchen wurden Zulassungskriterien erarbeitet, so dass die prüftechnischen Grundlagen für die Erteilung bauaufsichtlicher Zulassungen bereits gegeben sind. Für statisch konstruktive Fragestellungen beschichteter Bauteile wurden ebenfalls Lösungen erarbeitet.

DANK

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie für die Förderung des InnoNet-Verbundvorhabens und der VDI/VDE-IT für die sehr gute Betreuung. Ein besonderer Dank gilt unseren Forschungspartnern, den beiden Fraunhofer-Instituten für Holzforschung (WKI) und für Chemische Technologie (ICT) sowie Herr Prof. Klaus Becker als Holzbauexperte für die ausgezeichnete Forschungskooperation. Im Namen aller Forschungspartner danken wir den Industriepartnern Becker & Großgarten, Lindner AG, Ingenieurbüro Klett, Gütegemeinschaft Nagelplattenprodukte e.V., Holzbau Schmid, finnforest merk, Treppenmeister, Effertz Tore und Rütgers Organics für die langjährige engagierte Mitwirkung durch konstruktive Beratung, Materiallieferungen und eigene Entwicklungsarbeiten.

LITERATUR

[1] Musterbauordnung (MBO); Fassung November 2002

[2] Kampmeier, B.: Risikogerechte Brandschutzlösungen für den mehrgeschossigen Holzbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 206, zugleich Dissertation Technische Universität Braunschweig, Braunschweig 2008, ISBN 978-3-89288-189-6.

[3] Hosser, D.; Marutzky, M.; Hollmann, D.; Kruse, D.; Gettwert, V. et al.: Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen und Entwicklung überprüfbarer Beurteilungskriterien. Abschlussbericht zum InnoNet-Vorhaben „Hochleist“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Braunschweig April 2009.

[4] Hosser, D. et al: Brandverhalten von massiven Holzbauteilen und Fassadenelementen mit Hochleistungsbrandschutzbeschichtung“. Abschlussbericht zum InnoNet-Vorhaben „Holzbrand“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Braunschweig Juni 2005.

[5] Simon, S.: Untersuchungen zur systematischen Entwicklung von intumeszierenden Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen. Dissertation Technische Universität Braunschweig, 2006.

[6] DIN EN ISO 1716: Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, Bestimmung der Verbrennungswärme; Deutsche Fassung EN ISO 1716:2002; Juli 2002.

[7] DIN EN 13501-1:2007-05 - Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten.

[8] DIN 4102-15:1990-05 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen-Teil 15: Brandschacht.

[9] DIN EN 13823:2002-06 - Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten - Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen.

[10] Hansen, A.S.: Prediction of Heat Release in the Single Burning Item Test. Fire and Materials Vol. 26, 2002.

[11] ISO 5660-1:2002-12 - Prüfungen zum Brandverhalten von Baustoffen – Wärmefreisetzung, Rauchentwicklung und Masseverlustrate – Teil 1: Wärmefreisetzungsrate (Cone-Calorimeter-Verfahren).

[12] DIN EN 14135:2004-11 - Brandschutzbekleidungen - Bestimmung der Brandschutzwirkung.

[13] DIN EN 13501-2:2008-01 - Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen.

[14] Bobacz, D.: Behavior of Wood in Case of Fire. Doctoral Thesis Universität für Bodenkultur Wien, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Juni 2006.

[15] DIN 4102-8: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen- Teil 8: Kleinprüfstand.

[16] DIN 4102-2:1977-09 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen- Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

[17] DIN EN 1995-1-2:2006-10 - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.

[18] DIN 4102-22:2004-11 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 22: Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten.

[19] Becker, J; Tichelmann, K; Hosser, D; Wesche, J: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise. Abschlussbericht im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Teil 1, Juli 1997.

[20] DIN V 4102-20: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 20: Besonderer Nachweis für das Brandverhalten von Außenwandbekleidungen. Arbeitspapier des NABau-AA 00.34.01 Nr. 108-99.

[21] Deutsches Institut für Bautechnik; Zulassungsgrundsätze für reaktive Brandschutzsysteme auf Stahlbauteilen; Fassung November 1997.

[22] Deutsches Institut für Bautechnik; Zulassungsgrundsätze für dämmschichtbildende Baustoffe; Fassung Mai 2006.

GRUNDLAGEN UND BEISPIELE ZUR UMSETZUNG LEISTUNGSORIENTIERTER BRANDSCHUTZKONZEPTE MITTELS INGENIEURMETHODEN

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

EINLEITUNG

Die verschiedensten Arten von Sonderbauten, die in Deutschland geplant und erstellt werden oder wurden, stoßen oftmals an Grenzen des derzeitigen Baurechts mit seinen präskriptiven Brandschutzanforderungen.

Eine direkte Umsetzung aller Forderungen des geltenden Baurechts, z. B. der MBO [1] und der MVStättV [2], ist aufgrund der gewünschten architektonischen und gestalterischen Freiheiten oftmals nicht oder nur unter Heranziehung komplexer anlagentechnischer und/oder organisatorischer Kompensations-maßnahmen möglich, wobei die möglichen Erleichterungen und Kompensationen in den Sonderbauverordnungen zum Teil ebenfalls präskriptiv vorgegeben werden.

Eine Alternative bietet die individuelle Behandlung der Gebäude im Rahmen leistungsorientierter Brandschutzkonzepte und mit Hilfe von ingenieurmäßigen Nachweismethoden. Hierbei werden wesentliche Teile des Brandschutzkonzeptes nicht durch die formale Erfüllung einer materiellen baurechtlichen Anforderung (z. B. Rettungsweglänge < 35 m), sondern durch einen auf das spezifische Gebäude zugeschnittenen ingenieurmäßigen Nachweis (z. B. Evakuierungssimulation) erbracht.

Die Verwendung ingenieurmäßiger Nachweismethoden erfordert in Deutschland allerdings oft eine Abweichung bzw. Befreiung von einzelnen Vorschriften des geltenden Baurechts, die von der zuständigen Bauaufsichtsbehörde nach eigenem Kenntnisstand und Ermessen, in der Regel in Verbindung mit Kompensationsmaßnahmen, zu genehmigen ist. Bereits die Begriffe „Abweichung“ und „Befreiung“ erwecken den dabei Eindruck, dass eine individuell mit Ingenieurmethoden entwickelte Lösung lediglich ein geringerwertiger Ersatz für die nicht umsetzbare Standardlösung sei und keine vollwertige Alternative.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) zur „Umsetzung leistungsorientierter Brandschutzvorschriften“ [3] vorgestellt. Zunächst werden kurz die ingenieurmäßigen Nachweise und die zugehörigen Leistungskriterien erläutert. Anschließend werden durch exemplarische Anwendungen leistungsorientierter Nachweise mit ingenieurmäßigen Verfahren im direkten Vergleich zur Umsetzung von Standardanforderungen nach geltendem Baurecht die Nachteile der bisherigen Reglungen verdeutlicht und bereits in [4] unterbreitete Vorschläge für eine bessere Verankerung leistungsorientierter Brandschutznachweise in flexibler gestalteten bauaufsichtlichen Regelungen untermauert.

NACHWEISMÖGLICHKEITEN UND LEISTUNGSKRITERIEN

Um eine Gleichwertigkeit gegenüber dem derzeitigen Baurecht zu erreichen, müssen leistungsorientierte Brandschutzkonzepte uneingeschränkt die Schutzziele – z. B. entsprechend § 14 MBO [1] - erreichen:

- der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen,
- die Rettung von Mensch (und Tier) ermöglichen und
- wirksame Löscharbeiten ermöglichen.

Offen bleibt die Frage, welche Nachweise im Einzelnen zu erbringen sind und welche Leistungskriterien dabei einzuhalten sind.

In Tabelle 1 sind beispielhaft Schutzziele, leistungsorientierte Nachweise und Leistungskriterien für die Schutzziele „genereller Schutz von Leben und Gesundheit“ und „Rettung von Mensch und Tier“ in Anlehnung an [5] dargestellt.

Tabelle 1 Zusammenhang zwischen Schutzzielen, leistungsorientierten Nachweisen und Leistungskriterien

Schutzziel	leistungsorientierte Nachweise	Leistungskriterien
Genereller Schutz von Leben und Gesundheit und Rettung von Mensch und Tier ermöglichen	Nachweis der sicheren Benutzbarkeit der Rettungswege für eine definierte Zeitdauer durch: • Nachweis der Entfluchtung des Gebäudes vor Eintreten kritischer Zustände $t_{Räumung} < t_{verfügbar}$	• $t_{Räumung}$ gemäß Handrechnung oder Entfluchtungssimulation • $t_{verfügbar}$ als Vorgabe oder nach Brandsimulation
	Nachweis *) der Personensicherheit bei Einwirkung von • Rauch • (Atem-)Gifte • Hitze *) Nachweis mittels • analytischer Gleichungen • Zonenmodell (Rauch, Hitze)Feldmodell (alle)	• Rauchfreie Schichthöhe oder erforderl. Sichtweite oder optische Rauchdichte • maximaler FED-Wert oder • maximale Gastemperatur oder maximale Wärmestrahlung
	Nachweis der Standsicherheit der Konstruktion und des Raumabschlusses der Rettungswegumschließung für die Dauer der Selbst- und Fremdrettung durch: • vereinfachte Rechenverfahren • allgemeine Rechenverfahren	• z.B. kritische Stahltemperatur • z.B. Tragfähigkeit bei Brandeinwirkung

Die ingenieurmäßigen Nachweise der einzelnen Leistungskriterien können dabei, je nachdem welcher Aufwand für ein bestimmtes Gebäude gerechtfertigt ist, in 3 Stufen durchgeführt werden (vgl. Bild 1).

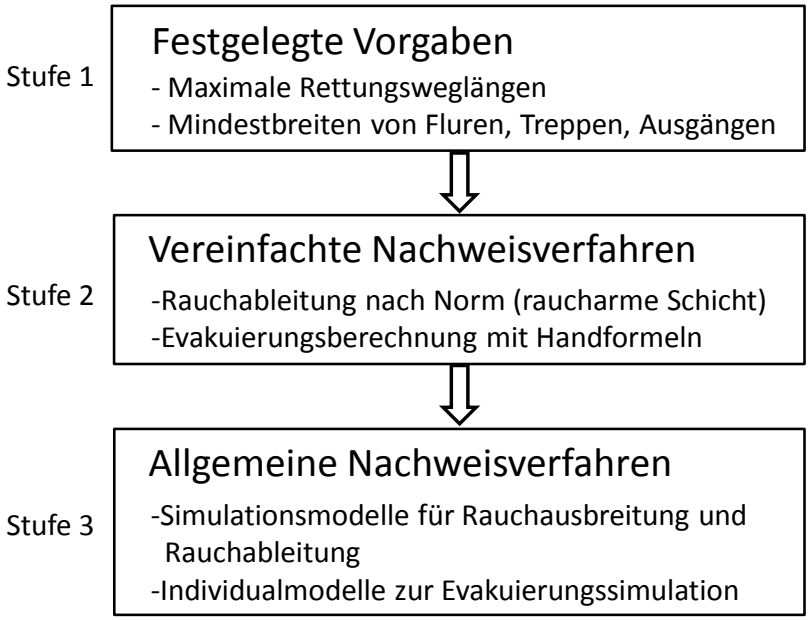


Bild 1 Nachweisstufen für den Personenschutz

Die übrigen Schutzziele können prinzipiell vergleichbaren Nachweishierachien zugeordnet werden.

In den Nachweisstufen 2 und 3 werden Handrechnungen bzw. Computersimulationen erforderlich, für die angemessene Eingangsparameter gewählt werden müssen. Diese können z. B. aus dem Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes [5] entnommen werden. Die konkrete Vorgehensweise wird von Hohm und Albrecht in [6] exemplarisch vorgeführt.

GESETZLICHE GRUNDLAGEN FÜR LEISTUNGSORIENTIERTE BRANDSCHUTZKONZEPTE IN ANDEREN LÄNDERN

Sollen leistungsorientierte Brandschutzkonzepte und somit auch die Ingenieurmethoden des Brandschutzes mit den derzeitigen präskriptiven Anforderungen in Deutschland gleichgestellt werden, so sind rechtliche Anpassungen und Ergänzungen erforderlich.

In einigen europäischen Nachbarländern sind derartige Anpassungen bereits vorgenommen worden, die für Deutschland orientierend herangezogen werden können.

Beispielsweise werden in den Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF [7] zunächst grobe Pauschalwerte vorgegeben, die die Aufwandsgrenzen bei der Erstellung von Brandschutzkonzepten aufzeigen:

- Ca. 80% der Gebäude können ohne ein über die „starren“, präskriptiven Vorschriften hinausgehendes Brandschutzkonzept realisiert werden.
- Weitere ca. 15% aller Gebäuden werden mehr oder weniger von den [präskiptiven] Vorschriften abgedeckt; die Erstellung eines Brandschutzkonzeptes wird jedoch empfohlen oder kann von der zuständigen Behörde gefordert werden.
- Nur ca. 5% der Gebäude erfordern zwingend ein gesondertes [leistungsorientiertes] Brandschutzkonzept.

Die Zulässigkeit leistungsorientierter Brandschutzkonzepte und die Verwendungsmöglichkeit ingenieurmäßiger Nachweise werden in Artikel 11 der Brandschutznorm [7] deutlich:

„Im Normalfall wird das Schutzziel mit vorgeschriebenen Standardmaßnahmen erreicht.

Anstelle vorgeschriebener Brandschutzmaßnahmen können alternativ Brandschutzmaßnahmen als Einzel- oder Konzeptlösung treten, soweit für das Einzelobjekt das Schutzziel gleichwertig erreicht wird. Über die Gleichwertigkeit entscheidet die Brandschutzbehörde.

Weicht die Brandgefahr im Einzelfall so vom Normalfall ab, dass vorgeschriebene Maßnahmen als ungenügend oder unverhältnismäßig erscheinen, sind die zu treffenden Maßnahmen angemessen zu erweitern oder zu reduzieren.“

In Großbritannien ist das Approved Document B [8], das etwa mit den deutschen Landesbauordnungen zu vergleichen ist, eingeführt. Es wird bezüglich der Ingenieurmthoden noch konkreter als die Schweizerischen Brandschutzvorschriften. In der Einleitung zur Verwendung von Ingenieurmethoden im Brandschutz (Ziffer 0.30) ist folgender Grundsatz verankert:

„Ingenieurmethoden des Brandschutzes können als alternative Herangehensweise verwendet werden. In einigen Fällen könnte es die einzige Nachweismethode sein, um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen, wie beispielsweise bei großen und komplexen Gebäuden und Gebäuden mit verschiedenen Nutzungen, z. B. Flughäfen. Ingenieurmethoden des Brandschutzes können auch geeignet sein, um Probleme hinsichtlich der Planung eines Gebäudes zu lösen, welches ansonsten den Anforderungen dieser gesetzlichen Richtlinie entspricht.“

In beiden Ländern wurde somit die Erstellung leistungsorientierter Brandschutzkonzepte unter Verwendung von Ingenieurmethoden der Weg geebnet. Dort handelt es sich bei den mittels Ingenieurmethoden abgeleiteten Konzepten

nicht mehr um "Abweichungen" vom geltenden Baurecht, sondern um eine gleichberechtigte, rechtlich voll akzeptierte Alternative, mit der die gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden.

BEISPIELE ZUR UMSETZUNG

Nachfolgend werden anhand eines Beispielgebäudes die Nachweismöglichkeiten leistungsorientierter Brandschutzkonzepte aufgezeigt, indem eine vergleichende Bewertung eines Gebäudes mit den bisher rechtsgültigen Mitteln der MBO [1] in Verbindung mit der MVStättV [2] auf der einen Seite und mit ingenieurmäßigen Nachweisen auf der anderen Seite durchgeführt wird.

Als Beispiel dient die „Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland“ (KAH), die im Rahmen des BBR-Vorhabens "Umsetzung leistungsorientierter Vorschriften" [3] näher untersucht wurde.

Gebäudebeschreibung

Das Foyer der KAH besitzt eine Grundfläche von 914 m² und eine Höhe von 9,05 m. Im Bereich der Kasse und des Shops (in Bild 2 links der gepunkteten Linie) ist eine Zwischendecke auf halber Höhe eingezogen.

Die 6 Notausgänge befinden sich jeweils links und rechts der Drehtüren (Pfeile in Bild 2) und weisen eine Breite von jeweils ca. 0,90 m auf (Bild 3). Diese Notausgänge führen auf einen Innenhof, der durch einen ca. 3 m breiten Durchgang auf das öffentliche Straßenland verlassen werden kann, aber bereits als “sicherer Bereich“ zu betrachten ist.

Die vorhandenen Entrauchungsmaßnahmen beschränken sich auf 6 kreisrunde Öffnungen oberhalb der Notausgangstüren (Bild 4), die ausschließlich über das Bedientableu der Feuerwehr geöffnet werden können. Eine automatische Öffnung über die Brandmeldeanlage erfolgt nicht. Jede Öffnung weist einen freien Querschnitt von ca. 0,44 m² auf. Die Lüftungsanlage wird im Brandfall automatisch abgeschaltet.

Das Foyer ist flächendeckend gesprinklert. Eine automatische Brandmeldung erfolgt über die Sprinkler bzw. unterhalb der Zwischendecke installierte Rauchmelder.

Eine interne Alarmierung über Sprachdurchsagen ist vorgesehen.

Im Foyer der KAH können sich nach Nutzerangaben im Rahmen von Empfängen und After-Work-Partys maximal ca. 1.200 Personen aufhalten.

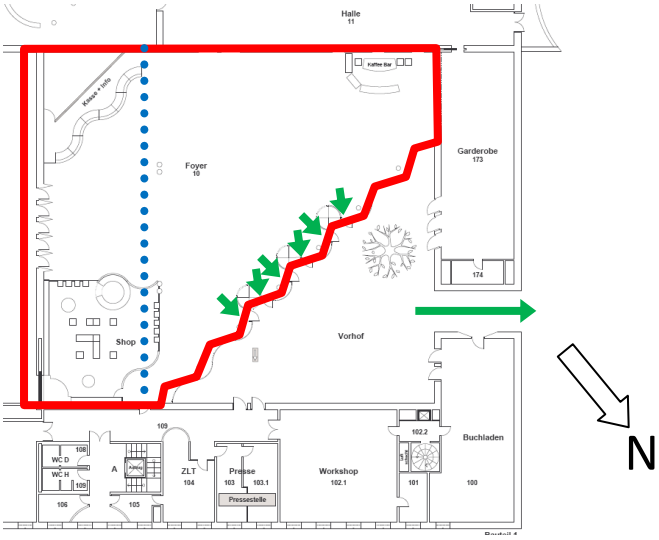


Bild 2 Foyer der KAH

Bild 3 Notausgänge neben den Drehtüren

Bild 4 Entrauchungsöffnungen mit ca. 75 cm Durchmesser

Nachzuweisende Schutzziele

Für das Foyer der KAH soll beispielhaft das Erreichen des Schutzziels „Rettung von Mensch und Tier ermöglichen“ gemäß § 14 MBO überprüft und wenn möglich nachgewiesen werden. Die erforderlichen Nachweise sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Der Nachweis erfolgt zunächst mit den Mitteln der MVStättV, die aufgrund der Personenanzahl von >> 200 anzuwenden ist, und danach mit leistungsorientierten Ingenieurmethoden des Brandschutzes.

BEWERTUNG NACH MVSTÄTTV

Beim Nachweis gemäß den präskripten Anforderungen der MVStättV sind folgende Anforderungen zu untersuchen:

- Mindestanforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile,
- Mindestanforderungen an Baustoffe,
- Zwei unabhängige Rettungswege,
- Maximal zulässige Rettungsweglänge,
- Mindestbreiten von Rettungswegen und Ausgängen (abhängig von der Personenanzahl) und
- Rauchfreihaltung der Rettungswege.

Anforderungen an die Umfassungsbauteile und die Baustoffe sind in folgenden Paragraphen der MVStättV enthalten:

- § 3 (Wände),
- § 5 (Unterdecken, Bekleidungen und Bodenbeläge),
- § 9 (Türen und Tore) und
- § 33 (Ausstattungen und Ausschmückungen in Versammlungsstätten).

Die Anforderungen der §§ 3, 5 und 9 können nach Sichtprüfung als erfüllt angesehen werden (Bild 5).

Unklar ist jedoch, ob die Bestuhlung sowie der Cafeteriabereich (Bild 6) und der Museumsshop (Bild 7) die Anforderung des § 33 nach Schwerentflammbarkeit (Baustoffklasse B1) erfüllen.

Bild 5 Innenansicht des nordöstlichen Foyers

Bild 6 Zentraler Cafeteriabereich im Foyer

Bild 7 Museumsshop im Osten des Foyers

Hier wird davon ausgegangen, dass diese Bereiche der Anforderung nicht gerecht werden.

Es ist daher eine Abweichung nach § 67 „Abweichungen“ MBO [1] erforderlich, die auf dem § 51 „Sonderbauten“ der MBO basiert.

In der Praxis wird als Voraussetzung zur Genehmigung einer Abweichung üblicherweise eine Kompensationsmaßnahme gefordert, die für die Sicherstellung des gleichen Schutzniveaus sorgen soll und über die im Gebäude sonst üblichen Brandschutzmaßnahmen hinausgehen muss. Beispiele hierfür liefert z. B. die Anlage 5 des Brandschutzleitfadens für Gebäude des Bundes [9].

Im Foyer kommen als Kompensationsmaßnahmen für die normalentflammbaren Gegenstände z. B. eine Sprinkleranlage sowie eine automatische Brandmeldeanlage in Frage. Durch diese Maßnahmen würde ein Entstehungsbrand klein gehalten und frühzeitig detektiert werden.

Rechtlich problematisch ist hierbei jedoch, dass sowohl die Sprinkleranlage als auch die automatische Brandmeldeanlage in den §§ 19 und 20 MVStättV aufgrund der Größe des Gebäudes ohnehin gefordert werden. Somit stehen diese zweifelsfrei sinnvollen Kompensationsmaßnahmen rechtlich zur Begründung der Abweichung nicht mehr zur Verfügung.

Obwohl gegen die Bestuhlung in der vorgefundenen Situation objektiv keine brandschutztechnischen Bedenken bestehen, ist die formal erforderliche Begründung der Abweichung ohne einen Nachweis über Ingenieurmethoden zumindest schwierig.

Die Gestattung der Abweichung obliegt in der Regel dem Sachbearbeiter bei der zuständigen Bauaufsichtsbehörde. Dieser hat jedoch keine klaren Kriterien und/oder Richtlinien zur Hand, um über die Statthaftigkeit der Abweichung zu entscheiden. Er ist daher ausschließlich auf die qualitativen Definitionen der „Schutzziele“, z. B. in § 14 MBO, und auf sein Gewissen angewiesen. Ein objektives, reproduzierbares Ergebnis kann unter diesen Umständen vom Sachbearbeiter kaum gefordert werden.

Anzahl, Länge und Breite der Rettungswege

Hierfür gelten folgende Regelungen der MVStättV:

- § 1 (Besucheranzahl),
- § 6 (Anzahl und Anordnung der Rettungswege),
- § 7 (Fluchtweglänge und -breite),
- § 9 (Drehtüren).

Nach § 1 (2) MVStättV ergibt sich eine zu berücksichtigende maximale Personenanzahl im Foyer von 1.400 Personen. Es wurden dabei für den Museumsshop sowie den Kassenbereich pauschal 214 m² Grundfläche vom Gesamtwert 915 m² abgezogen, da sich in diesen Bereichen zum Zeitpunkt der größtmöglichen Personenanzahl (After-Work-Party) keine Personen befinden.

Nach § 7 (4) MVStättV ergibt sich somit eine erforderliche Gesamtbreite der Ausgangstüren von 0,60 m Rettungswegbreite x 14 Einheiten zu je 100 Personen = 8,40 m.

Im Bestand ist eine rechnerische Gesamttürbreite von 5,40 m (6 Türen mit je 0,90 m Breite) vorhanden. Die 3 Drehtüren können nach § 9 (6) MVStättV nicht in Ansatz gebracht werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass eine Ausgangsbreite von 0,90 m je Tür für den zu betrachtenden Versammlungsraum mit max. 1.400 Personen nach § 7 (4) MVStättV unzulässig ist. Hier ist eine Mindestbreite von 1,20 m gefordert. Entsprechend der Modulbreite von 0,60 m je 100 Personen sind demnach rechnerisch lediglich 6 Ausgänge mit je 0,60 m im Bestand vorhanden. Dies entspricht einer Gesamtausgangsbreite von 3,60 m, die gemäß § 7 (4) MVStättV für maximal 600 Personen ausreichend ist.

In Bezug auf die Gesamtnotausgangsbreite entsteht ein Defizit von 4,80 m bzw. 800 Personen.

Die zur Verfügung stehenden Notausgänge sind außerdem alle an einer Fassadenseite angeordnet (Bild 2) und erfüllen daher nicht die Anforderungen des § 6 (5) MVStättV.

Die zulässige Rettungsweglänge von 30 m gemäß § 7 (3) MVStättV wird im Foyer eingehalten.

Zum Nachweis ausreichender Rettungswege sind somit Begründungen der vorliegenden Abweichungen im Sinne des § 67 MBO von den §§ 6 (5) und 7 (4) MVStättV im Hinblick auf die Lage, die Einzelbreite und die Gesamtbreite der Notausgänge erforderlich.

Eine solche Kombination von Abweichungen ist formal mit den Möglichkeiten der MBO und der MVStättV nicht kompensierbar.

Das Gebäude mit der beschriebenen Nutzung wäre daher nach den Maßstäben des geltenden Baurechts als nicht genehmigungsfähig einzustufen.

Rauchfreihaltung der Rettungswege

Gemäß § 16 (2) MVStättV genügen für Versammlungsräume mit weniger als 1.000 m² Grundfläche Rauchableitungsöffnungen mit 1% der Grundfläche, Fenster und Türen mit einer freien Öffnungsfläche von 2% der Grundfläche oder maschinelle Rauchabzugsanlagen mit einem Luftvolumenstrom von 36 m³/h je m² Grundfläche.

Eine maschinelle Entrauchung ist im Bestand nicht vorhanden, die Lüftungsanlage des Gebäudes wird im Alarmfall über die BMA abgeschaltet.

Addiert man die Flächen der vorhandenen 6 Entrauchungsöffnungen (Bild 4) mit je 0,44 m² und bringt zusätzlich die vorhandenen 6 Notausgänge (Bild 3) als

Rauchableitungsöffnung mit je 2 m² in Ansatz, so ergibt sich eine Gesamtrauchableitungsfläche von 14,65 m². Notwendig wäre nach MVStättV im Fassadenbereich eine Öffnungsfläche von 2% der Grundfläche, d. h 18,28 m².

Somit ergibt sich ein Defizit von 3,63 m² oder 20 % der geforderten Mindestöffnungsfläche.

Auch hier ist eine Begründung der Abweichung nach § 67 MBO erforderlich. Denkbar wäre z. B. eine brandlastarme Ausführung des Raumes oder organisatorische Brandschutzmaßnahmen im Falle größerer Menschenansammlungen wie eine Brandsicherheitswache, ein Rauchverbot o. Ä..

Die Gestattung dieser Abweichung obliegt wiederum dem Sachbearbeiter bei der zuständigen Bauaufsichtsbehörde mit den bereits erläuterten Problemen.

Zusammenfassung der Bewertung nach MVStättV

Bei einer Bewertung der Bestandssituation nach Musterbaurecht ist festzustellen, dass mehrere Abweichungen erforderlich sind. Diese lassen sich aus formalen Gründen nicht nachvollziehbar kompensieren.

Die Genehmigungsfähigkeit des untersuchten Gebäudes in der ausgeführten Form ist daher bei Anwendung der präskriptiven Anforderungen der MVStättV als nicht gegeben zu betrachten.

LEISTUNGSORIENTIERTE BEWERTUNG MIT INGENIEURMETHODEN

Um die Nachweise bezüglich der zu erwartenden Brandentwicklung, der Rauchausbreitung und der benötigten Evakuierungszeit führen zu können, wurde das Foyer der KAH im CFD-Modell FDS 5.0 [10] des National Institute of Standards and Technology (NIST) abgebildet (vgl. Bild 8).

Die FDS Version 5.0 verfügt zusätzlich über das sogenannte Evac-Tool [11], mit dessen Hilfe die Räumung von Gebäuden auf Basis eines strömungsgelösten Individualmodells simuliert werden kann.

Um wirklichkeitsnahe Ergebnisse zu erzielen, wurde das Foyer mit einer Zellgröße von 0,25 m diskretisiert; es ergeben sich somit insgesamt rund 750.000 Zellen.

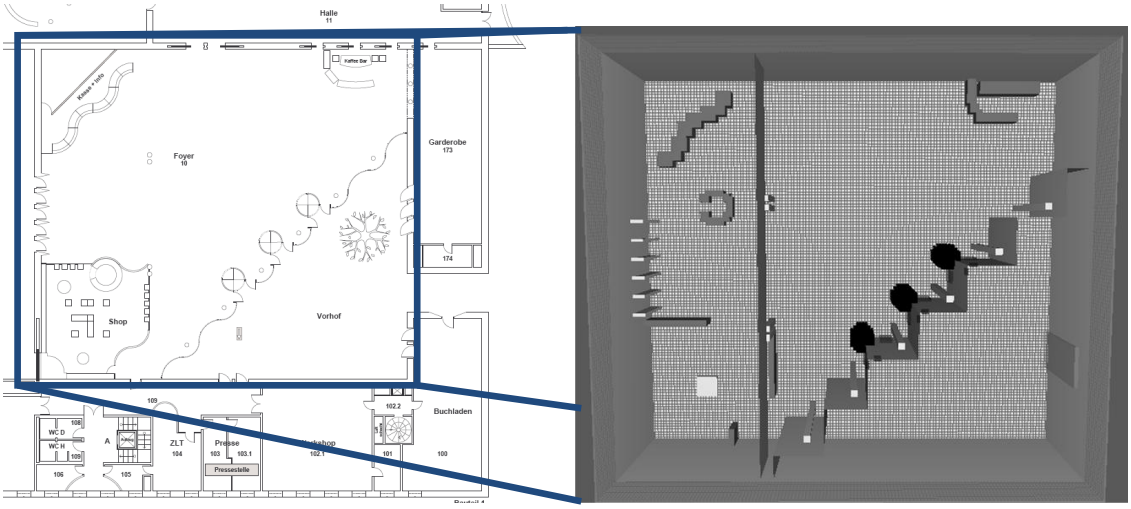


Bild 8 Abbildung des Foyers in FDS

Beim leistungsorientierten Nachweis über Ingenieurmethoden sind folgende Leistungskriterien zu untersuchen:

- Feuerwiderstand der Umfassungsbauteile,
- Mindestanforderungen an Baustoffe,
- Zwei unabhängige Rettungswege,
- Mindestbreiten von Rettungswegen und Ausgängen (abhängig von der Personenanzahl),
- $t_{Räumung}$ gemäß Entfluchtungssimulation,
- Rauchfreie Schichthöhe oder optische Rauchdichte oder Sichtweite,
- $t_{verfügbar}$ gemäß Brandsimulation,
- $t_{Räumung} < t_{verfügbar}$.

Feuerwiderstand der Umfassungsbauteile

Im vorliegenden Beispiel wird der Nachweis der Umfassungsbauteile auf Basis der präskriptiven Anforderungen der MVStättV erbracht (Nachweisstufe 1). Weitergehende Nachweise sind nicht erforderlich.

Mindestanforderungen an Baustoffe

Die Zulässigkeit einer Abweichung von § 33 MVStättV, nach dem die Ausstattung des Foyers mindestens schwerentflammbar sein müsste, wird im Zuge der ohnehin erforderlichen Brandsimulationsrechnungen mit überprüft (s. u.).

Entfluchtungssimulation

Generell setzt sich die Zeit von der Entstehung eines Brandes bis zur vollständigen Räumung eines Gebäudes aus mehreren Zeitabschnitten zusammen:

$$t_{Räumung} = t_{Detektion} + t_{Alarm} + t_{Reaktion} + t_{Flucht} \quad (1)$$

Das Modell FDS+Evac simuliert hiervon lediglich die Fluchtzeit (t_{Flucht}) der Personen.

Die Zeitabschnitte vom Brandbeginn bis zur Brandmeldung ($t_{Detektion}$), von der Meldung bis zur Alarmierung der betroffenen Personen (t_{Alarm}) und von der Alarmierung bis zum Fluchtbeginn ($t_{Reaktion}$) werden entsprechend den vorhandenen Randbedingungen des Gebäudes und der Nutzung individuell auf Basis von [5] gewählt.

Im Foyer wurden zufallsgeneriert 1.362 Personen verteilt. Dies entspricht 2 Personen pro m² simulierter Grundfläche des Foyers (Bild 9).

Die Personen können das Foyer durch die insgesamt 6 Notausgänge (Simulationsbreite je 1,00 m) auf den Vorhof und von dort aus durch den 3 m breiten Durchgang auf das öffentliche Straßenland verlassen.

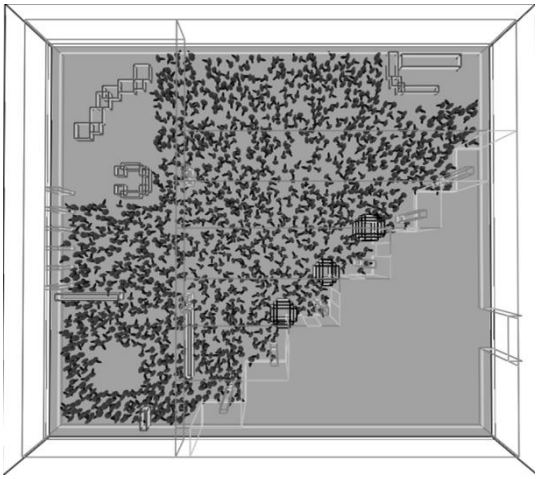
Es ist gut zu erkennen, wie es im Foyer selbst zu erheblichen Stauungen vor den Notausgängen zum Innenhof kommt. Ebenso offensichtlich ist die Staubildung vor dem im Vergleich zur Gesamtbreite der Notausgänge schmalen Durchgang auf das Straßenland.

Die nach [12] geforderten mindestens zehn Simulationen zur Sicherstellung aussagekräftiger Ergebnisse konnten im vorliegenden Beispiel auf drei Simulationsdurchläufe reduziert werden. Dies ergibt sich aus der einfachen, hindernisarmen Raumgeometrie und den daraus resultierenden geringen Streuungen der Fluchtzeit. Eine konservativ bemessene Fluchtzeit t_{Flucht} = 220 s ist als nachgewiesen zu betrachten.

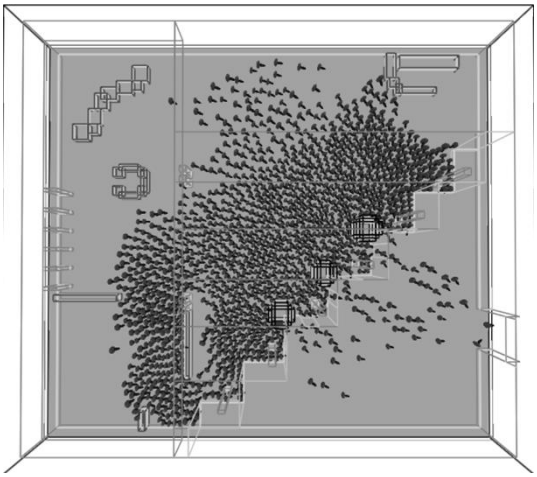
Für die Ermittlung der Gesamträumungszeit ($t_{Räumung}$) können nach [5] die Zeit bis zur Detektion des Brandereignisses ($t_{Detektion}$), die Zeit bis zur Alarmierung der anwesenden Personen (t_{Alarm}) und die Reaktionszeit dieser Personen ($t_{Reaktion}$) in der sogenannten Pre-movement-time zusammengefasst und vereinfacht abgeschätzt werden. Aufgrund der Rahmenbedingungen ergibt sich eine Pre-movemtent-time von 3 Minuten (180 s).

Die nachzuweisende Gesamträumungszeit beträgt somit

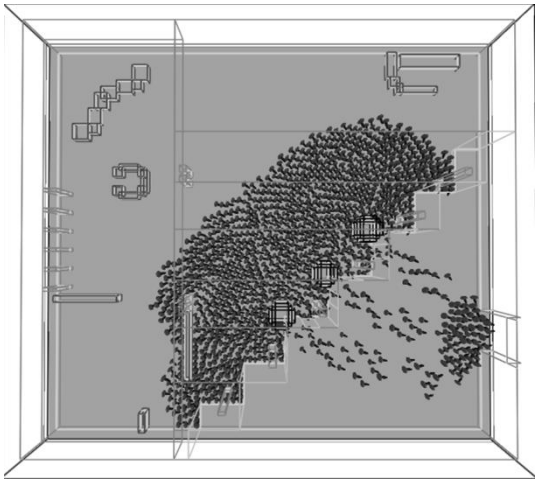
$$t_{Räumung} = t_{Pre\text{-}movement} + t_{Flucht} = 180\ s + 220\ s = 400\ s.$$



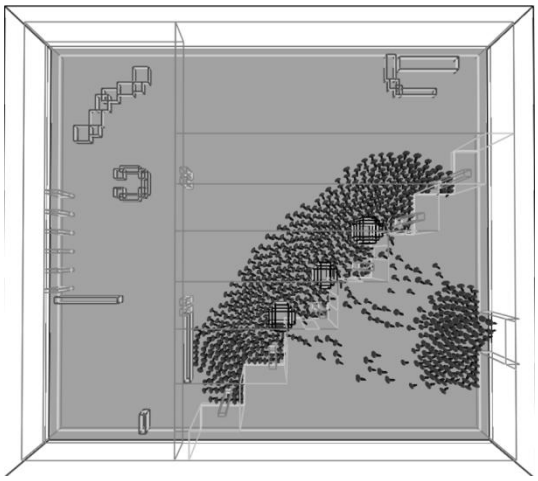
t_{Flucht} = 0s



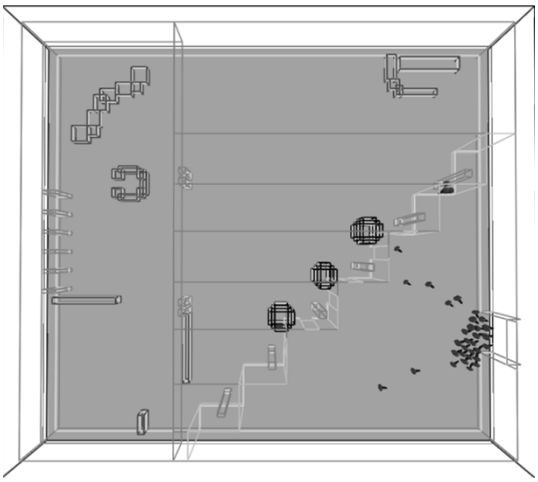
t_{Flucht} = 30s



t_{Flucht} = 60s



t_{Flucht} = 120s



t_{Flucht} = 220s

Bild 9 Evakuierungssimulation zu verschiedenen Zeitpunkten t_{Flucht}

Brandsimulation

Ausgehend davon, dass ein Brandereignis im Bereich des Museumsshops am wahrscheinlichsten ist und dort auch eine Brandausbreitung am ehesten begünstigt wird, wurde der Bemessungsbrand für das Foyer im Museumsshop angenommen.

Die maximale Wärmefreisetzungsrate wurde in Anlehnung an [5] auf $\dot{Q}_{max}$ = 3 MW festgelegt. Die Annahme des Zeitverlaufes der Wärmefreisetzungsrate ist konservativ, da in der Realität eine frühzeitige Begrenzung und eine spätere Abnahme der Wärmefreisetzungsrate aufgrund der Auslösung der Sprinkler zu erwarten sind.

Desweiteren wurde für die Brandausbreitungsphase eine mit der Branddauer t quadratisch anwachsende Wärmefreisetzungsrate $\dot{Q}(t)$ festgelegt (Gl. 2).

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}_0 \cdot \left(\frac{t}{t_g}\right)^2 \qquad (2)$$

mit $\dot{Q}_0$ = 1 MW und t_g = 300 s für eine mittlere Brandentwicklung.

Die gewählte mittlere Brandausbreitungsgeschwindigkeit wird nach [5] auch bei Wohnräumen und bei Kiosken als realistisch betrachtet und liefert somit einen guten Basiswert.

Entsprechend den vorgefundenen Brandlasten (Mischbrandlast aus Holz und Kunststoff zu gleichen Teilen) wurde eine Rauchausbeute (soot yield) von 0,055 angenommen.

Zu- und Abluft wurden im Modell realitätsnah über die Notausgänge und die Entrauchungsöffnungen abgebildet (Bild 10).

Dabei wurde festgelegt, dass die Notausgangstüren (ohne die Drehtüren) durch fliehende Personen nach 60 s geöffnet werden.

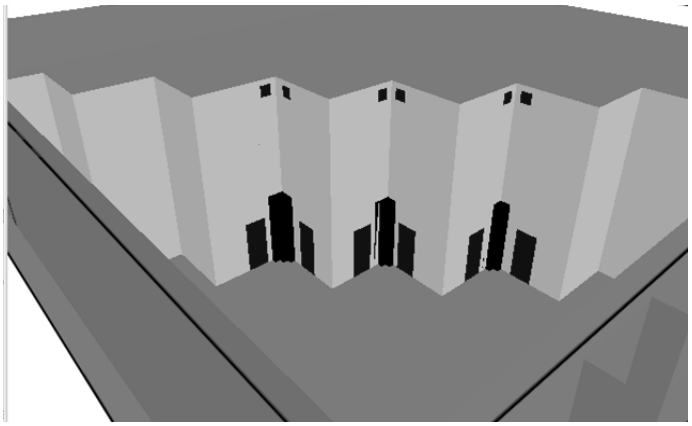


Bild 10 Eingangsbereich mit Notausgängen und Entrauchungsöffnungen (t = 0 s)

Die Entrauchungsöffnungen können im Bestand ausschließlich über das Bedientableau der Feuerwehr geöffnet werden. Eine automatische Ansteuerung über die BMA ist nicht vorhanden. Die Öffnung der Entrauchungsöffnungen erfolgt daher in der Simulation erst nach 8 Minuten (480 s). Dies entspricht unter günstigen Randbedingungen der zu erwartenden Zeit zwischen Brandausbruch und Eintreffen der Feuerwehr, die ortskundig ist und sofort die Entrauchungsmaßnahmen aktiviert.

Als Nachweiskriterium für den Zeitraum, in dem die Rettungswege verfügbar sind ($t_{verfügbar}$) wird die Erkennungsweite (auch Sichtweite genannt) auf Kopfhöhe der fliehenden Personen (konservativ h = 2 m) angesetzt. Dabei ist die Erkennungsweite stark von dem Objekt abhängig, welches noch identifiziert werden soll. Im Beispiel wird die Erkennungsweite auf ein lang nachleuchtendes Rettungswegkennzeichen ausgelegt. Auch diese Annahme ist als konservativ zu bewerten, da im Bestand hinterleuchtete Rettungswegkennzeichen vorhanden sind, die deutlich besser zu erkennen sind.

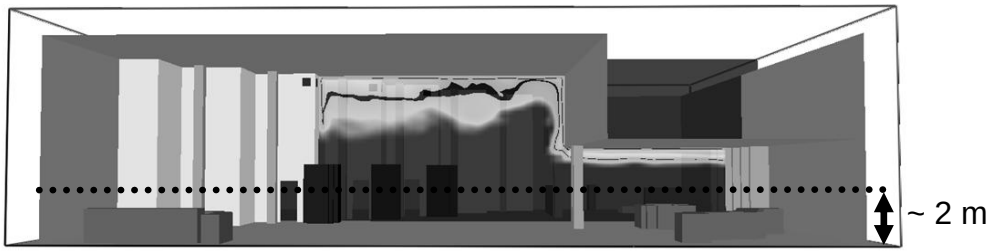
Als Grenzwert wird nach [5] eine Erkennungsweite von 15 m gewählt. Diese ist in Bild 11 schwarz markiert.

Um die Verwendbarkeit der im Bestand vorhandenen brennbaren Bestuhlung im zentralen Cafeteriabereich nachzuweisen (Abweichung von § 33 MVStättV) wurde ein alternatives Szenario mit einem Brandherd (Dimensionierung identisch zum Vorhergehenden) in genau diesem Bereich simuliert (Bild 12).

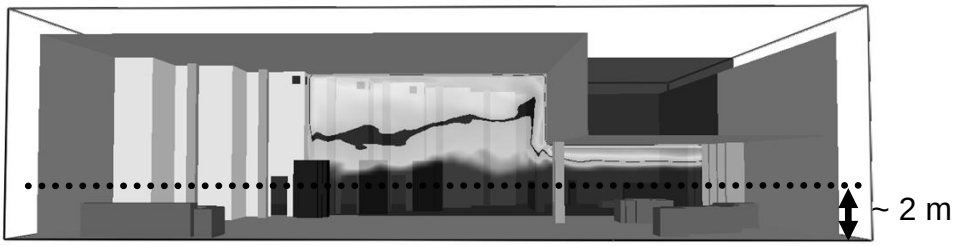
Es ist gut zu erkennen, dass die notwendigen Erkennungsweiten bei der Brandsimulation im Cafeteriabereich deutlich länger erhalten bleiben als bei einem Brand im Museumsshop. Gegen die brennbare Möblierung des Cafeteriabereiches bestehen daher keine Bedenken, da dieser Bereich für die Rauchausbreitung und somit für den Nachweis der Personensicherheit nicht bemessungsrelevant ist.

Abschließend ist eine verfügbare Räumungszeit ($t_{verfügbar}$) von 420 s festzustellen.

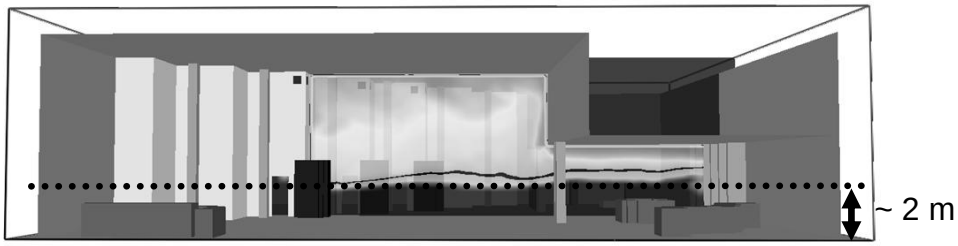
Dieses Zeitfenster ist als konservativ zu betrachten, da weder die geringere erforderliche Erkennungsweite aufgrund der hinterleuchteten Rettungswegkennzeichen noch die Begrenzung der Wärmefreisetzungsrate durch Auslösung der Sprinkleranlage berücksichtigt wurden.



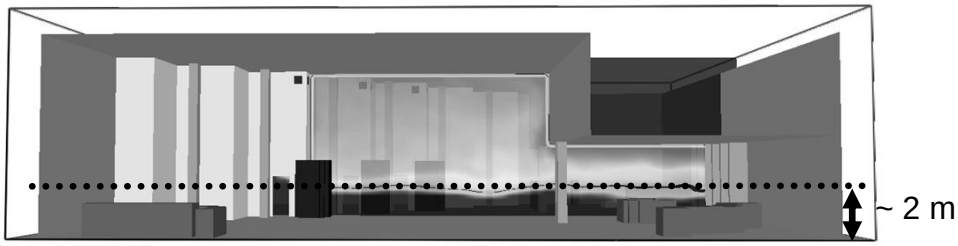
$t_{verfügbar}$ = 240 s



$t_{verfügbar}$ = 300 s



$t_{verfügbar}$ = 360 s



$t_{verfügbar}$ = 420 s

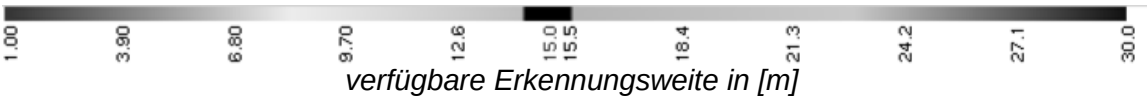
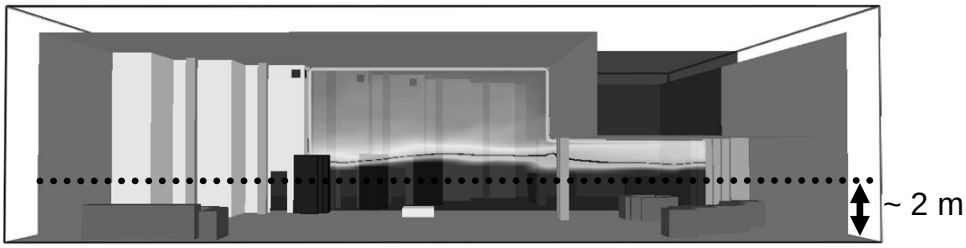
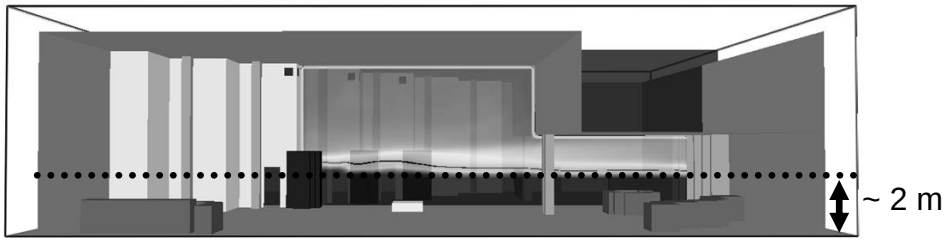


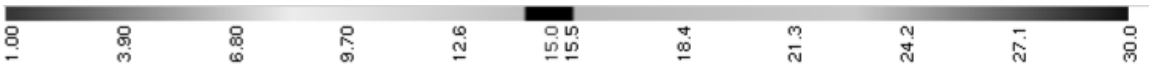
Bild 15 *Brand im Museumsshop: Sicht nach Nord-Osten mit Darstellung der Erkennungsweiten bei y = 15 m mit verschiedenen $t_{verfügbar}$*



$t_{verfügbar}$ = *420s*



$t_{verfügbar}$ = *480s*



verfügbare Erkennungsweite in [m]

Bild 12 Brand im Cafeteriabereich: Sicht nach Nord-Osten mit Darstellung der Erkennungsweiten bei y = 15 m mit verschiedenen $t_{verfügbar}$

Zusammenfassung der Bewertung mit Ingenieurmethoden

Auf Basis des CFD-Programmes FDS 5.0 und des Programmzusatzes Evac wurden folgende Zeiten nachgewiesen:

- $t_{Räumung}$ = 400 s
- $t_{verfügbar}$ = 420 s

Nachweis: $t_{Räumung}$ = 400 s < $t_{verfügbar}$ = 420 s

Der erforderlichen Nachweise zur Personensicherheit wurden im Beispiel mittels leistungsorientierter Ingenieurmethoden erbracht. Die Genehmigungsfähigkeit wäre somit gegeben, wenn leistungsorientierte Nachweise rechtlich als gleichwertige Alternativlösung zugelassen wären.

Da für beide Zeitkalkulationen ($t_{Räumung}$ und $t_{verfügbar}$) konservative Ansätze gewählt wurden, sind zusätzliche Sicherheitsbeiwerte im vorliegenden Fall nicht zwingend erforderlich. Es ist jedoch anzumerken, dass das Ergebnis relativ knapp ausfällt, so dass über eine Verbreiterung der bestehenden Notausgänge bzw. über die Nachrüstung weiterer Notausgänge nachgedacht werden sollte.

VERGLEICH DER ALTERNATIVEN NACHWEISFÜHRUNGEN

Im direkten Vergleich der beiden vorgestellten Nachweismethoden fällt zunächst auf, dass die Genehmigungsfähigkeit bei einer Betrachtung nach MBO und MVStättV nicht gegeben ist, wohingegen der Nachweis über leistungsorientierte Ingenieurmethoden gelingt.

Das Beispiel zeigt auch, dass die Grenzen präskiptiver bauaufsichtlicher Anforderungen bei der Bearbeitung von komplexen Sonderbauten rasch erreicht werden. Dies liegt vor allem daran, dass die materiellen baurechtlichen Anforderungen nur unter erschwerten Bedingungen und zusätzlichen Auflagen Abweichungen oder Befreiungen ermöglichen.

Im Gegensatz dazu sind Nachweise mit Ingenieurmethoden im Rahmen zielorientierter Brandschutzkonzepte deutlich flexibler und objektiver. Die darin verwendeten Annahmen und Eingangsdaten sowie die erzielten Ergebnisse sind quantitativ fassbar und somit objektiv bewertbar und untereinander vergleichbar. Allerdings sind erhöhte Anforderungen an die Kenntnisse, Erfahrungen und die Verantwortung des bearbeitenden Brandschutzingenieurs zu stellen, da die Qualität der Ergebnisse wesentlich von der Auswahl der repräsentativen Bemessungsbrände, Personenanzahlen usw. und der für die spezielle Fragestellung geeigneten Modelle abhängt.

FAZIT

Insgesamt wird das Erfordernis, Nachweise mit Ingenieurmethoden als gleichwertige Alternative zuzulassen, mit zunehmender Komplexität und freier architektonischer Gestaltung von Gebäuden, insbesondere von Sonderbauten, immer drängender. Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte sind flexibel einsetzbar und schon heute unverzichtbar, um bei Gebäuden, die vom Standard abweichen, die Schutzziele des Brandschutzes zuverlässig zu erreichen.

Hierfür müsste die Anwendbarkeit von leistungsorientierten Nachweisen mit Ingenieurmethoden in den bauordnungsrechtlichen Brandschutzvorschriften konkreter geregelt werden. Gute Ansätze hierfür liefern die MIndBauRL [13] mit ihren drei alternativen Nachweisarten sowie der § 16 (2) MVStättV, in dem der Nachweis einer raucharmen Schicht gefordert wird.

Die Erstellung leistungsorientierter Brandschutzkonzepte wird derzeit in der Praxis dadurch erschwert, dass individuelle Nachweise mit Ingenieurmethoden nur bei Abweichungen von präskriptiven bauordnungsrechtlichen Vorschriften geführt werden und von den Bauaufsichtsbehörden häufig als „Notlösung“ oder „Kompromiss“ aufgefasst werden.

Wünschenswert wäre die rechtliche Gleichbehandlung von Standardmaßnahmen entsprechend den materiellen Anforderungen des geltenden Baurechts auf der einen Seite und individuellen, leistungsorientierten Maßnahmenkonzepten

auf Basis nachvollziehbarer ingenieurmäßiger Nachweise auf der anderen Seite. Hierzu müssten die Brandschutzvorschriften neu strukturiert und flexibilisiert werden, so wie es im benachbarten Ausland (z. B. in der Schweiz und in Großbritannien) bereits geschehen ist und sich dort bestens bewährt hat.

LITERATUR

[1] Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002; zuletzt geändert Oktober 2008, herausgegeben von der Bauministerkonferenz.

[2] Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung – MVStättV), Stand Juni 2005.

[3] Hosser, D.; Albrecht, C.; Klinzmann, C.; Mahlmann, C.; Weilert, A.: Umsetzung leistungsorientierter Brandschutzvorschriften, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben BBR / Z 6 – 10.08.17.7-07.8. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, März 2009.

[4] Hosser, D.: Mehr Flexibilität durch leistungsorientierte Brandschutzvorschriften. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ´08, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 202, Braunschweig 2008, ISBN 978-3-89288-185-8.

[5] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdb TB 04/01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), 2009.

[6] Hohm, V., Albrecht, C.: Beispiele zur Anwendung des Leitfadens bei der Erstellung von Brandschutznachweisen. In: Hosser, D. (Hrsg): Braunschweiger Brandschutz-Tage ´09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, Braunschweig 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[7] VKF/AEAI; Brandschutznorm; Stand 20.10.2008; http://bsvonline.vkf.ch/pdf/Norm/Norm_d.pdf; Stand: 26.03.2009.

[8] Approved Document B (Fire Safety), Edition 2006.

[9] Brandschutzleitfaden Baulicher Brandschutz für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von Gebäuden des Bundes, 3. Auflage, Stand Juli 2006.

[10] Fire Dynamics Simulator (Version 5) User´s Guide, McGrattan et al..

[11] Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac, version 5. Technical Reference and User´s Guide, Korhonen & Hostikka.

[12] RiMEA - Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen, Version 2.2.0, 2009.

[13] Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau, Muster-Industriebaurichtlinie (MIndBauRL), Fassung März 2000.

ÜBERGREIFENDES SICHERHEITSKONZEPT FÜR BRANDSCHUTZNACHWEISE MIT INGENIEURMETHODEN

Astrid Weilert
Hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH, Berlin
Cornelius Albrecht
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EINLEITUNG

Die Bemessung von Bauteilen für den Brandfall ist derzeit durch die Landesbauordnungen, Durchführungsverordnungen und Sonderbauverordnungen geregelt. In Abhängigkeit von der Art des Bauteils, der Gebäudehöhe bzw. Gebäudeklasse und nach den Sonderbauverordnungen ggf. noch in Abhängigkeit vorhandener anlagentechnischer Maßnahmen werden präskriptive Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile gestellt. Diese Anforderungen wie feuerhemmend, hochfeuerhemmd und feuerbeständig werden auf Grundlage der DIN 4102 [1] umgesetzt. Die DIN 4102 legt die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) als Kurve der auf die Bauteile einwirkenden Raumtemperatur fest. Dabei wird die tatsächliche Temperaturentwicklung, die durch die im Gebäude vorhandenen Brandlasten und sonstigen Randbedingungen bestimmt wird, außer Acht gelassen. Die Bemessung der Bauteile nach DIN 4102-4 erfolgt anhand von Tabellen, die auf Basis von Brandversuchen erstellt wurden. Die Tabellen decken jedoch nur einen begrenzten Anwendungsbereich ab. Außerhalb dieses Anwendungsbereiches wird in der Praxis mit bauaufsichtlichen Zulassungen oder Prüfzeugnissen oder mit Sonderlösungen auf Basis rechnerischer Nachweise gearbeitet, die nur mit Zustimmung im Einzelfall der obersten Bauaufsichtsbehörde angewendet werden dürfen.

Mit der geplanten Aufnahme der Brandschutzteile der Eurocodes in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen im Jahr 2010 und der darauf folgenden Einführung durch die Bundesländer werden Regelungen zur Heißbemessung auch in Deutschland anwendbar sein.

In der Musterliste der Technischen Baubestimmungen [2] sind bislang, neben der DIN 4102 [1] mit ihren diversen Teilen und Anlagen, die Brandschutzteile der Eurocodes 2 bis 5 als Vornormen (DIN V ENV) aus dem Jahr 1997 enthalten. Diese sind grundsätzlich noch anwendbar, entsprechen aber nicht mehr dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.

Der Brandschutzteil 1-2 des Eurocodes 1 [3] regelt die Brandeinwirkungen auf Tragwerke und liefert Grundlagen für die Festlegung von Bemessungsbränden. Das zugehörige Sicherheitskonzept findet sich im Informativen Anhang E. Es beschreibt, wie das Bemessungsbrandszenario festgelegt werden sollen. Dabei können auch abwehrende und anlagentechnische Maßnahmen, ähnlich wie in der DIN 18230-1 [4], berücksichtigt werden. Eine Reihe europäischer Länder,

darunter Großbritannien, Dänemark und Deutschland, lehnen die Anwendung dieses Sicherheitskonzeptes wegen zweifelhafter mathematischer Grundlagen bei der multiplikativen Verknüpfung von bis zu 10 Teilsicherheits- und Abminderungsbeiwerten ab (vgl. [5]).

Um die rechnerischen Nachweisverfahren in den Brandschutzteilen der übrigen Eurocodes, die durchweg auf soliden technischen Grundlagen basieren, auch in Deutschland anwenden zu können, wurde vom Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) ein neues, übergreifendes Sicherheitskonzept [6] entwickelt. Die Ergebnisse sind in den Nationalen Anhang zum Eurocode 1 Teil 1-2, die DIN EN 1991-1-2/NA [7], eingeflossen, der gleichzeitig mit den Nationalen Anhängen zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 2 bis 5 im Juni 2009 als Entwurf veröffentlicht wurde. Nach Ablauf der Einspruchsfrist im November 2009 werden unter der Voraussetzung, dass nicht noch wesentliche Änderungen vorgenommen werden müssen, die Nationalen Anhänge im März 2010 als Weißdruck erscheinen.

In diesem Beitrag werden die Grundlagen des neuen Sicherheitskonzeptes vorgestellt und das semi-probabilistische Sicherheitsformat für die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Tragwerken sowie die anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte erläutert. Die praktische Anwendung wird anschließend an einem Beispiel gezeigt.

ZIELE DES SICHERHEITSKONZEPTES

Nach [6] muss das übergreifende Sicherheitskonzept für

- unterschiedliche Bauweisen (Beton, Stahl, Verbund, Holz, Mauerwerk),
- unterschiedliche Nutzungsarten (normale Gebäude und Sonderbauten),
- unterschiedliche Brandeinwirkungen (Normbrand- und Naturbrandbeanspruchung) und
- unterschiedliche rechnerische Nachweisverfahren (vereinfachte und allgemeine Rechenverfahren)

gleichermaßen anwendbar sein und folgende brandschutztechnische Randbedingungen berücksichtigen:

- Brandentstehungshäufigkeit (nutzungsabhängig),
- Brandausbreitungswahrscheinlichkeit (nutzungsabhängig),
- Verfügbarkeit und Wirksamkeit anlagentechnischer Maßnahmen,
- Verfügbarkeit und Wirksamkeit der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr.

Die Eingangsgrößen für die Ermittlung der Brandeinwirkungen weisen Streuungen, statistische Unsicherheiten und ggf. Modellunsicherheiten auf, die durch

geeignete Wahl von Sicherheitsbeiwerten kompensiert werden müssen, um ein zulässiges Mindestsicherheitsniveau zu erreichen. Das Sicherheitskonzept muss auch die in den europäischen Normen - unter übergeordneten Gesichtspunkten - getroffenen Festlegungen zum Sicherheitsformat berücksichtigen und sinnvoll integrieren.

RANDBEDINGUNGEN DER EUROCODES FÜR DAS SICHERHEITSKONZEPT

In DIN EN 1990 [8] – auch "Eurocode 0" genannt - werden die Grundlagen der Tragwerksplanung bauart- und baustoffübergreifend geregelt. Wesentliches Prinzip ist die Beschreibung der Nachweisgleichungen durch Grenzzustände (z. B. Einhaltung eines Bemessungsmomentes) mit streuenden Einflussgrößen. Für diese Einflussgrößen, z. B. Verkehrslasten, Wind und Materialfestigkeiten, werden sog. Bemessungswerte vorgegeben, die in der Regel aus charakteristischen Werten und Teilsicherheitsbeiwerten berechnet werden. Die Bemessungswerte bzw. die Teilsicherheitsbeiwerte sollen so festgelegt werden, dass der betrachtete Grenzzustand, z. B. "Versagen des Bauteils", nur mit einer sehr geringen Versagenswahrscheinlichkeit überschritten wird.

Anhaltswerte für die akzeptierte Versagenswahrscheinlichkeit und den damit verknüpften Zuverlässigkeitsindex werden in [8] in Abhängigkeit von den möglichen Schadensfolgen beim Überschreiten des Grenzzustandes und zugeordneten drei Zuverlässigkeitsklassen angegeben (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Anhaltswerte für akzeptierte Versagenswahrscheinlichkeiten p_f und zugehörige Werte des Zuverlässigkeitsindexes β, nach [8]

Zuverlässigkeitsklasse	Versagenswahrscheinlichkeit p_f und Zuverlässigkeitsindex β			
	Bezugszeitraum 1 Jahr		Bezugszeitraum 50 Jahre	
RC 3	1.0E-07	5.2	8.5E-06	4.3
RC 2	1.3E-06	4.7	7.2E-05	3.8
RC 1	1.3E-05	4.2	4.8E-04	3.3

Übliche Hochbauten (gemäß MBO [9]) können in Zuverlässigkeitsklasse RC2 eingestuft werden. Die Klasse RC 1 kommt bei Gebäuden geringer Höhe bis zur Gebäudeklasse 3 in Betracht, bei Sonderbauten mit größerem Personenaufkommen wie Versammlungsstätten, großen Einkaufszentren, Hochhäusern oder Krankenhäusern und Altenpflegeheimen kann die Klasse RC 3 erforderlich sein. Hier besteht noch Ermessensspielraum für Entscheidungen der Bauaufsichtsbehörden.

Der Brand stellt eine außergewöhnliche Bemessungssituation dar, die sehr selten eintritt. Die geringe Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadenfeuers

deckt bereits einen großen Teil der insgesamt erforderlichen Zuverlässigkeit ab. Auf der Einwirkungsseite dürfen daher die für die Bemessung bei Raumtemperatur festgelegten Teilsicherheitsbeiwerte in der Regel entfallen und als Bemessungswerte unmittelbar die charakteristischen Werte der Eigengewichtslasten und sog. quasi-ständige Werte weiterer veränderlicher Einwirkungen eingesetzt werden [8]. Auf der Widerstandsseite werden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Materialkennwerte einheitlich mit $\gamma_M = 1.0$ festgelegt, um unterschiedliche Vorgaben für verschiedene Bauweisen und Baustoffe zu vermeiden.

Der fehlende Teil der erforderlichen Zuverlässigkeit wird bei der Brandschutzbemessung über die Definition einer hinreichend konservativen Bemessungsbrandeinwirkung sichergestellt. Das entspricht der bisherigen Praxis, die Brandeinwirkung über die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2 [1] und eine bauordnungsrechtlich geforderte, auf der sicheren Seite liegende Feuerwiderstandsdauer zu definieren. Die ETK gibt dabei Brände im normalen Hochbau, d. h. Wohn- und Bürogebäude und Gebäude mit vergleichbarer Nutzung, im Mittel wieder, der erforderliche Sicherheitszuschlag für Streuungen und Ungewissheiten liegt primär in der konservativ vorgegebenen Branddauer.

Im Falle der Brandschutzbemessung für einen Naturbrand gibt es keine zeitlich abgestufte Branddauer, sondern das betrachtete Bauteil muss die Funktionskriterien über den gesamt Brandverlauf erfüllen. Bei den folgenden Überlegungen zur Zuverlässigkeit im Brandfall werden die Einflussgrößen des Brandes und der Bauteilbemessung als streuende Größen (sog. Basisvariablen) eingeführt, deren statistische Kennwerte aus der Literatur entnommen oder – wenn nicht vorhanden - sinnvoll angenommen werden.

ZUVERLÄSSIGKEIT VON BAUTEILEN IM BRANDFALL

Wie bereits erwähnt, hängt die im Brandfall noch erforderliche Zuverlässigkeit von tragenden und/oder raumabschließenden Bauteilen von der Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} eines Schadenfeuers in einer Nutzungseinheit eines Gebäudes und den mit dem brandbedingten Versagen der Bauteile verbundenen Schadensfolgen ab.

Die Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} von mindestens einem fortentwickelten Brand in einem abgetrennten Raumbereich mit der Grundfläche A im Bezugszeitraum von 1 Jahr ergibt sich zu

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \tag{1}$$

mit

p1 jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Entstehungsbrandes in der Nutzungseinheit [1/a];

p_2 Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr;

p_3 Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch eine automatische Löschanlage im Anforderungsfall.

Die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_1 von mindestens einem Entstehungsbrand in der Nutzungseinheit kann nach Bub et al. [10] unter Annahme einer von der Grundfläche unabhängigen flächenbezogenen Brandentstehungshäufigkeit λ_1 nach Gl. (2) bestimmt werden. Diese ergibt sich aus den in Brandstatistiken des In- und Auslands in der Regel enthaltenen Angaben zu absoluten Häufigkeiten von (gemeldeten) Bränden in Gebäuden bestimmter Nutzungen pro Jahr. Sofern die aufsummierte Geschossfläche bekannt ist, kann die jährlichen Auftretensrate λ_1 von Entstehungsbränden in entsprechend genutzten Gebäuden je Quadratmeter Geschossfläche angegeben werden. Alternativ kann sie nach Gl. (3) unter Berücksichtigung der meist unterproportional mit der Größe der Nutzungseinheit wachsenden Brandentstehungshäufigkeit bestimmt werden:

$$p_1 = 1 - \exp(\lambda_1 \cdot A) \approx \lambda_1 \cdot A \tag{2}$$

$$p_1 = 1 - \exp(a \cdot A^b) \approx a \cdot A^b \tag{3}$$

mit

A Grundfläche der brandschutztechnisch abgetrennten Nutzungseinheit [m2];

λ_1 mittlere jährliche Auftretensrate von Entstehungsbränden je Quadratmeter Grundfläche [1/(m^2•a)];

a Basiswert der bezogenen Brandentstehungshäufigkeit je Quadratmeter [1/(m^2•a)];

b Exponent, der von der Art der Nutzung und der Unterteilung der Nutzungseinheit (Raumzellen) abhängt.

Der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{fi} eines Bauteils oder Tragwerks im Brandfall kann aus der akzeptierten Versagenswahrscheinlichkeit p_f von Bauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (nach Tabelle 1) und der jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} von mindestens einem vollentwickelten Brand unter der Berücksichtigung der verschiedenen brandschutztechnischen Maßnahmen und der Feuerwehr (nach Gl. (1)) abgeleitet werden:

$$p_f = \Phi(-\beta) \tag{4}$$

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} \tag{5}$$

$$\beta_{fi} = -\Phi^{-1}(p_{f,fi}) \tag{6}$$

Dabei ist $\Phi(\ldots)$ die Funktion der Standard-Normalverteilung und $\Phi^{-1}(\ldots)$ deren inverse Funktion.

EINGANGSGRÖSSEN UND STATISTISCHE KENNWERTE

Brandentstehungshäufigkeit p_1

Die Brandrisiken sind nutzungsabhängig. Sie beruhen einerseits auf der Brandentstehungshäufigkeit und Brandausbreitungswahrscheinlichkeit und andererseits auf der mit der Ausbreitung von Feuer und Rauch einhergehenden Gefährdung von Personen und Sachwerten. Als Grundlage für eine sinnvolle Differenzierung nach der Brandentstehungshäufigkeit können Daten aus der internationalen Literatur dienen, die allerdings nicht einheitlich definiert sind. Eine einheitliche Feuerwehr- und Brandstatistik in Deutschland konnte leider immer noch nicht realisiert werden.

Bezüglich der Häufigkeit von Entstehungsbränden bezogen auf die Nutzfläche der Gebäude findet man z. B. gut dokumentierte Daten in [11], [12]. Die flächenbezogenen Werte liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie ältere Daten aus England, Holland und USA, die Grundlage der Auslegungssystematik nach Bub et al. [10] waren. In Tabelle 2 sind die Angaben zusammengestellt, die für die Kalibrierung des Sicherheitskonzepts in [6] verwendet wurden und in den Nationalen Anhang [7] übernommen wurden.

Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung p_2 und p_3

Mit einer signifikanten Beeinträchtigung der Konstruktion ist nur zu rechnen, wenn ein Entstehungsbrand nicht durch eine Löschanlage oder die Feuerwehr eingedämmt, bzw. gelöscht wird und es zu einem vollentwickelten Brand kommt. Mit p_2 wird daher die Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr berücksichtigt und mit p_3 die Ausfallwahrscheinlichkeit der vom Feuerwehreinsatz (statistisch) unabhängigen Löschanlage.

Für die Ausfallwahrscheinlichkeit von Löschanlagen werden in Deutschland seitens der Sachversicherer sehr geringe Werte genannt, z. B. p_3 = 0,02 für Sprinkleranlagen, während internationalen Veröffentlichungen eher mit Werten um p_3 = 0,1 gerechnet wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Hersteller nur das Versagen der Löschanlage selbst für seine Werte annimmt (kein Wasser am Sprinklerkopf), während international anerkannten Werte auch ein Auslösen des Sprinklers berücksichtigen, der keinen Löscherfolg hat. Außerdem werden dabei auch alte Löschanlagen im Bestand mit berücksichtigt, die keine optimale Wartung erfahren.

Tabelle 2 Nutzungsabhängige Brandentstehungshäufigkeiten (nach [6])

Nutzung	Mittlere Auftretensrate je m^2 und Jahr	Auftretenswahrscheinlichkeit je Nutzungseinheit und Jahr		
		$p_1 = a \cdot Ab$		p_1
	λ_1 [1/(m^2·a)]	a [1/(m^2·a)]	b	[1/a]
Wohngebäude	4,7E-6	4,8E-5	0,9	3.0E-3
Bürogebäude	2,1E-6	5,9E-5	0,9	6.2E-3
Krankenhäuser, Pflegeheime	5,6E-6	7,0E-4	0,75	3,0E-1
öffentliche Versammlungsstätten	3,8E-6	9,7E-5	0,75	2.0E-2
private Versammlungsstätten			1,0	1.2E-1
Schulen Bildungseinrichtungen	1,9E-6	2,0E-4	0,75	4.0E-2
Hotels, Beherbergungsstätten		8,0E-5	1,0	3,7E-2
Geschäftshäuser	4,7E-6	6,6E-5	1,0	8,4E-3
Industriegebäude (Produktion)	6,4E-6	1,7E-3	0,53	4.4E-2
Lagergebäude	1,4E-5	6,7E-4	0,5	1.3E-2

In Tabelle 3 sind nach englischen Daten aus [11] die Anteile der Brände am Tag und in der Nacht angegeben, bei denen es zu einer Ausbreitung über den Raum der Brandentstehung hinaus kam. Dabei hängt es selbstverständlich von der jeweiligen Raumaufteilung und –größe ab, welche Brandfläche tatsächlich betroffen war bzw. wie die Brandgröße einzustufen war.

Tabelle 3 Nutzungsabhängiger Anteil der Brände mit Ausbreitung über den Ursprungsraum hinaus, nach [11]

Nutzung	Anteil der Brände mit Ausbreitung über den Raum der Brandentstehung hinaus			
	eingeschossig		mehrgeschossig	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Etagenwohnungen			0,10	0,15
Wohngebäude			0,10	0,19
Büros			0,08	0,21
Geschäfte	0,10	0,18	0,13	0,16
Versammlungsstätten	0,19	0,44	0,13	0,25
Industriegebäude	0,12	0,15	0,18	0,30
Lagergebäude	0,28	0,46	0,30	0,56

Brandlastdichte

Für die Dauer des nicht beeinflussten Brandes und damit auch für die Höhe der Temperaturen sind die Brandlastdichte und die Wärmefreisetzungsrate maßgebend. Diese sind wichtige Parameter für den erforderlichen Feuerwiderstand der Konstruktion.

In Tabelle 4 sind Brandlastdichten für verschiedene Nutzungen auf Basis einer Auswertung internationaler Quellen zusammengestellt, die auch für die Herleitung des Sicherheitskonzeptes in [6] verwendet wurden. Unter Berücksichtigung der Streuungen wird in Anlehnung an das Sicherheitskonzept der DIN 18230-1 [4] die 90%-Fraktile als charakteristischer Wert definiert.

Tabelle 4 Nutzungsabhängige Brandlastdichten nach [6]

Nutzung	Brandlastdichte [MJ/m2]				
	Mittelwert	Standard-abweich.	80 %-Fraktile	90 %-Fraktile	95 %-Fraktile
Wohnen	780	234	948	1085	1217
Krankenhaus (Zimmer)	230	69	280	320	359
Hotel (Zimmer)	310	93	377	431	484
Bücherei	1500	450	1824	2087	2340
Büro	420	126	511	584	655
Schule (Klassenzimmer)	285	85,5	347	397	445
Einkaufszentrum	600	180	730	835	936
Theater (Kino)	300	90	365	417	468
Verkehr (öffentl. Bereich)	100	30	122	139	156
Industrie – Lager *)	1180		1800	2240	2690
Industrie – Produktion *)	300		470	590	720

**) zusätzliche Angaben nach [11] basierend auf einer Log-Normalverteilung*

Offensichtlich decken die Brandlastdichten in Wohngebäuden die Verhältnisse bei vielen anderen Nutzungen auf der sicheren Seite ab. Unter diesem Gesichtspunkt gibt es grundsätzlich keinen Anlass, die Anforderungen der Bauordnung, die bekanntlich auf Wohngebäude und vergleichbar genutzte Gebäude zugeschnitten sind, hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer der Bauteile zu verschärfen, weil die Brandverläufe und Brandwirkungen nicht ungünstiger sein werden. Eine Ausnahme stellen Bibliotheken und Lagerräume dar, bei denen die Mittelwerte deutlich höhere mittlere Brandlastdichten als in Wohnungen und auch größere Streuungen aufweisen.

Als weitere Parameter können die flächenbezogene Wärmefreisetzungrate und die Brandentwicklungsdauer der Tabelle 5 entnommen werden, die auch in den

Nationalen Anhang [7] aufgenommen wurde. Die angegebenen Werte der flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate werden im Sicherheitskonzept als charakteristische Werte eingeführt, die als 90 %-Fraktile definiert sind.

Tabelle 5 Parameter t_α für die Brandentwicklungphase und maximale flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate RHR_k (Rate of Heat Release) für die stationäre Phase bei verschiedenen Nutzungen nach [6]

Nutzung	Brandausbreitung	t_α [s]	RHR_k [kW/m^2]
Wohnung	mittel	300	250
Krankenhaus (Zimmer)	mittel	300	250
Hotel (Zimmer)	mittel	300	250
Bibliothek	schnell	150	500
Büro	mittel	300	250
Klassenzimmer einer Schule	mittel	300	250
Einkaufszentrum	schnell	150	250
Theater (Kino)	schnell	150	500
Verkehr (öffentlicher Bereich)	langsam	600	250

UNTERSUCHTE BAUTEILE UND SZENARIEN

Um ein möglichst breites Spektrum an Bauteilen und Gebäudenutzungen abdecken zu können und gleichzeitig die notwendige Anzahl der Berechnungen sinnvoll einzugrenzen wurde das Sicherheitskonzept auf Basis folgender Gebäudetypen hergeleitet:

- Wohn- und Bürogebäude mit 5 Geschossen (Zuverlässigkeitsklasse RC 2)
- Verkaufs- und Versammlungsstätte mit hohem Personenaufkommen (Zuverlässigkeitsklasse RC 3)
- Erdgeschossiges Industriegebäude mit wenigen, ortskundigen Nutzern (Zuverlässigkeitsklasse RC 1)

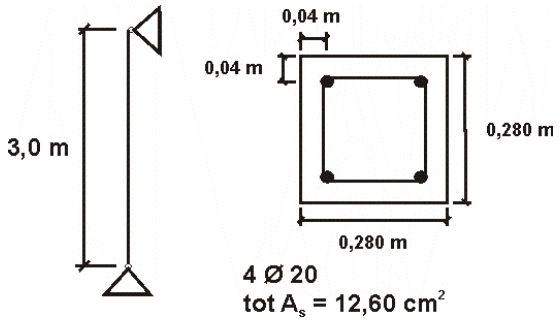
Für jede Nutzungsart wurden repräsentative Raum- und Gebäudegeometrien gewählt, die im Detail in [6] einzusehen sind.

Da das Sicherheitskonzept für alle Bauarten der Eurocodes gültig sein soll, wurden für die Herleitung repräsentative Bauteile in Beton-, Stahl- und Holzbauweise untersucht.

Die Stahlbeton- und Stahlbauteile wurden zunächst nach den Brandschutzteilen der Eurocodes 2, 3 und 5 für die Feuerwiderstandsklasse R 90 bemessen. Abweichend davon wurden die Holzbauteile nur für R 60 ausgelegt, da für die Feuerwiderstandsklasse R 90 sehr große, unwirtschaftliche Querschnittsabmessungen oder eine Brandschutzbekleidung erforderlich wären.

Stellvertretend für die untersuchten Bauteile und Nutzungen sollen hier beispielhaft die Bemessungen einer Stahlbetonstütze und eines bekleideten Stahlträgers für die Feuerwiderstandsklasse R 90 vorgestellt werden. Die Stahlbetonstütze soll zu einer Wohn-/Bürogebäude und der bekleidete Stahlträger zu einem Industriegebäude gehören.

Die Stütze von 3 m Länge ist in Bild 1 dargestellt, wegen der Kennwerte für den Nachweis siehe [6].



Beton C30/37

BSt 500S

N_{Rd} = 2384 kN

N_{gk} = 1197 kNm

N_{qk} = 513 kNm

Bild 1 Querschnitt und Beanspruchung Stahlbeton-Innenstütze (monolithisch mit Geschossdecken verbunden) [6]

Für den Stahlträger wurden ein Profil HE400A aus Baustahl S235 und eine kastenförmige Bekleidung aus Gipskarton-Feuerschutzplatten gewählt, die Bekleidungsdicke wurde nach Eurocode 3 Teil 1-2 [14] zu d_p = 19 mm ermittelt.

ZUVERLÄSSIGKEITSANALYSEN FÜR DIE BAUTEILE

Stahlbetonstütze im Wohn- oder Bürogebäude

Der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{fi} ergibt sich wie oben beschrieben nach den Gleichungen (1) bis (6) auf der Grundlage einer Brandentstehung in einer Nutzungseinheit von 200 m² Grundfläche und einer Versagenswahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch die Nutzer und die Feuerwehr (in Anlehnung an Tabelle 3) von $p_2 \approx 0{,}2$:

$$p_1 \; A = 1 - \exp \; \lambda_1 \cdot A \approx \lambda_1 \cdot A = 1 - \exp \; 2{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \approx 4{,}2 \cdot 10^{-4}$$

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 = 8{,}4 \cdot 10^{-5}$$ mit $p_2 = 0{,}2$

$$p_f = \Phi(-\beta) = 1{,}3 \cdot 10^{-6}$$ für Zuverlässigkeitsklasse RC 2

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} = \frac{1{,}3 \cdot 10^{-6}}{8{,}4 \cdot 10^{-5}} = 1{,}55 \cdot 10^{-2}$$

$$\beta_{fi} = -\Phi^{-1}(p_{f,fi}) = 2{,}16$$

Temperaturzeitkurven

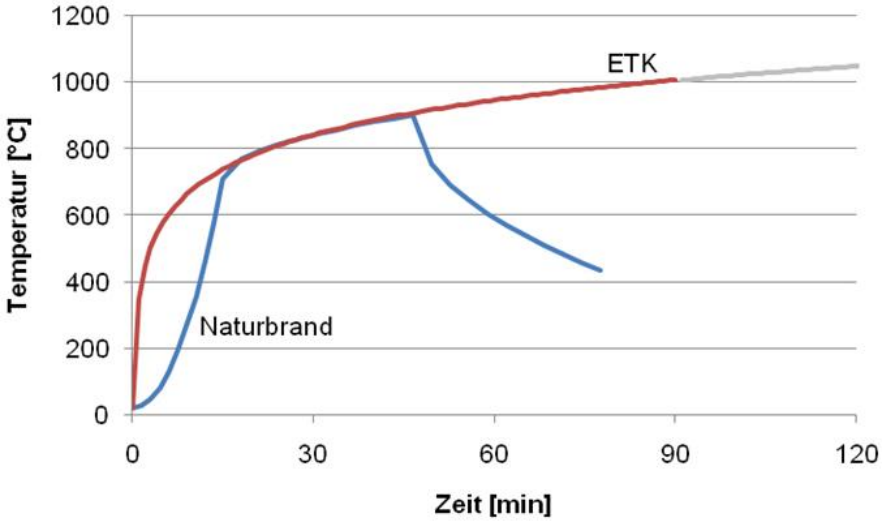


Bild 2 Brandraumtemperatur beim Normbrand nach ETK und beim natürlichen Brand in einem Raum von 36 m² Grundfläche [6]

Stahlbetonstütze

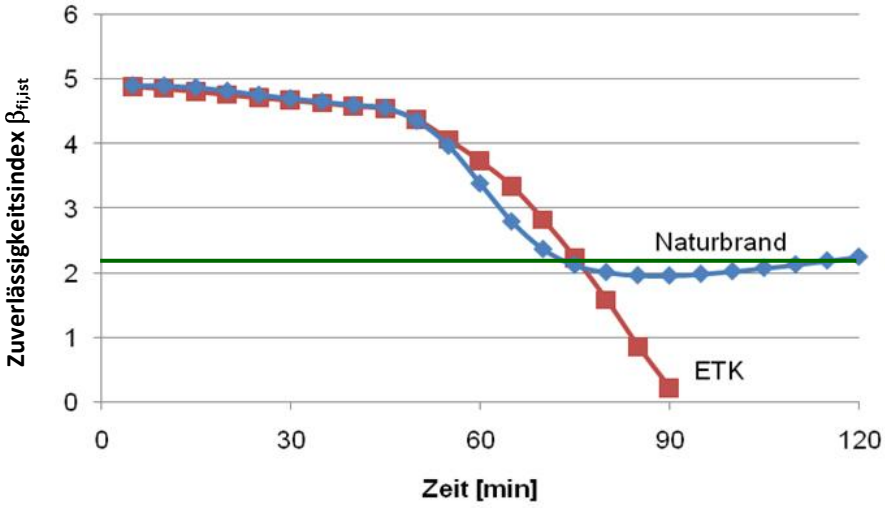


Bild 3 Verlauf des Zuverlässigkeitsindexes $\beta_{fi,ist}$ der Stahlbetonstütze [6]

Der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{fi} = 2.16 wird nach Bild 3 beim vollentwickelten natürlichen Brand im Brandraum nach ca. 95 Minuten geringfügig unterschritten. Im Normbrand wird die erforderliche Zuverlässigkeit bereits nach ca. 75 Minuten unterschritten; zur 90. Minute beträgt $\beta_{fi,ETK}$ = 0,6.

Maßgebende streuende Einflussgrößen sind, wie oben erwähnt, die Brandlastdichte und die Wärmefreisetzungsrate. Die Streuungen der übrigen Größen (Materialkennwerte und mechanische Einwirkungen) haben nur geringen Einfluss auf die Zuverlässigkeit.

Industriegebäude

Der für das eingeschossige Industriegebäude erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{fi} ergibt sich wiederum nach den Gleichungen (1) bis (6), wobei eine Brandentstehung in dem Brandbekämpfungsabschnitt mit der Grundfläche A = 2400 m² und eine lokale begrenzte Brandausbreitung mit der Wahrscheinlichkeit $p_2 \approx 0{,}15$ angenommen werden:

$$p_1 \; A = 1 - \exp \; \lambda_1 \cdot A \; \approx \lambda_1 \cdot A = 1 - \exp \; 6{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 2400 \; \approx 1{,}54 \cdot 10^{-2}$$

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 = 4{,}34 \cdot 10^{-3} \quad \text{mit} \quad p_2 \approx 0{,}15$$

$p_f = \Phi(-\beta) = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ für Zuverlässigkeitsklasse RC 1

$$p_{f,fi} = \frac{1.3 \cdot 10^{-5}}{4.34 \cdot 10^{-3}} = 5.65 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta_{fi} = -\Phi^{-1}(p_{f,fi}) = 2.53$$

Der Temperaturzeitverlauf im Brandnahbereich wurden ausgehend von einer mittleren flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate auf der lokalen Brandfläche A_f = 100 m^2 mit einem sog. Plume-Modell (nach Anhang C von [3]) berechnet. Der zugehörige Zeitverlauf des Zuverlässigkeitsindexes ist in Bild 4 dargestellt.

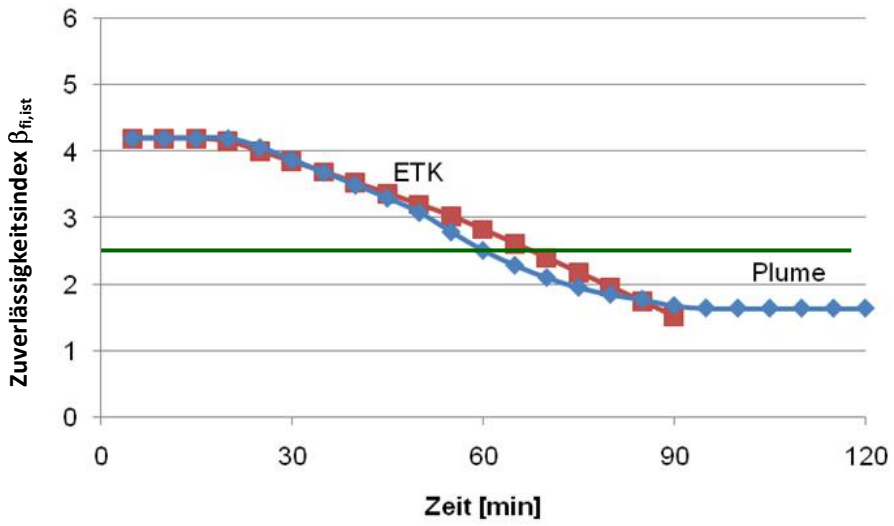


Bild 4 Verlauf des Zuverlässigkeitsindexes $\beta_{fi,ist}$ des Stahlträgers [6]

Der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{fi} = 2,53 wird mit min $\beta_{fi,NB}$ = 1,6 nach ca. 100 Minuten deutlich unterschritten. Im Normbrand ist die erforderliche Zuverlässigkeit nach ca. 65 Minuten nicht mehr gegeben; zur 90. Minute beträgt $\beta_{fi,ETK}$ = 1,5.

Maßgebende Einflussgrößen sind wiederum die Brandlastdichte sowie in diesem Fall zusätzlich die als lokal begrenzt angenommene Brandfläche A_f und in geringerem Umfang die Nutzlast. Die Streuungen der übrigen Größen haben nur geringen Einfluss auf die Zuverlässigkeit.

Schlussfolgerungen aus den Zuverlässigkeitsanalysen

Die Zuverlässigkeitsanalysen der ausgewählten Einzelbauteile, die mit Hilfe der vereinfachten Rechenverfahren der Eurocodes für die Feuerwiderstandsklasse R 90 bemessen wurden, haben ergeben, dass bei den nicht durch Löschmaßnahmen beeinflussten Naturbränden während des gesamten Brandverlaufes die Zuverlässig höher ist als bei einem Normbrand nach ETK am Ende der bauaufsichtlich geforderten Feuerwiderstandsdauer. Der theoretisch erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{fi} nach Gln. (1) bis (6) wird bei einem globalen Nachweis für die betroffene Nutzungseinheit in der Regel mit der zulässigen Toleranz ± 0,5 nach [8] eingehalten; bei der Industriehalle wird er um mehr als die Toleranz unterschritten, wenn der Stahlträger direkt über der Brandfläche liegt.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass bei den Beton- und Stahlbauteilen die Brandlastdichte den größten Einfluss auf die Zuverlässigkeit hat; bei den Holzbauteilen tritt an deren Stelle die Abbrandrate des Holzes. Den nächstgrößeren Einfluss hat die maximale Wärmefreisetzungsrate.

ABLEITUNG DES SICHERHEITSFORMATES

Da in den Zuverlässigkeitsanalysen für die Bauteile die Brandlastdichte und die Wärmefreisetzungsrate die Einflussgrößen mit dem größten Einfluss auf die Zuverlässigkeit waren, wird für die Bemessung der baulichen Brandschutzmaßnahmen vorgeschlagen, die als 90%-Fraktilen definierten charakteristischen Werte mit Teilsicherheitsbeiwerten zu beaufschlagen.

Wenn besondere Maßnahmen für die Brandbekämpfung wie eine besonders schlagkräftige Feuerwehr oder eine automatische Löschanlage berücksichtigt werden sollen, können deren Ausfallwahrscheinlichkeiten p_2 bzw. p_3 bei der Ermittlung der bedingten Wahrscheinlichkeit $p_{f,fi}$ und des erforderlichen Sicherheitsindexes β_{fi} nach Gln. (1) bis (6) berücksichtigt werden. Weitere Informationen hierzu finden sich in [6], [15].

Der Bemessung nach Eurocode liegt grundsätzlich eine Grenzzustandsgleichung Z = R - S (R = Resistance/Widerstand und S = Stress/Einwirkung) zu Grunde [8]. Die Bemessungswerte werden dabei so gewählt, dass der erforderliche Zuverlässigkeitsindex global aufgespalten wird in zwei Anteile der

Widerstandsseite $\alpha_R \cdot \beta$ und der Einwirkungsseite $\alpha_S \cdot \beta$. Die sog. globalen Sensitivitätsfaktoren werden mit $\alpha_R = 0{,}8$ und $\alpha_S = 0{,}7$ angenommen. Damit kann bei den praktisch vorkommenden Streuungsverhältnissen von Widerstand und Einwirkung der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β mit der zulässigen Toleranz von $\Delta\beta = \pm 0{,}5$ eingehalten werden.

Bei der Bemessung für den Brandfall als außergewöhnliche Einwirkung entsprechen die Bemessungswerte für die Einflussgrößen der Widerstandsseite den charakteristischen Werten, weil die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,fi}$ einheitlich mit 1,0 vorgegeben wurden. Weiterhin werden für die mechanischen Einwirkungen die reduzierten Bemessungswerte entsprechend der Kombinationsregel für außergewöhnliche Einwirkungen verwendet, die ebenfalls nicht zur Disposition stehen.

Damit sind auf der Einwirkungsseite lediglich noch die Bemessungswerte für die maßgebenden Einflussgrößen der Brandeinwirkung, also die Brandlastdichte und die Wärmefreisetzungsrate, über charakteristische Werte und Teilsicherheitsbeiwerte festzulegen. Die anteilige Zuverlässigkeit für diese Einflussgrößen wird aus dem Zuverlässigkeitsindex für den Brandfall β_{fi}, dem o. g. globalen Sensitivitätsfaktor $\alpha_S = 0{,}7$ sowie zusätzlichen, aus den durchgeführten Zuverlässigkeitsanalysen für die Bauteile abgeleiteten Sensitivitätsfaktoren α_i für die Brandlastdichte und die Wärmefreisetzungsrate ermittelt. Man erhält

$\alpha_S \cdot \alpha_i \approx 0.6$ für die Brandlastdichte.

0.4 für die Wärmefreisetzungsrate.

Wie bereits erwähnt, werden die charakteristischen Werte der Brandlastdichte und der Wärmefreisetzungsrate in Anlehnung an das Sicherheitskonzept der DIN 18230-1 [4] jeweils als 90 %-Fraktilen definiert. Da es sich um stärker streuende veränderliche Einwirkungen handelt, wird als Wahrscheinlichkeitsverteilung eine Gumbel-Extremwertverteilung zu Grunde gelegt. Für die Brandlastdichte wurde nach [3], [7] einheitlich für alle Nutzungen ein Variationskoeffizient V = 0,3 angenommen, für die Wärmefreisetzungsrate wurde bei sonst gleichen Annahmen V = 0,2 angesetzt.

Mit diesen Annahmen können die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} sowohl für die Brandlastdichte als auch für die Wärmefreisetzungsrate mit Gleichung (10) berechnet werden:

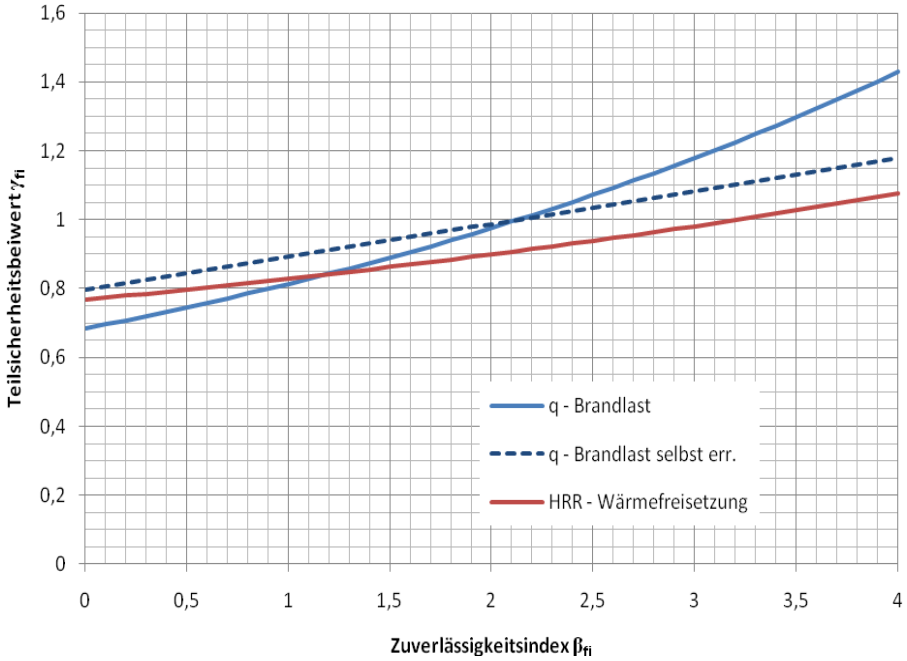
$$\gamma_{fi} = \frac{1 - V \cdot \sqrt{6}/\pi \cdot \left[0{,}5772 + \ln\ -\ln(\Phi(\alpha \cdot \beta_{fi})) \right]}{1 - V \cdot \sqrt{6}/\pi \cdot \left[0{,}5772 + \ln\ -\ln(0{,}9) \right]} \tag{10}$$

Wird die Brandlastdichte für ein bestimmtes Gebäude mit definierter Nutzung im Einzelfall genauer erfasst, so wie dies in der Regel im Industriebau nach DIN 18230-1 [4] geschieht, kann anstelle der Extremwertverteilung (für veränderliche Nutzung) eine Normalverteilung mit dem geringeren Variationskoef-

fizienten V = 0,2 zu Grunde gelegt werden. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{fi} für die individuell erfasste Brandlastdichte ergibt sich dann aus Gleichung (11):

$$\gamma_{fi,q} = \frac{1+\alpha \cdot \beta_{fi} \cdot V}{1+1,28 \cdot V} \tag{11}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte nach Gl. (10) und Gl. (11) sind in Bild 5 grafisch aufgetragen. Der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β_{fi} kann in Abhängigkeit von der bedingten Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall $p_{f,fi}$ nach Gl. (5) aus der angefügten Tabelle entnommen werden.



pf,fi	β,fi
5,0E-01	0,00
4,0E-01	0,25
3,1E-01	0,50
2,3E-01	0,75
1,6E-01	1,00
1,1E-01	1,25
6,7E-02	1,50
4,0E-02	1,75
2,3E-02	2,00
1,2E-02	2,25
6,2E-03	2,50
3,0E-03	2,75
1,3E-03	3,00
5,8E-04	3,25
2,3E-04	3,50
8,8E-05	3,75
3,2E-05	4,00

Bild 5 Bemessungsdiagramm für die Teilsicherheitsbeiwerte der maßgebenden Einflussgrößen eines Naturbrandes [6], [7]

ANWENDUNGSBEISPIEL ZUM SICHERHEITSKONZEPT

Aufgabenstellung

An dem folgenden Beispiel soll die Anwendung des vorgeschlagenen Sicherheitskonzeptes bei der brandschutztechnischen Bemessung von Bauteilen dargestellt werden. Es soll gezeigt werden, dass verschiedene brandschutztechnische Konzepte (baulich oder anlagentechnisch) direkt miteinander vergleichbar sind, da für die Bemessung die gleiche erforderliche Zuverlässigkeit angesetzt wird. Damit kann der Planer bei der Konzeptionierung des Brandschutzes die optimale Lösung wählen, ohne Sicherheitseinbußen in Kauf nehmen zu müssen. Des Weiteren kann er durch Vergleichen von Kosten für die Brandschutzmaßnahmen und mögliche brandbedingte Schäden eine wirtschaftliche Einschätzung und Kostenoptimierung durchführen.

Darstellung der Randbedingungen

Bei dem betrachteten Gebäude handelt es sich um einen Industriebau, eine Lagerhalle, die in Stahlbauweise ausgeführt ist und zur brandschutztechnischen Ertüchtigung mit Brandschutzplatten (Gipskarton) bekleidet werden soll. Exemplarisch soll hier ein statisch bestimmt gelagerter Stahlträger HE300B bemessen werden, dessen Auslastung mit 90% angenommen wird. Es wird weiter angenommen, dass sich der Träger in der sehr großen Halle im Heißgasstrom (Plume) eines lokal begrenzten Brandes befindet. Zur Beschreibung der Temperaturentwicklung wird (analog zu dem Trägerbeispiel bei den Zuverlässigkeitsanalysen) das Plume-Modell aus Anhang C der DIN EN 1991-1-2 [3] verwendet. Die Brandfläche wird direkt unter dem Stahlträger angenommen, der sich in 6 m Höhe befindet.

Das Widerstandsmoment des Trägers beträgt W_y = 1680 cm³. Somit ergibt sich für die Bemessung bei Normaltemperatur

$$M_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \cdot \alpha_{pl} \cdot W_y = 417 kNm \tag{12}$$

Da der Träger an der maßgeblichen Stelle zu 90% ausgelastet ist, ergibt sich das einwirkende Moment bei Normaltemperatur zu $M_{E,d}$ = 376 kNm. Bei der Bemessung für den Brand als außergewöhnliches Ereignis darf man nach DIN EN 1993-1-2 [14] den Bemessungswert der mechanischen Einwirkungen bei Normaltemperatur vereinfachend mit einem Redukonsfaktor abmindern, der im vorliegenden Fall (Lagerräume) η_{fi} = 0,7 beträgt. Damit ergibt sich das einwirkende Moment im Brandfall zu $M_{Ed,fi}$ = 263 kNm. Bei der Berechnung des widerstehenden Momentes wird der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fi}$ = 1,0 zugrunde gelegt und die Stahlspannung mit dem charakteristischen Wert eingesetzt. Das Bauteil muss die gesamte Dauer des Naturbrandes ohne Versagen überstehen können.

Brandschutzbemessung für ein rein bauliches Konzept

In einem ersten Nachweis soll der Zuverlässigkeitsnachweis für ein baulich ausgerichtetes Konzept durchgeführt werden. Hierbei wird auf Anlagentechnik verzichtet und die Feuerwehr wird mit einer langen Anfahrtszeit berücksichtigt. Die charakteristische Brandlastdichte wird nicht selbst ermittelt, sondern der Tabelle 4 als 90%-Fraktile entnommen. Somit ergeben sich folgende charakteristische Brandparameter:

Brandlastdichte: q_k = 2240 MJ/m²,

Flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate: HRR_k = 250 kW/m²,

Brandentwicklungsdauer: schnell (150 s bis 1 MW).

Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes wird nach Tabelle 2 (entspricht im Wesentlichen Tabelle BB-4 in [7]) mit 1,3E-2 pro Jahr angenommen und die öffentliche Feuerwehr mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit p_2 = 0,5 (Eingreifzeit 20 min) angesetzt. Eine Löschanlage ist nicht vorhanden (p_3 = 1,0). Somit ergibt sich die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadensfeuers, das die Konstruktion beeinträchtigen könnte, zu

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = 0.013 \cdot 0.5 \cdot 1 = 0.0065 \tag{13}$$

Da bei dem betreffenden Industriebau mittlere Schadensfolgen im Falle eines Vollbrandes zu erwarten sind, wird nach Tabelle 1 eine akzeptierte Versagenswahrscheinlichkeit p_f = 1,3E-5 gewählt, sodass sich die zulässige bedingte Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall zu

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} = \frac{1.3E-5}{6.5E-3} = 0.002 \tag{14}$$

ergibt, was einem erforderlichen Zuverlässigkeitsindex β_{fi} = 2.87 entspricht. Damit können die Teilsicherheitsbeiwerte für die Brandlastdichte und die maximale Wärmefreisetzungsrate aus Bild 5 abgelesen und die Bemessungswerte berechnet werden. Man erhält:

- Brandlastdichte: γ_q = 1,16 $q_d = \gamma_q \cdot q_k$ = 2598 MJ/m²
- max. Wärmefreisetzungsrate: γ_{HRR} = 1,04 $HRR_d = \gamma_{HRR} \cdot HRR_k$ = 260 kW/m²

Der Nachweis wird nun mit den vereinfachten Rechenverfahren von DIN EN 1993-1-2 [14] durchgeführt, wobei die Dicke der Brandschutzbekleidung so optimiert wird, dass gerade $M_{Ed,fi} = M_{Rd,fi}$ wird. Für die Berechnung der Brandraumtemperatur mittels Plume-Modell werden die Bemessungswerte der Brandlastdichte und der maximalen Wärmefreisetzungsrate benutzt. Die Eingangswerte für die Gipskartonplatte sind beispielhaft in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6 Materialkennwerte der Bandschutzbekleidung aus [16]

Dichte ρ	800 kg/m³
Wärmeleitfähigkeit λ	0.20 W/(m·K)
Spezifische Wärme c	1700 J/(kg·K)
Verhältniswert A/V	95/m (dreiseitig beflammt)

Die Berechnung ergibt eine Mindestbekleidungsdicke des Stahlträgers von $d_{p,erf}$ = 20 mm für das baulich ausgerichtete Bemessungskonzept. Die berechneten Temperaturen im Brandraum und die sich daraus ergebenden Stahltemperaturen sind beispielhaft in Bild 6 gezeigt.

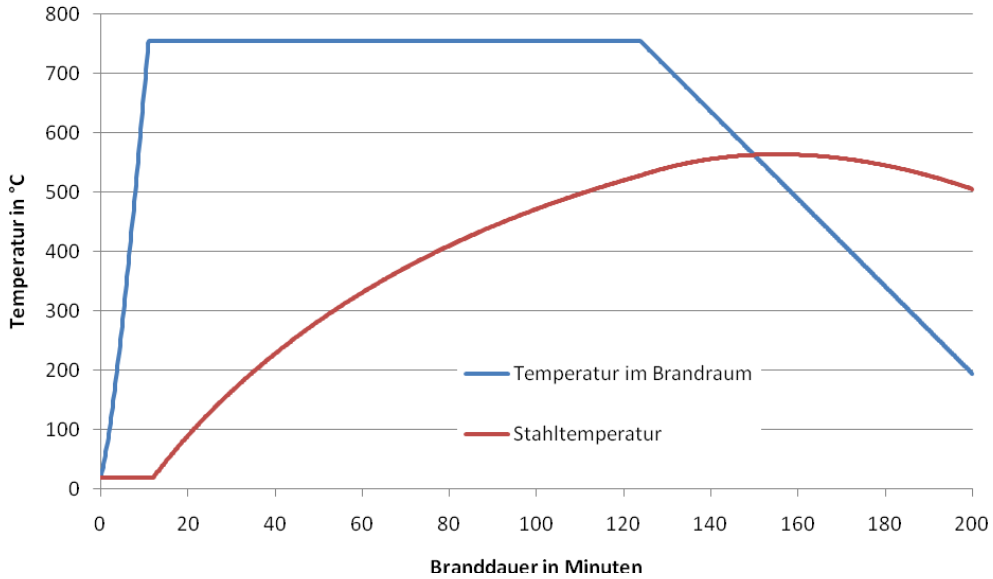


Bild 6 Berechnete Plume-Temperaturen im Brandnahbereich und Stahltemperatur des bekleideten Trägers bei einer Bekleidungsdicke d_p = 20 mm.

Berücksichtigung einer Sprinkleranlage

Für das gleiche Beispiel wird nun überprüft, wie sich die Berücksichtigung anlagentechnischer Maßnahmen auf die erforderliche Bekleidungsdicke auswirkt. Hierzu wird eine Sprinkleranlage mit regelmäßiger Wartung angenommen, deren Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung nach [7] p_3 = 0,02 beträgt. Die öffentliche Feuerwehr wird wiederum mit p_2 = 0,5 berücksichtigt. Unter Beibehaltung der akzeptierten Versagenswahrscheinlichkeit p_f ergibt sich eine neue bedingte Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} = \frac{1.3E-5}{0.013 \cdot 0.5 \cdot 0.02} = 0.1 \tag{15}$$

was einem erforderlichen Zuverlässigkeitsindex β_{fi} = 1,28 entspricht. Damit reduzieren sich die Teilsicherheitsbeiwerte auf

- Brandlastdichte: γ_q = 0,86 und
- max. Wärmefreisetzungsrate: γ_{HRR} = 0,87.

Analog zu den vorhergehenden Rechnungen ergibt sich nun eine erforderliche Plattendicke von nur noch 13 mm bei gleichem Sicherheitsniveau. Der Planer kann nun die Kosten des rein baulichen und des anlagentechnischen Konzeptes gegeneinander abwägen und sich für die insgesamt günstigere Lösung entscheiden.

Berücksichtigung von Sprinkleranlage und Werkfeuerwehr

Zusätzlich zu der Sprinkleranlage aus der vorherigen Rechnung soll nun noch eine Werkfeuerwehr mit zwei Staffeln berücksichtigt werden. Deren Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung wird nach [7] mit $p_2 = 0{,}05$ angesetzt. Die neue bedingte Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall beträgt dann

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} = \frac{1.3E-5}{0.013 \cdot 0.05 \cdot 0.02} = 1 \tag{15}$$

Dies bedeutet dass aufgrund der Sprinklerung und der Werkfeuerwehr die Wahrscheinlichkeit eines Schadenfeuers so gering ist, dass keine brandschutztechnische Bemessung der Stahlträger mehr erforderlich ist. Allerdings müssen bei diesem Konzept die sehr hohen Kosten für die Unterhaltung einer Werkfeuerwehr, die innerhalb von 5 Minuten mit zwei Staffeln vor Ort sein muss, aufgrund besonderer Risiken gerechtfertigt sein und nicht durch die Ersparnis von Brandschutzbekleidung der Stahlkonstruktion.

Für die mathematisch versierten Leser sei darauf hingewiesen, dass die Ermittlung der Ermittlung der bedingten Versagenswahrscheinlichkeit mit den Gln. (1) bis (5) mehrere Näherungen und Vereinfachungen enthält. Insbesondere bei Kombinationen von Löschanlagen und Werkfeuerwehr kann das zu Werten nahe bei oder größer als 1,0 führen, die aus mathematischer Sicht nicht möglich sind.

Weitere Möglichkeiten der Optimierung

Weiteres Optimierungspotenzial bietet die einzelfallbezogene Aufnahme der Brandlasten, die besonders bei Industriebauten empfohlen wird. Das Ergebnis kann signifikant von den in Tabelle 4 angegebenen Werten abweichen. Die Bemessung aufgrund der Brandlastklassifikation könnte zu unwirtschaftlich sein oder in Ausnahmefällen auch auf der unsicheren Seite liegen.

Brandmeldeanlagen greifen zwar nicht aktiv in das Brandgeschehen ein, können aber die Eingreifzeit der Feuerwehr ggf. deutlich verkürzen und damit die Versagenswahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung verringern. Derzeit ist die Berücksichtigung einer BMA mit dem Sicherheitskonzept von [8] noch nicht vorgesehen. Eine quantitative Bewertung des Einflusses einer BMA ist jedoch anhand der Ergebnisse von Klinzmann und Hosser [18] möglich, die in eine zukünftige Ausgabe des Nationalen Anhangs aufgenommen werden können.

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Akzeptanz ingenieurmäßiger Brandschutznachweise für Bauteile und Tragwerke auf Basis der Rechenverfahren der Eurocodes ist es wichtig, dass die Bauteilnachweise ein gesellschaftlich akzeptiertes Sicherheitsniveau für alle Bauarten und Gebäudetypen gewährleisten. Ein entsprechendes Sicherheits-

konzept wurde in den letzten Jahren am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) entwickelt und ist inzwischen in den Nationalen Anhang zum Eurocode 1 Teil 1-2 eingeflossen. In diesem Beitrag werden die Grundlagen und die Vorgehensweise zur Herleitung von Sicherheitselementen er läutert. Aufgrund detaillierter Untersuchungen für verschiedene Gebäude, Bauteil- und Nachweisarten wurde ein einheitliches Sicherheitsformat vorgeschlagen mit charakteristischen Werten und Teilsicherheitsbeiwerten für die maßgebenden Einflussgrößen der Brandeinwirkungen bei Naturbränden, die Brandlastdichte und die maximale Wärmefreisetzungsrate.

Das hier vorgestellte Sicherheitskonzept stellt zweifellos methodisch den aktuellen Stand der Wissenschaft dar. Allerdings musste bei den Eingangsdaten wegen des Fehlens einer einheitlichen deutschen Brandstatistik zum Teil auf internationale Daten und Expertenmeinungen zurückgegriffen werden. Das Sicherheitskonzept ist aber so flexibel und transparent, dass sich neue Erkenntnisse und Daten jederzeit berücksichtigen lassen.

Das Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen auf Basis der Eurocodes ist ein wichtiger Baustein für die Weiterverbreitung der Ingenieurmethoden zur Heißbemessung. Durch die Aufnahme in den Nationalen Anhang zum Eurocode 1 Teil 1-2 und dessen geplante Einführung in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen wird es künftig möglich sein, Bemessungen für Naturbrandbeanspruchung auf einheitlicher Grundlagen durchzuführen und dabei ein akzeptiertes Sicherheitsniveau einzuhalten. Für den Brandschutzingenieur sind die Eingabedaten zur Brandschutzbemessung künftig genauso klar geregelt wie die übliche Tragwerksbemessung bei Normaltemperatur. Somit sind auch für die prüfende Seite wie Bauaufsichtsbehörde, Prüfingenieure und Prüfsachverständige des Brandschutzes die Bemessungsgrundlagen nachvollziehbar.

An einem einfachen Beispiel wurde gezeigt, wie einfach das Sicherheitskonzept in der Praxis angewendet werden kann und wie schnell damit unterschiedliche Schutzkonzepte verglichen und hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit optimiert werden könnend.

Für die Zukunft ist eine Flexibilisierung der Bauordnungen und Sonderbauvorschriften wünschenswert, damit materielle Anforderungen für Standardbauwerke entsprechend den bisherigen Regelungen und leistungsorientierten Nachweise mit Ingenieurmethoden für Naturbrände auch rechtlich gleichgestellt werden und alternativ angewendet werden dürfen (siehe [17], [18]).

LITERATUR

[1] DIN 4102 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen;
Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, September 977
Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, März 1994.

[2] Musterliste der Technischen Baubestimmungen.

[3] DIN EN 1991-1-2:2003-09 - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkungen auf Tragwerke.

[4] DIN 18230-1: 1998-03: Baulicher Brandschutz im Industriebau; Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Ausgabe März 1998

[5] 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 im Auftrag des Deutschen Institut für Bautechnik. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Dezember 2004.

[6] Hosser, D.; Weilert, A.; Klinzmann, C.; Schnetgöke, R., Albrecht, C.: Erarbeitung eines Sicherheitskonzeptes für die brandschutztechnische Bemessung unter Anwendung von Ingenieurmethoden gemäß Eurocode 1 Teil 1-2“. Abschlussbericht zum DIBT-Forschungsvorhaben ZP 52-5-4.168-1239/07. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Technische Universität Braunschweig, Juni 2008.

[7] DIN EN 1991-1-2/NA Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2/NA: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Entwurf Juni 2009.

[8] EN 1990:2002-04 - Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung.

[9] Musterbauordnung – MBO - Fassung November 2002 zuletzt geändert im Oktober 2008; Bauministerkonferenz; Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU); www.is-argebau.de.

[10] Bub, H.; Hosser, D.; Kersken-Bradley, M.; Schneider, U.: Eine Auslegungssystematik für den baulichen Brandschutz, 1. Auflage. Berlin: E. Schmidt, 1983.

[11] BSI, PD 7974-1:2003: Application of fire engineering principles to the design of buildings; Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin

[12] Rahikainen, J.; Keski-Rahkonen, O.; Statistical Determination of Ignition Frequency of Structural Fires in Different Premises in Finland; Fire Technology 40; S. 335-353; 2004.

[13] Implementation of Eurocodes, Handbook 5: Design of buildings for the fire situation. Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/02/BF/PP-134007, Luxembourg, 10/2005.

[14] DIN EN 1993-1-2:2006-10 - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.

[15] Klinzmann, C.; Hosser, D., Berücksichtigung abwehrender und anlagentechnischer Maßnahmen beim brandschutztechnischen Nachweis von Bauteilen. vfdb-Zeitschrift 58 (2009) Heft 2, Mai 2009.

[16] Explanatory Document for ECCS No. 89 Euro Nomogram, Fire Resistance of Steel Structures, 1999.

[17] Hosser, D.: Mehr Flexibilität durch leistungsorientierte Brandschutzvorschriften. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ’08, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 202, Braunschweig 2008, ISBN 978-3-89288-185-8.

[18] Mahlmann, C.: Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte – Grundlagen und Beispiele zur Umsetzung. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, Braunschweig 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

SITZUNG 2

NORMEN, RICHTLINIEN, VERORDNUNGEN

Sitzungsleitung: K.-D. Wathling, Berlin

BRANDSCHUTZBEMESSUNG NACH DEN EUROCODES – VORGABEN FÜR DIE ANWENDUNG IN DEUTSCHLAND

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

EINFÜHRUNG

Im Jahr 1997 wurden die Eurocode-Brandschutzteile vom DIN als Vornormen (DIN V ENV) veröffentlicht und sind derzeit grundsätzlich noch anwendbar. Diese Vornormen wurden von CEN zwecks Überführung in Europäische Normen überarbeitet. Die EN-Normen wurden ins Deutsche übersetzt und liegen seit 2006 als deutsche Normen (DIN EN) vor. Eine Übersicht über die veröffentlichten EN- und DIN EN-Normen gibt Tabelle 1.

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

Mit Ausnahme von Eurocode 9 („Aluminium“) waren für die genannten Europäischen Vornormen Nationale Anwendungsdokumente (NAD) erstellt worden mit Angaben zum Anwendungsbereich der Vornormen, zu den indikativen Werten (sog. „boxed values“) und zu weiteren technischen Detailregelungen. Die Nationalen Anwendungsdokumente hatten zum Ziel, Veränderungen des nationalen Sicherheitsniveaus im konstruktiven Brandschutz zu vermeiden.

Auch zur Anwendung der in Tabelle 1 aufgeführten endgültigen Normen DIN EN 199X-1-2 sind nationale Ergänzungen erforderlich, die als Nationale Anhänge (NA) veröffentlicht werden. Diese enthalten, ähnlich wie die o. g. Nationalen Anwendungsdokumente zu den Vornormen, zusätzliche Festlegungen, um das nationale Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Die Anzahl der national veränderbaren Werte (NDP - Nationally Determined Parameters) wurde zwar in den EN-Fassungen im Vergleich zu den Vornormen reduziert, trotzdem gibt es noch eine Reihe von Parametern, für die auf europäischer Ebene keine Harmonisierung möglich oder erwünscht war. Daneben kann jedes Mitgliedsland individuell festgelegen, ob die in den Eurocode-Teilen enthaltenen sog. Informativen (d. h. nicht normativen) Anhänge angewendet werden dürfen.

Die Brandschutzteile der Eurocodes regeln Nachweise der Tragfähigkeit brandbeanspruchter Bauteile und Tragwerke aus unterschiedlichen Baustoffen auf Basis von tabellarischen Daten (in Analogie zu DIN 4102-4), vereinfachten Rechenverfahren sowie allgemeinen Rechenverfahren. Durch Anwendung der allgemeinen Rechenverfahren besteht in Deutschland erstmals die Möglichkeit, auch Gesamttragwerke für den Lastfall Brand zu untersuchen und zu bewerten und so die Brandschutzbemessung zu optimieren. Weiterhin können bei Anwendung der Eurocodes sog. Naturbrandmodelle zur realistischen, „situationsabhängigen“ Darstellung möglicher Brandszenarien als Alternative zu sog. nominellen Temperaturzeitkurven wie der bekannten Einheitstemperaturzeitkurve berücksichtigt werden. Die Nutzung dieser Möglichkeiten erfordert besondere Fachkompetenz der Anwender.

Mittelfristig sollen in den Mitgliedsländern der Europäischen Gemeinschaft die Eurocodes die Nationalen Bemessungsnormen vollständig ersetzen. Allerdings wird in Deutschland die DIN 4102-4 auch zukünftig für den brandschutztechnischen Nachweise raumabschließender Bauteile benötigt werden, da die Einhaltung prüftechnisch festgelegter Kriterien zum Raumabschluss mit den Eurocodes derzeit nicht nachgewiesen werden kann.

Im Folgenden werden zunächst die neuen Regelungen zu den Einwirkungen im Brandfall im Brandschutzteil des Eurocodes 1 und im zugehörigen Nationalen Anhang vorgestellt, die baustoffübergreifend gelten und generell für brandschutztechnische Nachweise mit Ingenieurmethoden von Bedeutung sein werden. Anschließend werden einige Besonderheiten bei der Anwendung in Deutschland und die nächsten Schritte bis zur bauaufsichtlichen Einführung aufgezeigt. Auf die Nachweise der Bauteile und Tragwerke nach den baustoffbezogenen Eurocodes 2, 3 und 4 gehen die nachfolgenden Beiträge ein.

THERMISCHE EINWIRKUNGEN IM BRANDFALL

In Eurocode1 Teil 1-2, der DIN EN 1991-1-2 [1], werden baustoffübergreifend die thermischen und mechanischen Einwirkungen im Brandfall genormt. Hinsichtlich der thermischen Einwirkungen werden verschiedene alternative Ansätze beschrieben, die in nominelle Temperaturzeitkurven und Naturbrandmodelle unterteilt werden.

Folgende nominellen Temperaturzeitkurven werden formelmäßig angegeben (siehe Bild 1):

- die aus DIN 4102-2 bekannte Einheitstemperaturzeitkurve (ETK)
- die externe Brandkurve, die der abgeminderten ETK aus DIN 4102-3 für Außenbauteile und Brüstungen entspricht, sowie
- die Hydrokarbon-Brandkurve, die für Brände mit extrem raschem Temperaturanstieg verwendet werden kann.

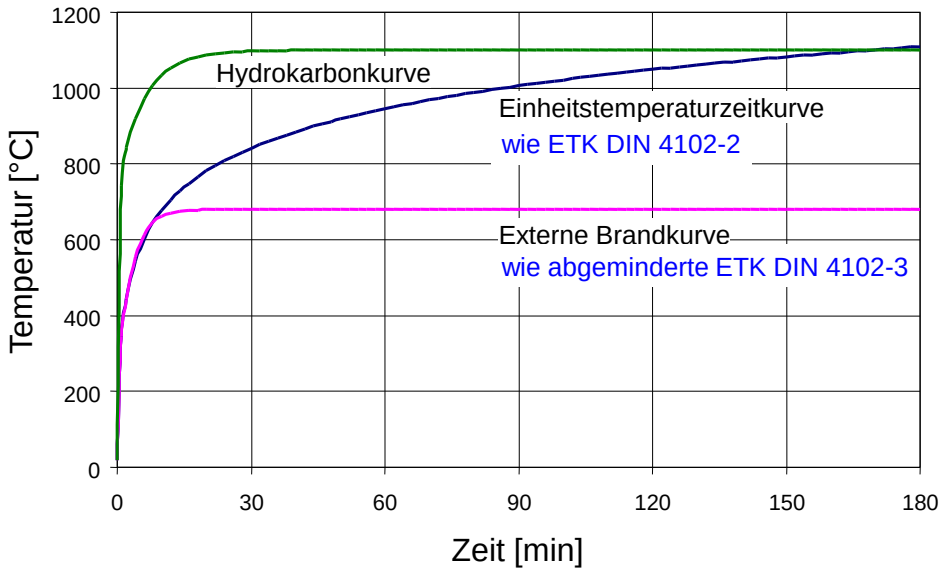


Bild 1 Nominelle Temperaturzeitkurven nach DIN EN 1991-1-2 [1]

Die Naturbrandmodelle werden im Eurocode selbst nur sehr knapp im Sinne der grundsätzlichen Anwendbarkeit behandelt. Konkretere Angaben dazu finden sich in den Informativen Anhängen. Die alternativen Ansätze für die thermischen Einwirkungen bei Naturbränden waren schon in der DIN V ENV 1991-2-2 von 1997 vorgesehen, wurden aber im Nationalen Anwendungsdokument für die Anwendung in Deutschland zunächst ausgeschlossen in der Sorge, dass damit die bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen nach den Landesbauordnungen und Sonderbauvorschriften umgangen werden könnten [2]. Lediglich für besondere Fälle wurde eine Anwendung in Abstimmung mit der zuständigen Bauaufsichtsbehörde zugestanden mit der Auflage, dass die entsprechenden Nachweise von einem hierfür qualifizierten Prüfingenieur geprüft werden. Diese restriktive Handhabung soll bezüglich der in DIN EN 1991-1-2 weiterentwickel-

ten alternativen Ansätze künftig gelockert werden. Zu diesem Zweck wurden einerseits die Regelungen zu den Naturbrandmodellen in einem Forschungsvorhaben [3] überprüft und andererseits wurde das nach Meinung des zuständigen DIN-Ausschusses unzulängliche Sicherheitskonzept für Naturbrandnachweise in einem weiteren Forschungsvorhaben [4] überarbeitet.

Im Folgenden werden die in den Informativen Anhängen der DIN EN 1991-1-2 [1] beschriebenen Ansätze für die thermischen Einwirkungen kurz dargestellt und die abweichenden Regelungen im Nationalen Anhang [5] erläutert.

NATURBRANDMODELLE

Parametrische Temperaturzeitkurven

Für Anwendungen auf Wohn-, Büro- und Verwaltungsgebäude mit üblichen Raumgrößen von 10 - 200 m^2 bietet der Eurocode 1 Teil 1-2 im Informativen Anhang A sog. parametrische Temperaturzeitkurven an, die jedoch nach deutscher Auffassung nicht mit den in einem weiteren Informativen Anhang E (s. u.) vorgegebenen Bemessungsbränden kompatibel sind. Daher wurde in [6] ein verbessertes Brandmodell entwickelt, mit dem der Zeitverlauf der Heißgastemperatur bei Bränden in kleinen und mittelgroßen Räumen, ausgehend vom zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsrate des Bemessungsbrandes, realistischer berechnet werden kann (Bild 2). Es konnte gezeigt werden, dass die so ermittelten Naturbrandkurven sehr gut mit den Ergebnissen von Brandversuchen und Berechnungen mit allgemeinen Brandsimulationsmodellen übereinstimmen.

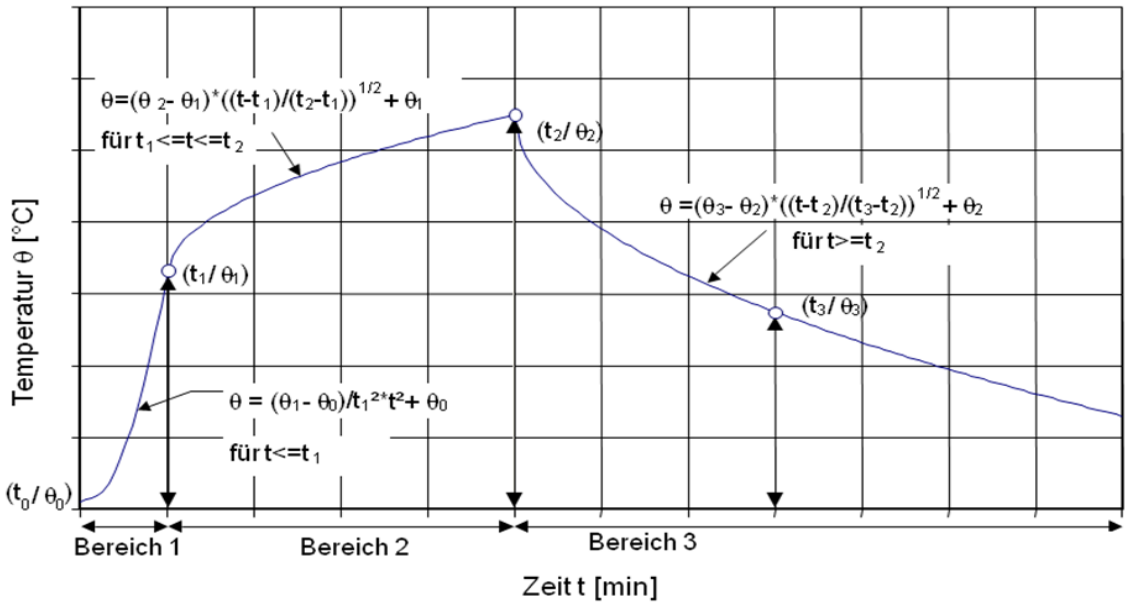


Bild 2 *Schematische Darstellung der Realbrandkurven nach [6]; die kenn-zeichnenden Punkte (t_i, θ_i) werden auf der Basis einer vorgegebenen Brandbelastung und Wärmefreisetzungsrate formelmäßig angegeben*

Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile

Außenliegende Bauteile werden bei einem Raumbrand in einem Gebäude durch die aus offenen oder vom Brand zerstörten Fenstern herausschlagenden Flammen und austretenden Heißgase thermisch beansprucht. Nach Erkenntnissen von Großbrandversuchen sind die dabei auftretenden Temperaturen aufgrund der in den Heißgasstrom eingemischten kälteren Umgebungsluft deutlich niedriger als im Brandraum selbst. Die DIN EN 1991-1-2 gibt im Informativen Anhang B vereinfachte empirische Zusammenhänge an, mit denen die Geometrie des Heißgasstroms vor der Fassade und die Temperaturverteilung in Abhängigkeit von den Abmessungen der Fensteröffnungen und der Brandraumtemperatur ermittelt werden kann. Die Zusammenhänge wurden in [3] anhand vorliegender eigener und internationaler Versuchsergebnisse überprüft und im Wesentlichen bestätigt. Für eine einfachere Anwendung in der Praxis wurden in [7] Abminderungsfaktoren, bezogen auf die Temperaturen im Brandraum (nach ETK), angegeben (Bild 3).

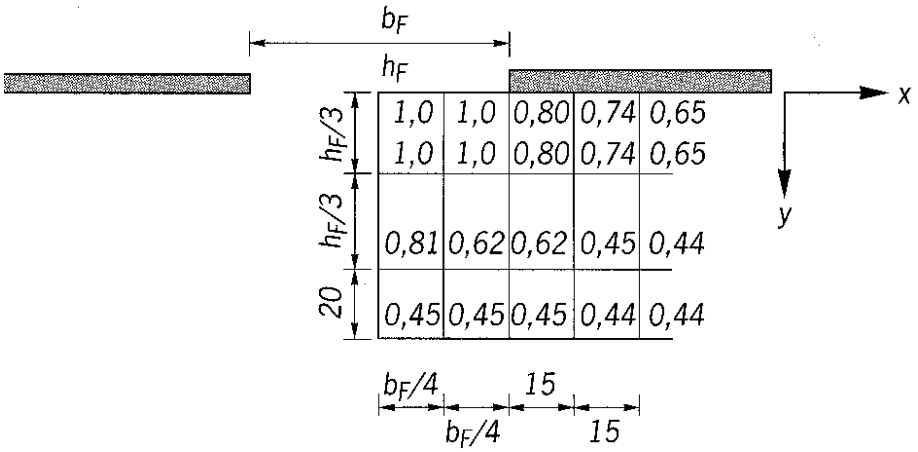


Bild 3 *Abminderungsfaktoren bezogen auf die Einheitstemperaturzeitkurve in Abhängigkeit von der Position des außenliegenden Bauteils vor einer Fensteröffnung (nach [7])*

Brandeinwirkungen bei lokal begrenzten Bränden

In ausgedehnten Räumen ist ein Vollbrand, wie er mit der Einheitstemperaturzeitkurve vorausgesetzt wird, praktisch nicht vorstellbar. Tatsächlich breitet sich ein Brand mit einer bestimmten Geschwindigkeit über vorhandene brennbare Stoffe aus, bis die Flammenfront z. B. durch einen größeren Abstand von weiteren Brandlasten oder durch die Löschmaßnahmen der Feuerwehr gestoppt und kontrolliert wird. Solche lokal begrenzten Brände führen im Brandraum zu sehr unterschiedlichen Temperaturen, die im Brandnahbereich durchaus sehr hoch sein können, jedoch mit zunehmender horizontaler und vertikaler Entfernung vom Brandherd rasch abklingen. Dadurch kann z. B. die Temperatur im Bereich einer zu bemessenden Dachkonstruktion aus Stahl unterhalb der kritischen Stahltemperatur von ca. 500 °C liegen.

Bild 4 zeigt schematisch den aufsteigenden Heißgasstrom (sog. Plume) mit der eingemischten Umgebungsluft und die daraus resultierende Temperaturverteilung. Systematische Vergleiche in [3] mit Ergebnissen von genaueren Brandsimulationsrechnungen sowie mit Messergebnissen von Brandversuchen haben gezeigt, dass die vereinfachten Beschreibungen mit analytischen Gleichungen (sog. Plume-Modellen) ausreichend genau bis konservativ sind. Daher steht einer Anwendung in Deutschland nichts im Wege, sofern der Anwendungsbereich lokal begrenzter Brände nicht verlassen wird. Nähere Informationen hierzu finden sich in [3] und in dem vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes [8].

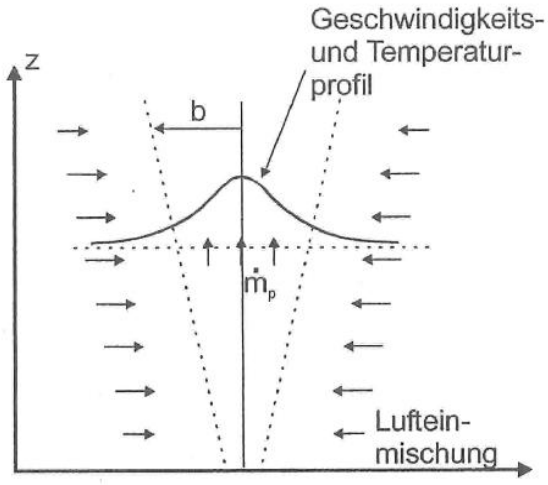


Bild 4 Geschwindigkeits- und Temperaturprofil im Plume

Erweiterte Brandmodelle

Im Rahmen von schutzzielorientierten Brandschutzkonzepten werden auch in Deutschland in den letzten 10 Jahren zunehmend Brandsimulationsmodelle zur Ermittlung von Brandeinwirkungen, insbesondere der Temperaturentwicklung und der Rauchausbreitung, in einem Brandraum, eingesetzt. Die Modelle können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Ein-Zonen-Modelle
- Zwei-Zonen-Modelle
- Feld-Modelle (CFD-Modell).

Das Ein-Zonen-Modell, das besser bekannt ist unter dem Namen Vollbrandmodell (englisch: post-flashover model), setzt einen vollentwickelten Brand in einem kleineren Raum voraus, bei dem dieser gleichmäßig mit heißen Rauchgasen gefüllt ist: das gesamte Brandraumvolumen wird als eine Zone (Kontrollvolumen) betrachtet, in der homogene Verhältnisse (z. B. Temperatur, Gaszusammensetzung) herrschen.

In einem größeren Raum sind bei einem fortentwickelten Brand die Temperaturen nicht homogen. Das Zwei-Zonen-Modell (englisch: pre-flashover model) teilt daher das Brandraumvolumen in zwei Zonen ein: eine obere Heißgasschicht und eine untere Kaltgasschicht. Die Einmischung von Umgebungsluft in die Flamme und in die aufsteigenden Flammengase (Plume) wird – genau wie beim lokal begrenzten Brand - mit Hilfe von Plume-Modellen beschrieben (Bild 5).

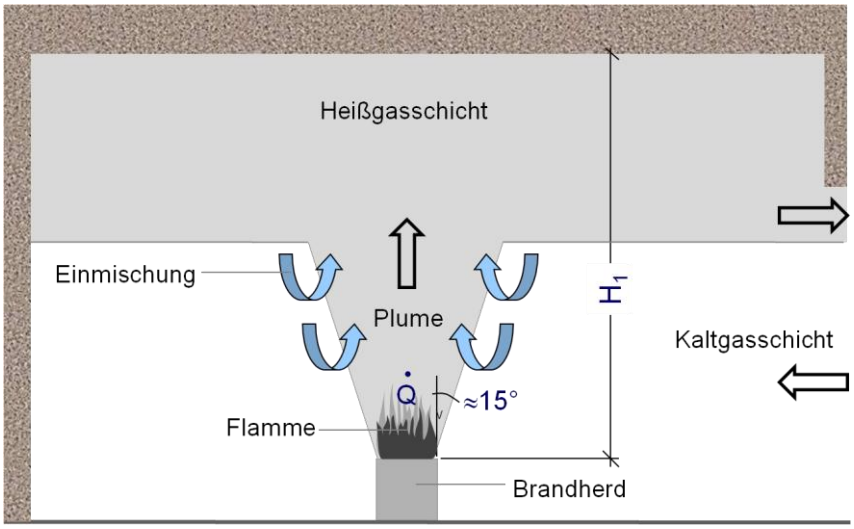


Bild 5 Prinzip des Zwei-Zonen-Modells

Im vfdb-Leitfaden [8] wurde die Aussagefähigkeit von Zwei-Zonen-Modellen hinsichtlich der Rauchausbreitung in ausgedehnten Räumen durch Vergleich der Ergebnisse von Berechnungen mit dem international häufig eingesetzten Modell CFAST und Messwerten von großmaßstäblichen Brandversuchen überprüft. Die Übereinstimmung zwischen Versuch und Berechnung ist zufriedenstellend, so dass Brandsimulationen mit einem Zonen-Modell durchaus für den Nachweis der Rauchausbreitung und der Rauchableitung in größeren Räumen (z. B. Industriehallen oder Atrien) eingesetzt werden können.

Den aktuellen Stand der Technik bei den Brandsimulationsmodellen stellt das Feldmodell (CFD-Modell) dar, das im Vergleich zum Zwei-Zonen-Modell eine erheblich größere Anzahl von Kontrollvolumina benutzt und den Austausch von Masse und Enthalpie direkt aus den grundlegenden Erhaltungsgleichungen berechnet. Das CFD-Modell kommt daher mit einer geringeren Zahl an Annahmen und experimentell ermittelten Parametern aus. Es liefert bei einem entsprechend großen Modellierungsaufwand - und Bedarf an Eingangsdaten - sehr detaillierte Informationen z. B. bezüglich der Verteilung von Temperaturen, der Strömungsgeschwindigkeiten von Rauchgasen und Frischluft und der Zusammensetzung der Rauchgase, nicht nur in einem Brandraum, sondern auch in angrenzenden, mit dem Brandraum durch Öffnungen verbundenen Räumen. Exemplarisch sind in Bild 6 die Strömungsgeschwindigkeiten beim freien Abströmen von Rauchgasen aus einem Brandraum in einen angrenzenden großen Raum (z. B. ein Atrium) dargestellt.

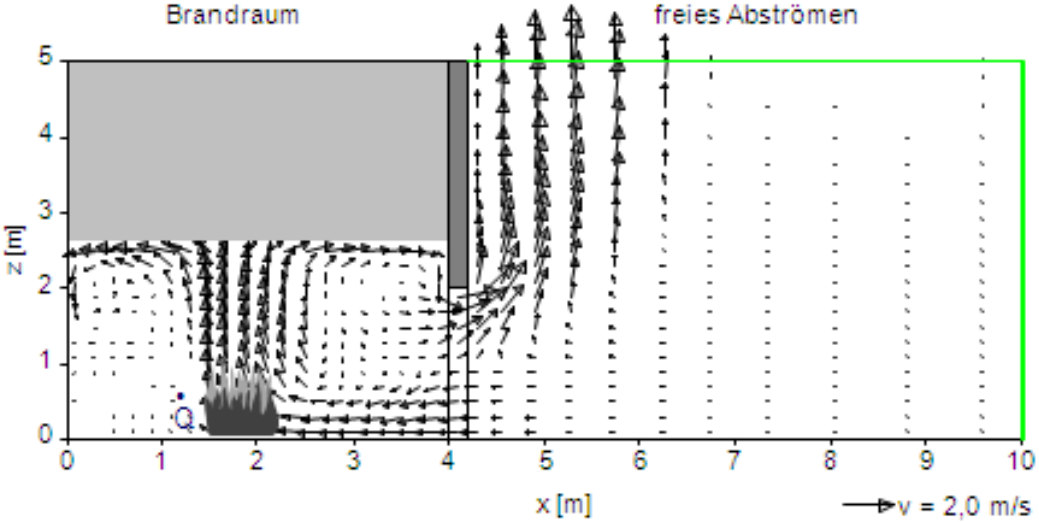


Bild 6 *Strömungsgeschwindigkeiten aufgrund der CFD-Simulation eines Brandes in einem Brandraum unter Einbeziehung des angrenzenden Raumbereichs (nach [8])*

Als Fazit ist festzuhalten, dass die Anwendung von Naturbrandmodellen in Ingenieurbüros im Rahmen von Gutachten und Brandschutzkonzepten gängige Praxis ist. Allerdings muss der Anwender über ausreichende Sachkenntnis und Erfahrung verfügen und die Leistungsfähigkeit bzw. Anwendungsgrenzen der Brandmodelle kennen. Der Eurocode 1 wird insbesondere bei der Beschreibung von Bemessungsbränden durch eine Bemessungswärmefreisetzungsrate zu einer Harmonisierung und besseren Vergleichbarkeit zwischen den Annahmen verschiedener Anwender beitragen.

EINGANGSDATEN FÜR DIE NATURBRANDMODELLE

Vorgaben nach DIN EN 1991-1-2, Anhang E

Wesentliche Eingangsgrößen für praktisch alle Naturbrandmodelle sind die Brandlastdichte und der zeitliche Verlauf der Wärmefreisetzungsrate. Der Bemessungswert der Brandlastdichte wird in dem Informativen Anhang E von DIN EN 1991-1-2 [1] in Abhängigkeit zahlreicher Faktoren δ_i definiert, die einerseits die Brandentstehungsgefahr in Abhängigkeit von der Grundfläche und Nutzung des betreffenden Gebäudeabschnittes (zwei Faktoren) und andererseits die brandschutztechnische Infrastruktur (bis zu 10 verschiedene Faktoren) berücksichtigen sollen. Eine solche multiplikative Verknüpfung von Faktoren setzt jedoch voraus, dass die jeweiligen Einflussgrößen voneinander unabhängig wirksam werden, d. h. redundant sind. Wenn das nicht zutrifft, liegt der Ansatz auf der unsicheren Seite. Er wird deshalb von deutscher Seite abgelehnt und im Nationalen Anhang zu DIN EN 1991-1-2 [5] durch ein transparenteres und mathematisch korrekteres Sicherheitskonzept nach [4] ersetzt. Die Grundlagen des Sicherheitskonzeptes werden im Beitrag von Weilert und Albrecht [9] näher erläutert.

Ausgehend von dem Sicherheitskonzept, war auch die Ermittlung der Brandlastdichte und Wärmefreisetzungsrate im Nationalen Anhang [5] anzupassen. Die betreffenden Regelungen werden hier zusammenfassend wiedergegeben.

Brandlastdichte

Der Bemessungswert der Brandlastdichte $q_{f,d}$ ist allgemein definiert durch:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \gamma_{fi,q} \quad [\mathrm{MJ/m^2}] \qquad (1)$$

Dabei ist

$q_{f,k}$ die charakteristische Brandlastdichte bezogen auf die Grundfläche A_f [MJ/m²];

m ein Abbrandfaktor [-]; für die im Hochbau mit Büro-, Wohn- und vergleichbaren Nutzungen typischen Mischbrandlasten mit einem überwiegenden Anteil an zellulosehaltigen Materialien darf pauschal m = 0,8 gesetzt werden.

$\gamma_{fi,q}$ ein Teilsicherheitsbeiwert, der die Auftretenswahrscheinlichkeit eines vollentwickelten Brandes in der Nutzungseinheit sowie die erforderliche Zuverlässigkeit der Bauteile berücksichtigt (siehe Sicherheitskonzept).

Die Brandlastdichte kann entweder pauschal über eine Brandlastklassifizierung nach der Nutzung oder durch Erhebung der einzelnen Brandlasten für ein bestimmtes Projekt bestimmt werden.

Den üblichen Gebäudenutzungen können durchschnittliche Brandlastdichten zugeordnet werden. Als charakteristischer Wert $q_{f,k}$ [MJ/m²] der auf die Grundfläche A_f bezogenen Brandlastdichte ist die 90 %-Fraktile zu verwenden. Zahlenwerte für verschiedene Nutzungen auf der Basis von [10] und [1] sind der Tabelle 2, letzte Spalte, zu entnehmen. Diese Werte gelten für Bereiche, die für die jeweilige Nutzung typisch sind. Besondere Räume sind gesondert zu betrachten. Brandlasten aufgrund der Gebäudekonstruktion (Tragelemente, Bekleidungen und Beschichtungen) sind getrennt zu ermitteln und zu den Brandlasten nach Tabelle 2 zu addieren.

Falls eine Klassifizierung nach der Nutzung nicht sinnvoll ist, müssen die Brandlasten für das spezielle Objekt unter Berücksichtigung der Nutzung erfasst werden. Bei der Erfassung der Brandlasten und ihrer lokalen Anordnung sind die geplante Funktion, die Möblierung und Installationen sowie mögliche Veränderungen im Laufe der Zeit durch andere Nutzung zu berücksichtigen. Falls möglich, sollte die Brandlasterhebung an einem vergleichbaren bestehenden Projekt so durchgeführt werden, dass lediglich die Unterschiede zu dem bestehenden Projekt vom Auftraggeber anzugeben sind. Nach Inbetriebnahme sind die Brandlastannahmen zu überprüfen. Dies gilt auch nach Nutzungsänderungen.

Tabelle 2 Brandlastdichten [MJ/m²] für verschiedene Nutzungen (nach [5])

Nutzung	Mittelwert	Standardab-weichung	90 %-Fraktile
Wohngebäude	780	234	1085
Bürogebäude	420	126	584
Krankenhaus (Zimmer)	230	69	320
Hotel (Zimmer)	310	93	431
Bibliothek, Bücherei	1500	450	2087
Schule (Klassenzimmer)	285	85,5	397
Verkaufsstätte, Einkaufszentrum	600	180	835
Versammlungsstätte (Theater, Kino)	300	90	417
Verkehrsanlage (öffentl. Bereich)	100	30	139
Industrie – Lager	1180	a)	2240
Industrie – Produktion	300	a)	590
a) Die Brandlastdichten in Industriegebäuden streuen stark. Die angegebenen Werte dienen als Anhalt; sie ersetzen in der Regel keine genauere Ermittlung im Einzelfall			

Der Bemessungswert der Brandlastdichte $q_{f,d}$ ist in diesem Fall definiert durch:

$$q_{f,d} = \frac{\sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot m_i \cdot \psi_i}{A_f} \cdot \gamma_{fi,q} \quad [\mathrm{MJ/m^2}] \qquad (2)$$

Dabei ist

$M_{k,i}$ Menge des brennbaren Stoffes [kg];

H_{ui} die Netto-Verbrennungswärme [MJ/kg];

m_i ein Abbrandfaktor [-];

ψ_i ein Beiwert zur Berücksichtigung geschützter Brandlasten

A_f die Grundfläche des Brandraumes bzw. der Nutzungseinheit [m²];

$\gamma_{fi,q}$ ein Teilsicherheitsbeiwert gemäß Sicherheitskonzept (s. u.).

Ständige Brandlasten, von denen angenommen wird, dass sie sich während der Nutzungsdauer des Gebäudes nicht ändern, sollten durch eine Erhebung mit den erwarteten Größen bestimmt werden.

Veränderliche Brandlasten, von denen angenommen wird, dass sie sich während der Nutzungsdauer ändern, sollten durch Größen berücksichtigt werden, die während 90 % der Nutzungszeit nicht überschritten werden (90 %-Fraktile).

Das unterschiedliche Abbrandverhalten der brennbaren Stoffe in Abhängigkeit von ihrer Art und Anordnung wird vereinfacht mit dem Abbrandfaktor m_i berücksichtigt. Der Abbrandfaktor m_i für häufig vorkommende Feststoffe, Flüssigkeiten

und Gase kann DIN 18230-3 [11] entnommen werden. Für die im Hochbau mit Büro-, Wohn- und vergleichbaren Nutzungen typischen Mischbrandlasten mit einem überwiegenden Anteil an zellulosehaltigen Materialien darf pauschal m = 0,8 gesetzt werden. In allen anderen Fällen ist auf der sicheren Seite liegend m = 1,0 anzunehmen.

Wärmefreisetzungsrate

Der Bemessungswert der Brandlastdichte kann verwendet werden, um den zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsrate zu bestimmen, die dann für die Ermittlung des Temperaturzeitverlaufs im Brandraum bzw. der Erwärmung von Bauteilen zu Grunde gelegt wird. Sowohl im Eurocode 1 Teil 1-2 als auch im Nationalen Anhang [5] wird die in Bild 7 dargestellte, international übliche und anerkannte Definition der Wärmefreisetzungsrate für einen nicht durch Löschmaßnahmen beeinflussten Brand zugrunde gelegt.

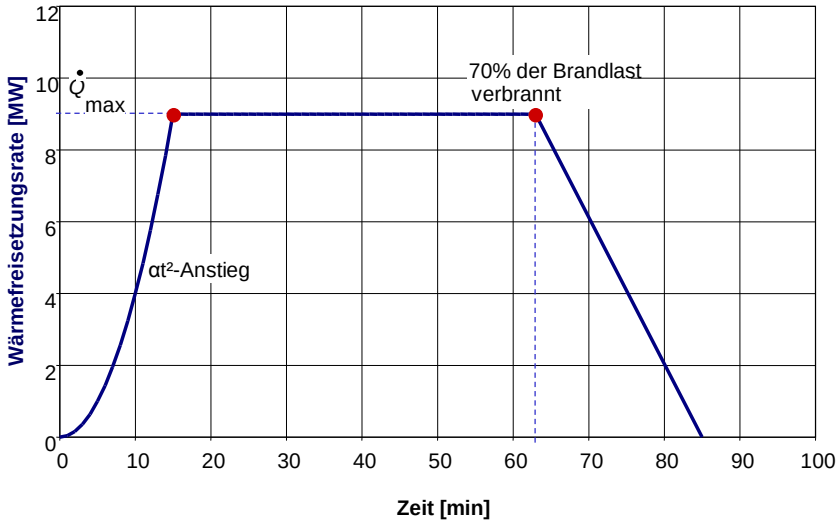


Bild 7 *Vorgabe des Bemessungsbrandes als zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsrate*

Der charakteristische Wert der Wärmefreisetzungsrate in der Phase der Brandentwicklung und -ausbreitung darf durch Gl. (3) ausgedrückt werden:

$$\dot{Q}_k = (t / t_\alpha)^2 \tag{3}$$

Dabei ist

t Zeit nach der Brandentstehung [s];

t_α Zeit [s], die erforderlich ist, bis eine Wärmefreisetzungsrate von 1 MW erreicht wird.

Der Parameter t_α für verschiedene Nutzungen kann aus Tabelle 3 entnommen werden. Dabei handelt es sich um charakteristische Werte, die etwa einer 90 %-Fraktile der statistischen Verteilung entsprechen. Bei einer extrem schnellen Brandausbreitung ist t_α = 75 Sekunden anzunehmen.

Tabelle 3 Parameter t_α für die Brandentwicklungphase und maximale flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate RHR_f für die stationäre Phase bei verschiedenen Nutzungen (charakteristische Werte)

Nutzung	Brandausbreitung	t_α [s]	RHR_f [MW/m^2]
Wohngebäude	mittel	300	0,25
Bürogebäude	mittel	300	0,25
Krankenhaus (Zimmer)	mittel	300	0,25
Hotel (Zimmer)	mittel	300	0,25
Bibliothek, Bücherei	schnell	150	0,50
Schule (Klassenzimmer)	mittel	300	0,25
Verkaufsstätte, Einkaufszentrum	schnell	150	0,25
Versammlungsstätte (Theater, Kino)	schnell	150	0,50
Verkehrsanlage (öffentl. Bereich)	langsam	600	0,25

Die Wärmefreisetzungsrate wird durch ein horizontales Plateau begrenzt, das der stationären Phase des vollentwickelten Brandes entspricht, mit dem charakteristischen Wert $\dot{Q}_{\max,k}$.

Für brandlastgesteuerte Brände kann der charakteristische Wert der maximalen Wärmefreisetzungsrate nach Gl. (4) bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{\max,f,k} = RHR_f \cdot A_f \qquad \text{[MW]} \tag{4}$$

Dabei ist

RHR_f charakteristischer Wert der flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate [MW/m^2] nach Tabelle 3; RHR_f *ist* die maximale Wärmefreisetzungsrate, die auf 1 m² bei einem brandlastgesteuerten Brand erreicht wird.

A_f maximale Brandfläche, in der Regel die Grundfläche des Brandraumes [m^2].

Für ventilationsgesteuerte Brände in Räumen bis 50 m^2 Grundfläche kann die maximale Wärmefreisetzungsrate vereinfacht nach Gl. (5) bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{\max,v,k} = 0{,}1 \cdot m \cdot H_u \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \qquad \text{[MW]} \tag{5}$$

Dabei ist

A_w Fläche der Ventilationsöffnungen [m^2];

h_w gemittelte lichte Höhe der Ventilationsöffnungen [m];

H_u Netto-Verbrennungswärme der maßgebenden Brandlast [MJ/kg]; im Hochbau darf in der Regel der Wert für Holz H_u = 17,5 MJ/kg verwendet werden;

m Abbrandfaktor [-]; im Hochbau darf für die Mischbrandlast pauschal m = 0,8 angenommen werden.

Die maximale Wärmefreisetzungsrate ist der kleinere der beiden Maximalwerte des ventilationsgesteuerten und des brandlastgesteuerten Brandes:

$$\dot{Q}_{\max,k} = MIN\ \ \dot{Q}_{\max,f,k}, \dot{Q}_{\max,v,k} \quad . \tag{6}$$

Der Bemessungswert der maximalen Wärmefreisetzungsrate ergibt sich nach Gleichung (7)

$$\dot{Q}_{\max,d} = \dot{Q}_{\max,k} \cdot \gamma_{fi,\dot{Q}} \tag{7}$$

mit

$\gamma_{fi,\dot{Q}}$ Teilsicherheitsbeiwert [-] für die Wärmefreisetzungsrate (s. u.).

Das horizontale Plateau der Wärmefreisetzungsrate endet, wenn 70 % der gesamten Brandlast aufgebraucht sind. Für die anschließende Abklingphase darf vereinfacht ein linearer Verlauf angenommen werden.

Sicherheitskonzept

Die Grundlagen des neuen Sicherheitskonzeptes für die Brandschutzbemessung und die Herleitung der Sicherheitselemente werden in [9] ausführlich dargestellt. Hier sollen lediglich die für die praktische Anwendung benötigten Regelungen aus [5] wiedergegeben werden.

Grundgedanke ist, dass die erforderliche Zuverlässigkeit der Brandschutzbemessung über die Seltenheit des Brandereignisses und die hinreichend konservative Festlegung der Bemessungsbrandeinwirkung sichergestellt werden soll. Das entspricht der bisherigen Praxis, die Brandeinwirkung über die für Brände im normalen Hochbau (Wohn- und Bürogebäude und Gebäude mit vergleichbarer Nutzung) repräsentative Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2 und eine bauordnungsrechtlich geforderte, auf der sicheren Seite liegende Feuerwiderstandsdauer zu definieren.

Je nach verwendetem Naturbrandmodell und Nachweisverfahren sind unterschiedliche Eingangsgrößen für die Brandeinwirkungen maßgebend und daher mit Teilsicherheitsbeiwerten zu beaufschlagen:

- die Brandausbreitungsgeschwindigkeit, wenn die Brandeinwirkung in der Frühphase des Brandes maßgebend wird (z. B. die Raumtemperatur bei ungeschützten Stahlbauteilen),
- die maximale Wärmefreisetzungsrate, die in der stationären Phase eines *brandlastgesteuerten Brandes* durch die maximale Brandfläche und eine flächenspezifische Wärmefreisetzungsrate begrenzt wird, oder die im *ventilationsgesteuerten Brand* von den Ventilationsbedingungen abhängt,
- die Brandlastdichte, wenn die Branddauer für die Bemessung maßgebend ist (z. B. bei Bauteilen mit größerer Feuerwiderstandsdauer und bei Holzbauteilen mit konstanter Abbrandgeschwindigkeit (nur dieser Fall wird in [1], Anhang E behandelt).

Basis für die Bestimmung der betreffenden Teilsicherheitsbeiwerte ist eine zulässige bedingte Versagenswahrscheinlichkeit $p_{f,fi}$ der Bauteile m Brandfall bzw. der damit verknüpfte Zuverlässigkeitsindex β_{fi}.

Im Hinblick auf die größtmögliche Transparenz der Zuverlässigkeitsanforderungen wird in [5] die rechnerische Ermittlung von $p_{f,fi}$ aus einer allgemein akzeptierten Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen p_f und der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadenfeuers p_{fi} schrittweise nachvollzogen.

Ausgangspunkt ist die von der Nutzung und der Größe der Nutzungseinheit abhängige Auftretenswahrscheinlichkeit eines Entstehungsbrandes p_1. Sie kann auf der Grundlage statistischer Auswertungen aus England [12] mit Gl. (8) abgeschätzt werden.

$$p_1 = 1 - \exp(a \cdot A_f^b) \approx a \cdot A_f^b \tag{8}$$

Dabei ist

A_f Grundfläche der brandschutztechnisch abgetrennten Nutzungseinheit [m^2];

a Basiswert der bezogenen Brandentstehungshäufigkeit je Quadratmeter [$1/(m^2 \cdot a)$];

b von der Nutzung und der Unterteilung der Nutzungseinheit (Raumzellen) abhängiger Exponent.

Zahlenwerte für a und b sind in Tabelle 4 für verschiedene Nutzungen angegeben. Vereinfacht kann die durchschnittliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_1 von mindestens einem Entstehungsbrand pro Jahr in einer Nutzungseinheit aus Tabelle 4, letzte Spalte entnommen werden. Diese Werte gelten für durchschnittliche Grundflächen A_f der entsprechend genutzten Bereiche.

Tabelle 4 Auftretenswahrscheinlichkeit p_1 von mindestens einem Entstehungsbrand je Nutzungseinheit und Jahr in Abhängigkeit von der Nutzung [5]

Nutzung	Auftretenswahrscheinlichkeit je Nutzungseinheit und Jahr		
	$p_1 \approx a \cdot A^b$		p_1
	a [1/(m²·a)]	b	[1/a]
Wohngebäude	4,8E-5	0,9	3.0E-3
Bürogebäude	5,9E-5	0,9	6.2E-3
Krankenhaus, Pflegeheim	7,0E-4	0,75	3,0E-1
Hotel, Beherbergungsstätte	8,0E-5	1,0	3,7E-2
Schule, Bildungseinrichtung	2,0E-4	0,75	4.0E-2
Verkaufsstätte, Geschäftshaus	6,6E-5	1,0	8,4E-3
öffentl. Versammlungsstätte (Theater, Kino)	9,7E-5	0,75	2.0E-2
private Versammlungsstätte (z.B. Diskothek)		1,0	1.2E-1
Industriegebäude, Produktion	1,7E-3	0,53	4.4E-2
Industriegebäude , Lagerung	6,7E-4	0,5	1.3E-2

Der Brand kann sich nur entwickeln und zu einem Schadenfeuer ausweiten, wenn er weder durch die Nutzer oder die später eintreffende Feuerwehr manuell bekämpft noch durch eine ortsfeste Löschanlage gelöscht oder kontrolliert wird. Für die Bemessung der Konstruktion ist nach [13] in der Regel nur das Schadenfeuer maßgebend, dessen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} gegenüber der des Entstehungsbrandes mit der Versagenswahrscheinlichkeit p_2 der manuellen Brandbekämfung bzw. p_3 der automatischen Löschanlage nach Gl. (9) reduziert wird.

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \tag{9}$$

Die Versagenswahrscheinlichkeit p_2 hängt einerseits von der Eingreifzeit und Leistungsfähigkeit der Feuerwehr und andererseits von der Brandausbreitung bis zum Beginn der Löscharbeiten ab. Bei einer öffentlichen Feuerwehr mit einer durchschnittlichen Eingreifzeit von maximal 15 Minuten kann pauschal mit $p_2 = 0{,}2$ gerechnet werden. Bei einer Werk- oder Betriebsfeuerwehr kann p_2 aufgrund der kürzeren Eingreifzeit und einer auf das spezielle Objekt ausgerichteten Stärke und Ausrüstung deutlich geringer sein. Zahlenwerte p_2 für die Brandbekämpfung können der Tabelle 5 entnommen werden. Zwischen den angegebenen Eingreifzeiten darf linear interpoliert werden.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit p_3 der Brandbekämpfung mittels einer automatischen Löschanlage hängt von der Art und Auslegung und dem Zeitpunkt der Auslösung der Löschanlage ab. Zahlenwerte p_3 für die Ausfallwahrscheinlichkeit verschiedener Löschanlagen können der Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5 Ausfallwahrscheinlichkeit p_2 bzw. p_3 der Brandbekämpfung bei Anforderung

Brandbekämpfung durch	Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung	
	p_2	p_3
öffentliche Feuerwehr mit Eingreifzeit < 15 min > 20 min	0,2 0,5	
Werkfeuerwehr mit Eingreifzeit [a)] < 10 min (vier Staffeln) < 10 min (zwei Staffeln)	0,02 0,05	
Automatische Löschanlage Sprinkleranlage nach VdS/CEA Standard in anderen Fällen Sonstige Wasserlöschanlage Gaslöschanlage		 0,02 0,05 0,1 0,1
[a)] Automatische Brandmeldung und Alarmierung werden vorausgesetzt.		

Anhaltswerte für die zulässige Versagenswahrscheinlichkeit p_f von Bauteilen werden für alle Bauweisen übergreifend im Euocode [14] in Abhängigkeit von dem Grenzzustand (der Tragfähigkeit oder der Gebrauchstauglichkeit) und den möglichen Schadensfolgen eines Versagens angegeben. Für die Brandschutzbemessung von Bauteilen bei den verschiedenen Gebäude- und Nutzungsarten können die entsprechenden Werte der Tabelle 6 entnommen werden. Wenn keine näheren Angaben vorliegen, sind die Werte für mittlere Schadensfolgen zu verwenden.

Die bedingte Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall $p_{f,fi}$ ergibt sich nun nach Gl. (10):

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} \tag{10}$$

Sie ist der Eingangswert für die Ermittlung der gesuchten Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{fi,q}$ der Brandlastdichte nach Gl. (2) sowie $\gamma_{fi,\dot{Q}}$ der Wärmefreisetzungsrate nach Gl. (7).

Die Teilsicherheitsbeiwerte können nach [5] alternativ aus einem Diagramm abgelesen, das in Bild 8 wiedergegeben ist, oder mit Gleichungen in Abhängigkeit vom Variationskoeffizienten und Streuungseinfluss der betreffenden Eingangsgröße berechnet werden. Für nähere Informationen wird auf die ausführlichere Darstellung in [9] verwiesen.

Tabelle 6 Richtwerte für den Zuverlässigkeitsindex β_{fi} und die zugehörige Versagenswahrscheinlichkeit p_f (Bezugszeitraum 1 Jahr) bei verschiedenen Nutzungen

Nutzung	Schadensfolgen					
	hoch		mittel		gering	
	β	p_f	β	p_f	β	p_f
Wohngebäude, Bürogebäude und vergleichbare Nutzungen (nach LBO)	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4
Krankenhaus, Pflegeheim, Beherbergungsstätte, Hotel, Schule, Verkaufsstätte, Versammlungsstätte, Hochhaus	5,2	1,0E-7	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5
Industriegebäude	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4
Landwirtschaftlich genutzte Gebäude	--	--	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4

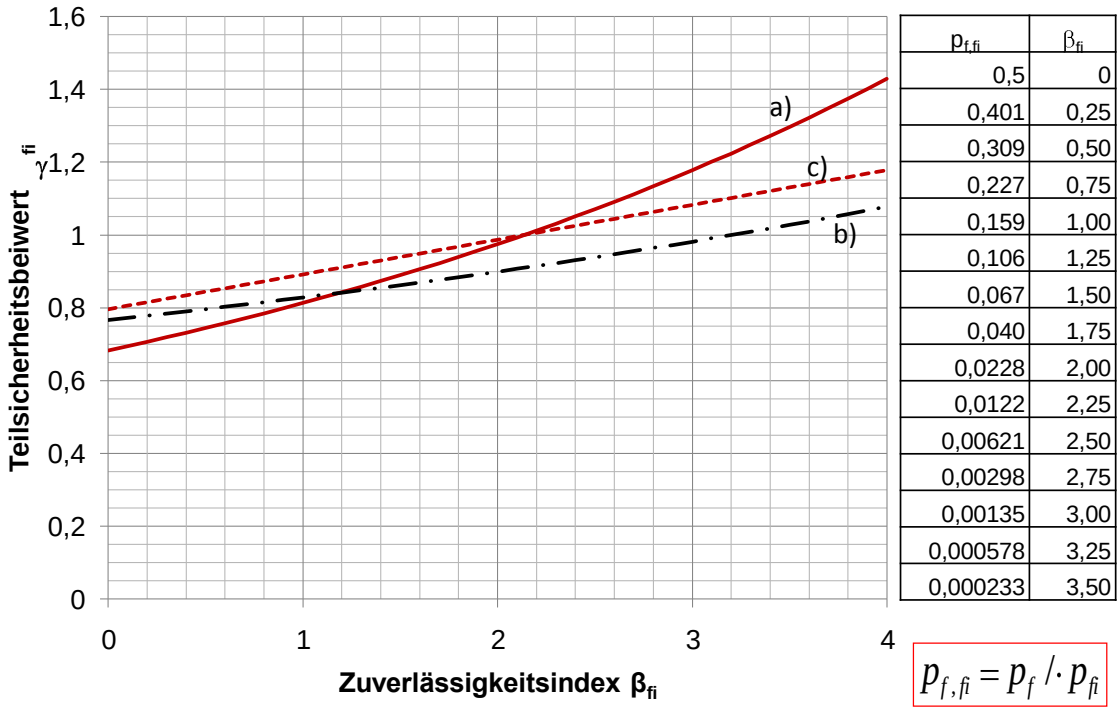


Bild 8 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einflussgrößen eines Naturbrandes bezogen auf die definierten charakteristischen Werte (90 %-Fraktilen): a) Brandlastdichte pauschal; b) Brandlastdichte individuell; c) Wärmefreisetzungsrate

NATIONALE ANWENDUNG

Die Eurocodes werden in Deutschland erst in vollem Umfang anwendbar sein, wenn alle europäischen Bemessungsnormen (für die „kalte“ und die „heiße“ Bemessung) einschließlich der darin zitierten Normen und der Nationalen Anhänge vorliegen.

Die Nationalen Anhänge zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 1 bis 5 wurden nach eingehender Beratung im DIN-Arbeitsausschuss „Konstruktiver Brandschutz“ und Abstimmung mit der Arbeitsgruppe "Europäische Brandschutzbemessungsnormen" der Fachkommission Bautechnik der ARGEBAU im Juni 2009 vom DIN als Normentwürfe veröffentlicht.

In der viermonatigen Einspruchsfrist (bis 13. November 2009) haben alle interessierten Fachkreise Gelegenheit zur Erprobung der genormten Nachweisverfahren unter Beachtung der Festlegungen in den Nationalen Anhängen und zu Stellungnahmen oder Einsprüchen an das DIN. Im Dezember 2009 wird dann der Arbeitsausschuss die eingegangenen Einsprüche, ggf. unter Anhörung der Einsprecher, beraten und in die endgültigen Fassungen der Nationalen Anhänge einarbeiten. Diese sollen nach derzeitiger Terminplanung im März 2010 als Weißdrucke (Bezeichnung: DIN EN 199X-1-2/NA) erscheinen.

Inzwischen soll die Fachöffentlichkeit durch Publikationen in Fachzeitschriften und Vorträge bei Fachtagungen (z. B. den Braunschweiger Brandschutz-Tagen) über die neuen Verfahren in den Brandschutzteilen der Eurocodes, die ergänzenden Regelungen in den Nationalen Anhänge sowie eventuelle Rückwirkungen auf das brandschutztechnische Sicherheitsniveau informiert werden. Hierfür sind insbesondere die Festlegungen in dem hier erläuterten Nationalen Anhang DIN EN 1991-1-2/NA von Bedeutung.

Die Nationalen Anhänge zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 6 (Mauerwerk) und 9 (Aluminiumtragwerke) können erst zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht werden. Hier ist wohl auch der Bedarf der Praxis an europäisch harmonisierten Bemessungsnormen nicht sehr groß.

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

Die national und international hoch geschätzte DIN 4102-4 wird auch weiterhin nützlich und erforderlich sein, da die Brandschutzteile der Eurocodes insbesondere für raumabschließende Bauteile kein abschließendes Bewertungskonzept enthalten. Ohne jeden Zweifel werden sich aber die Eurocodes für die Bemessung tragender Bauteile durchsetzen, denn sie ermöglichen erstmals alternativ vereinfachte oder genauere rechnerische Nachweise für Bauteile und Gesamttragwerke bei standardisierter oder natürlicher Brandbeanspruchung.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag werden nach einem kurzen Überblick über die Brandschutzteile der Eurocodes zunächst die Regelungen in DIN EN 1991-1-2 (Eurocode 1 Teil 1-2) zu den Einwirkungen im Brandfall vorgestellt, die den brandschutztechnischen Nachweisen von Bauteilen und Tragwerken nach den Brandschutzteilen der baustoffbezogenen Eurocodes 2 bis 6 und 9 zugrunde zu legen sind. Etwas detaillierter wird dabei auf die in mehreren Informativen Anhängen behandelten Naturbrandmodelle eingegangen, deren Anwendung für die Brandschutzbemessung nach den Eurocodes künftig in Deutschland gestattet werden soll unter der Voraussetzung, dass der Naturbrand im Rahmen eines Brandschutzkonzeptes festgelegt und begründet wird.

Die Anwendung der im Anhang A zu DIN EN 1991-1-2 beschriebenen parametrischen Temperaturzeitkurven wird aufgrund von Bedenken im DIN-Arbeitsausschuss nicht erlaubt. Hierfür wird im Anhang AA zum Nationalen Anhang DIN EN 1991-1-2/NA ein verbessertes Verfahren empfohlen. Ähnlich verhält es sich mit dem Sicherheitskonzept im Informativen Anhang E, mit dem Bemessungswerte für die Einflussgröße(n) der Brandeinwirkungen ermittelt werden sollen. Dieser Informative Anhang wird vollinhaltlich durch den Anhang BB zum Nationalen Anhang ersetzt, der neuere Forschungsergebnisse berücksichtigt.

Weiterhin wird gefordert, dass die Rechenprogramme für genauere Nachweise nach den sog. allgemeinen Rechenverfahren hinsichtlich der konsequenten Umsetzung der in den Eurocodes geregelten Rechengrundlagen validiert werden müssen. Dazu ist der Anhang CC zum Nationalen Anhang mit einer Sammlung von Validierungsbeispielen zu verwenden, die durch Vergleich mit exakten analytischen Ansätzen und mit Ergebnissen von umfangreich validierten Rechenverfahren jeden Schritt der thermischen und mechanischen Analyse überprüfen. Auf das Erfordernis der Validierung nach diesem Anhang CC wird in den Nationalen Anhängen zu den baustoffbezogenen Eurocode-Brandschutzteilen, die allgemeine Rechenverfahren vorsehen, hingewiesen.

Abschließend werden die nächsten Schritte bis zur nationalen Anwendbarkeit der Eurocode-Normen in Verbindung mit den Nationalen Anhängen und die vorgesehenen Fristen erläutert. Demnach ist zu hoffen, dass zumindest die Brandschutzteile der Eurocodes 1 bis 5 zusammen mit den Nationalen Anhängen im Herbst 2010 in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen werden und dann für leistungsorientierte Nachweise mit anerkannten Ingenieurmethoden des Brandschutzes angewendet werden dürfen.

LITERATUR

[1] DIN EN 1991-1-2:2003-09, Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke.

[2] Beuth-Kommentar (Hrsg.: DIN und D. Hosser): Brandschutz in Europa – Bemessung nach Eurocodes; Beuth Verlag GmbH; 1.Auflage 2000.

[3] 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 im Auftrag des Deutschen Institut für Bautechnik. Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Dezember 2004.

[4] Hosser, D.; Weilert, A.; Klinzmann, C.; Schnetgöke, R.: Erarbeitung eines Sicherheitskonzeptes für die brandschutztechnische Bemessung unter Anwendung von Ingenieurmethoden gemäß Eurocode 1 Teil 1-2“ (Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung). Abschlussbericht zum DIBT-Forschungsvorhaben ZP 52-5-4.168-1239/07. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Juni 2008

[5] E DIN EN 1991-1-2/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter — Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2/NA: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Entwurf Juni 2009.

[6] Zehfuß, J.; Hosser, D.: A parametric natural fire model for the structural fire design of multi-storey buildings, Fire Safety Journal 42 (2007) 115 - 126.

[7] Hosser, D.; Dorn, T.; Neumann, P.; Siegfried, W.: Vereinfachter Brandschutznachweis für außenliegende Stahlbauteile. Stahlbau 65 (1996), Heft 2, 64 – 68.

[8] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdb TB 04/01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), 2009

[9] Weilert, A.; Albrecht, C.: Übergreifendes Sicherheitskonzept für Brandschutznachweise mit Ingenieurmethoden. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ’09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, Braunschweig 2008, ISBN 978-3-89288-191-9.

[10] CIB W 14 Workshop Report, A Conceptual Approach towards a Probability Based Design Guide on Structural Fire Safety, 1983.

[11] DIN 18230-3:2002-08: Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 3: Rechenwerte.

[12] BS PD 7974-7:2003 - Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment.

[13] Klinzmann, C.; Hosser, D.: Berücksichtigung abwehrender und anlagentechnischer Maßnahmen beim brandschutztechnischen Nachweis von Bauteilen. vfdb-Zeitschrift 58 (2009), Heft 2, 62-75.

[14] EN 1990:2002-04 – Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung.

BRANDSCHUTZTECHNISCHE BEMESSUNG VON BETONTRAGWERKEN NACH EUROCODE 2 TEIL 1-2

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

EINLEITUNG

Mit Ablauf der Einspruchsfrist zu den Nationalen Anhängen der Brandschutzteile der Eurocodes im November 2009 rückt der Termin für die bauaufsichtliche Freigabe der Eurocodes zur brandschutztechnischen Bemessung näher. Über die letzten Hürden, die noch genommen werden müssen und über die Vorgaben, die für die Anwendung der Brandschutzteile in Deutschland beachtet werden müssen, berichtet Hosser in [1].

In diesem Beitrag wird über die brandschutztechnische Bemessung von Betontragwerken nach DIN EN 1992-1-2 [2] berichtet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den vereinfachten und allgemeinen Rechenverfahren, die in der deutschen Brandschutznorm DIN 4102 Teil 4 und Teil 22 nicht enthalten sind. Diese Rechenverfahren für die Bemessung des konstruktiven Brandschutzes orientieren sich weitgehend an den Tragwerksnachweisen für die Gebrauchslastfälle bei Normaltemperatur und stellen damit für Tragwerksplaner prinzipiell nichts Neues dar. Allerdings müssen die speziellen brandschutztechnischen und physikalischen Grundlagen berücksichtigt werden und entsprechende Erfahrungen bei deren Anwendung vorhanden sein [3].

Um die Verbreitung der Rechenverfahren zu unterstützen, werden im Beitrag nach einer kurzen Darstellung der Rechengrundlagen einige Anmerkungen zu häufig gestellten Fragen hinsichtlich der Anwendung der Verfahren gemacht.

Gleichzeitig sollen die Hintergründe der Verfahren erläutert werden, um damit das Verständnis für die neuen Nachweisverfahren zu erhöhen und gleichzeitig Fehler bei der Anwendung zu vermeiden.

VEREINFACHTES RECHENVERFAHREN NACH DIN EN 1992-1-2

Das vereinfachte Rechenverfahren wird in DIN EN 1992-1-2, Abschnitt 4.2.1 für den brandschutztechnischen Nachweis von schlanken Stützen unter Normbrandbeanspruchung empfohlen. Das als „Zonenmethode“ bezeichnete Verfahren basiert auf einer von der Branddauer abhängigen Verkleinerung des Betonquerschnitts 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, über die reduzierten Baustoff-

eigenschaften wird 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 in DIN EN 1992-1-2 angegebenen Gleichungen oder Diagramme (Bild 1).
- Ermittlung der temperaturabhängigen Reduktionsfaktoren für Beton $k_c(\Theta)$ (Bild 2) und Bewehrungsstahl $k_s(\Theta)$ (Bild 3).
- Nachweis der Tragfähigkeit des Bauteils $R_{fi,d,t}$ mit dem Restquerschnitt analog zum Nachweis für Normaltemperatur nach DIN EN 1992-1-1 [4] für die maßgebenden Lasteinwirkungen $E_{fi,d,t}$ nach DIN EN 1991-1-2 [8].

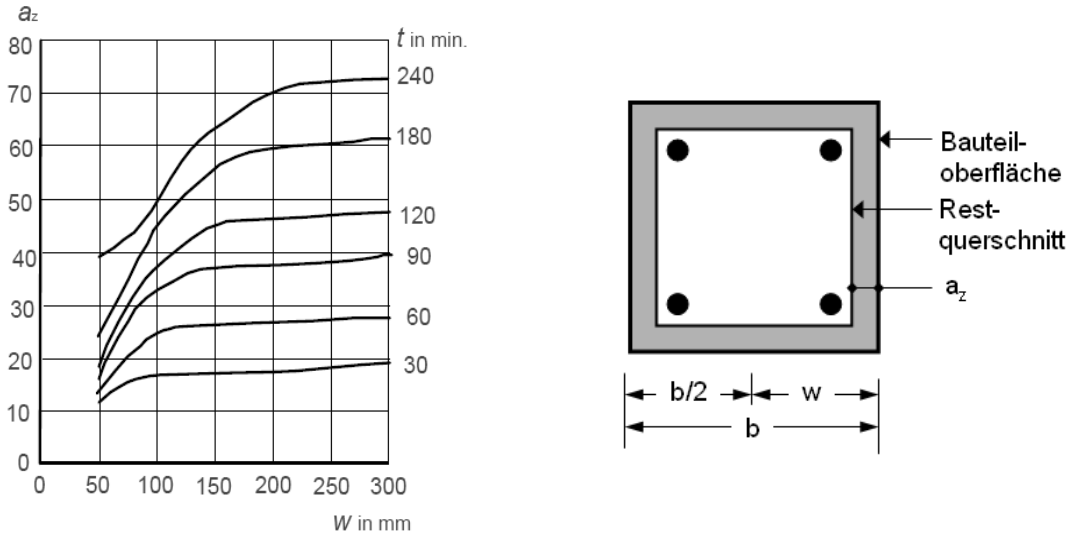


Bild 1 *Verkleinerung des Betonquerschnitts von Stützen um das Maß a_z und Restquerschnitt einer 4-seitig brandbeanspruchten Stahlbetonstütze*

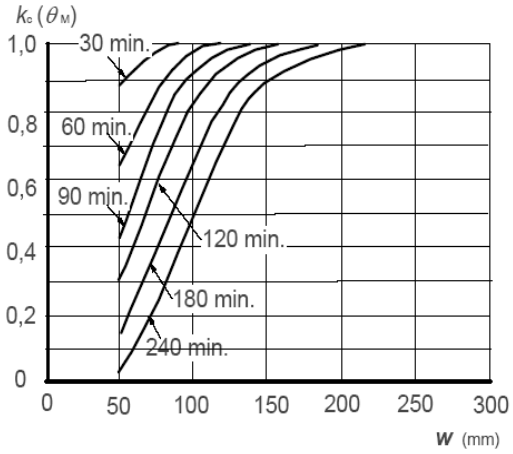


Bild 2 *Temperaturabhängige Reduktionsfaktoren für die charakteristische Druckfestigkeit von Beton $k_c(\Theta)$*

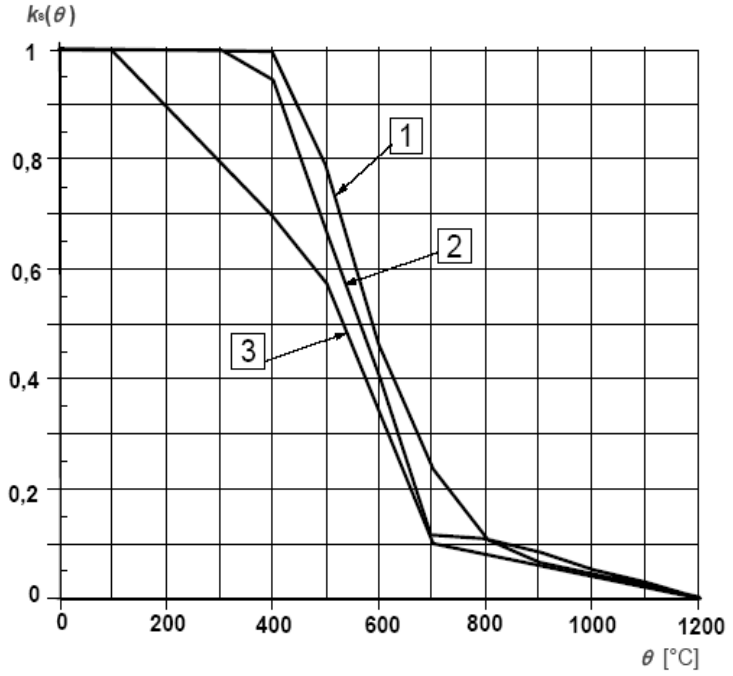


Bild 3 Temperaturabhängige Reduktionsfaktoren für die charakteristische Festigkeit von Zug- und Druckbewehrung $k_s(\Theta)$ (naturharter (Kurve 1) und kalt verformter (Kurve 2) Betonstahl mit $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$ und mit $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ (Kurve 3))

Anmerkungen zur Verkleinerung des Betonquerschnitts a_z

Gelegentlich wurde die Verkleinerung des Betonquerschnitts a_z mit den Gleichungen aus der DIN EN 1992-1-2, Anhang B.2 (dort Gln. (B.11) bis (B.13)) berechnet und dann mit dem aus Bild 1 abgelesenen Wert verglichen. Dabei traten Abweichungen auf, die zur Frage führten, ob die mit der Zonenmethode ermittelten Ergebnisse auf der unsicheren Seite liegen.

In diesem Zusammenhang wurde auch gefragt, warum das Maß a_z bei gleicher Branddauer mit zunehmender Querschnittsdicke w anwächst (s. Bild 1). Aus dem Verlauf der Isothermen kann dieses Verhalten nicht erklärt werden. Vergleichbare Isothermen liegen mit zunehmender Querschnittsdicke etwas näher am beflammten Querschnittsrand, was dann einer Verkleinerung des a_z-Wertes entsprechen würde (Bild 4).

In der DIN EN 1992-1-2, Anhang B.2 sind Gleichungen (B.12 und B.13) und Bilder (B.5b und B.5c) für den Wert a_z enthalten: Gleichung (B.12) und Bild B.5b gelten für biegebeanspruchte Bauteile wie Balken und Platten und Gleichung (B.13) und Bild B.5c (hier Bild 1) gelten für druckbeanspruchte Bauteile, bei denen Auswirkungen infolge Theorie 2. Ordnung berücksichtigt werden müssen. Die Unterscheidung zwischen biege- und druckbeanspruchten Bauteilen macht deutlich, dass der Wert a_z eine mechanische Bedeutung besitzt. In [5] werden die Gleichungen für das Maß a_z an einem unendlich langen, zweiseitig brandbeanspruchten Wandquerschnitt hergeleitet. Durch a_z wird die Größe der

druckbeanspruchten Querschnittsfläche so festgelegt, dass die resultierende Betondruckkraft durch einen Spannungsblock mit der temperaturabhängigen Betondruckfestigkeit im Mittelpunkt der Druckfläche ermittelt werden kann (Bild 5) bzw. die infolge Brand verminderte Biegesteifigkeit eines Stützen- oder Wandquerschnitts näherungsweise erfasst wird.

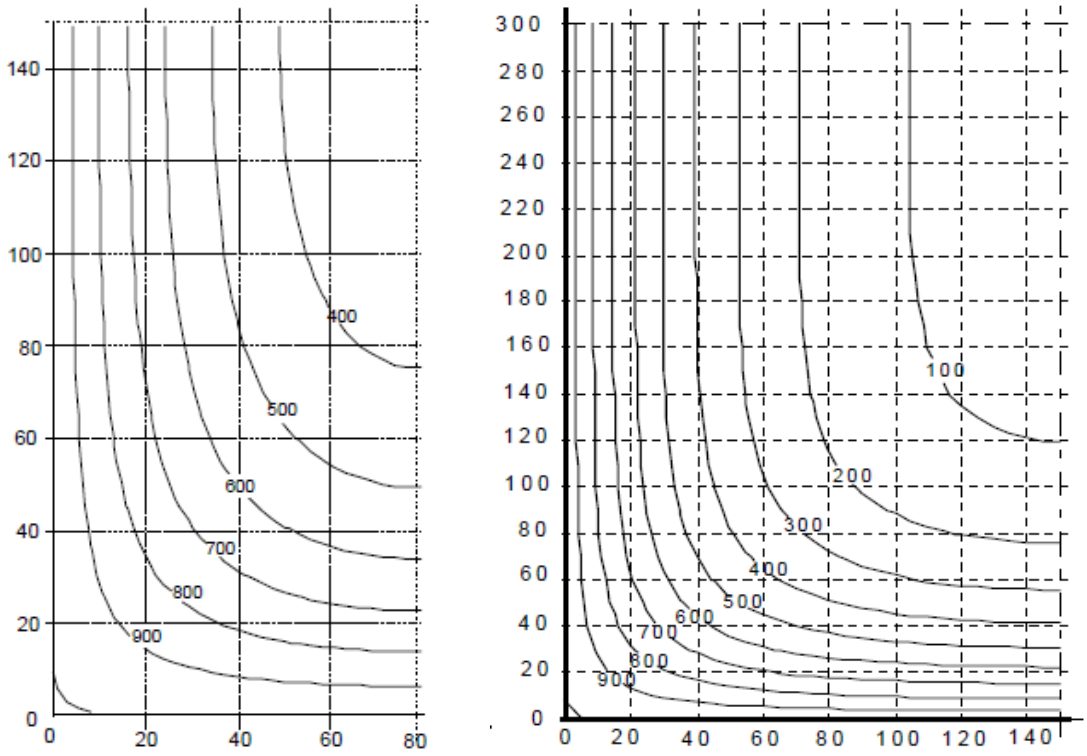


Bild 4 *Isothermenverläufe in dreiseitig brandbeanspruchten Balkenquerschnitten nach 90 min Normbrandbeanspruchung (aus DIN EN 1992-1-2, Anhang A)*

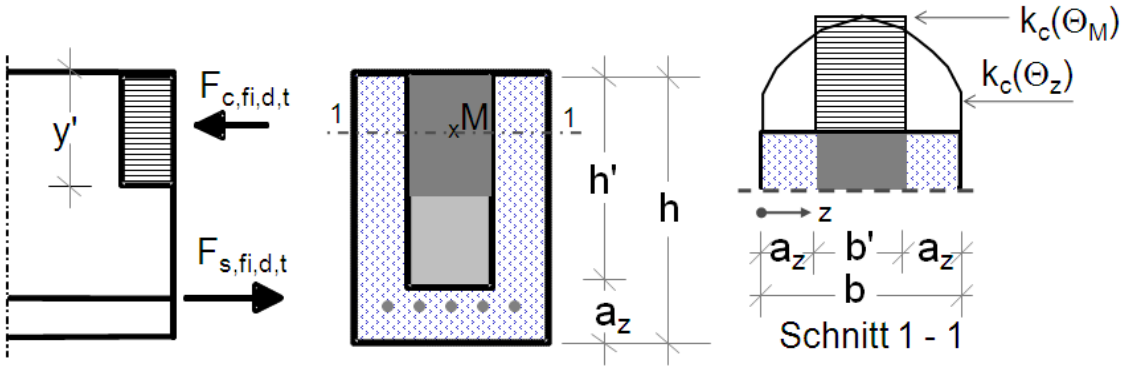


Bild 5 *Prinzip der Tragfähigkeitsberechnung mit brandreduziertem Betonquerschnitt und temperaturabhängig reduzierten Festigkeiten am Beispiel der Biegemomententragfähigkeit eines Stahlbeton-Rechteckquerschnitts*

Nach Bild 5 lässt sich die resultierende Betondruckkraft $F_{c,fi,d,t}$ für einen dreiseitig brandbeanspruchten Querschnitt durch Gleichung (1) mit dem Teilsicherheitsbeiwert für Beton im Brandfall $\gamma_{c,fi}$ = 1,0 und dem Beiwert $k_c(\Theta(z))$ für die temperaturabhängige Reduktion der charakteristischen Druckfestigkeit des Betons ausdrücken.

$$F_{c,fi,d,t} = y \cdot \int_0^b k_c(\theta(z))dz \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}} \tag{1}$$

In der Regel verlaufen die Isothermen im Bereich der Betondruckzone parallel zu den Seitenflächen des Querschnitts, so dass die resultierende Betondruckkraft $F_{c,fi,d,t}$ durch Gleichung (2) wiedergegeben werden kann. Dabei erstreckt sich der Spannungsblock über die reduzierte Querschnittsfläche mit den Abmessungen y‘ und b‘ und der Betondruckspannung $k_c(\Theta_M) \cdot f_{ck,20°C}/\gamma_{c,fi}$ mit dem Beiwert $k_c(\Theta_M)$ nach Bild 2 für die Betontemperatur Θ_M im Mittelpunkt der druckbeanspruchten Querschnittsfläche y‘·b‘.

$$F_{c,fi,d,t} = y' \cdot b' \cdot k_c(\theta_M) \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}} \tag{2}$$

Unter der Voraussetzung, dass – wie bei der Bemessung für Raumtemperatur - y‘ ≈ 0,8·y beträgt, werden die auf die Höhe der Druckzone y bzw. y‘ bezogenen Betondruckkräfte nach Gleichung (1) und (2) gleichgesetzt und anschließend Gleichung (3) nach der Breite des Spannungsblocks b‘ aufgelöst (Gl. (4)), wobei die Größe η das Verhältnis zwischen der Breite des Spannungsblocks b‘ und der Breite des Querschnitts b angibt.

$$\int_0^b k_c(\theta(z))dz = b' \cdot k_c(\theta_M) \tag{3}$$

$$b' = \frac{\int_0^b k_c(\theta(z))dz}{k_c(\theta_M)} = b \cdot \eta \tag{4}$$

Aus der Differenz zwischen der Breite des Querschnitts b und der Breite des Spannungsblocks b‘ nach Gleichung (5) ergibt sich Gleichung (6) (DIN EN 1992-1-2, Anhang B: Gl.(B.12)) für das Maß a_z:

$$2 \cdot a_z = b - b' = b - b \cdot \eta = b \cdot (1 - \eta) \tag{5}$$

$$a_z = \frac{b}{2} \cdot (1 - \eta) = w \cdot (1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)}) \tag{6}$$

mit $k_{c,m} = \dfrac{\int_0^b k_c(\theta(z))dz}{b}$ (7)

In DIN EN 1992-1-2 wird Gleichung (7) durch den Summenausdruck nach Gleichung (8) (dort Gl. (B.11)) ersetzt:

$$k_{c,m} = \frac{(1-0{,}2/n)}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} k_c(\theta_i) \qquad (8)$$

Damit geht in die Berechnung von a_z die Anzahl n der Zonen ein, in die der brandbeanspruchte Querschnittsbereich unterteilt wird. In der Norm wird dafür lediglich n ≥ 3 gefordert. Weiterhin ist für jede Zone die Temperatur in der Mitte zu bestimmen, was bei einer einseitigen Brandbeanspruchung einer Wand oder Decke noch zu annähernd gleichen Werten führt, aber bei einem drei- oder vierseitig brandbeanspruchten Balken- oder Stützenquerschnitt eine relativ große Streuung der Ergebnisse ergeben kann.

Ergebnisse von Untersuchungen über die Auswirkung der Anzahl paralleler Zonen n auf das Maß a_z zeigt Bild 6. Mit größer werdender Anzahl n wird der Abstand zu den Kurven aus den Diagrammen der DIN EN 1992-1-2, Anhang B, Bild 5b geringer. Für die ausgesuchten Branddauern von 30, 90 und 180 Minuten wird mit n = 20 eine ausreichende Annäherung an die Werte der Norm erreicht. Die berechneten Werte a_z sind größer als die Werte im Diagramm der DIN EN 1992-1-2, Bild B.5b und liegen damit auf der sicheren Seite.

Im Bild 6 sind als gestrichelte Kurven die a_z-Werte zu Brandbeginn (0 min.) eingetragen. Naturgemäß tritt nach 0 Minuten Branddauer keine Festigkeitsabnahme im Querschnitt auf und die a_z-Werte müssen 0 mm betragen. Die fehlerhaften a_z-Werte entstehen durch den Faktor (1 – 0,2/n) in Gleichung (8). Dieser Fehler kann vermieden werden, wenn für die Berechnung des bestimmten Integrals in Gleichung (7) keine Summenbildung wie in Gleichung (8) benutzt wird, sondern als Näherung die Simpsonsche Regel nach Gleichung (9) angewendet wird. Zu beachten ist dabei, dass n immer gerade sein muss.

$$k_{c,m} = (k_{c,0} + 4k_{c,1} + 2k_{c,2} + 4k_{c,3} + \ldots + k_{c,n})/(3 \cdot n) \qquad (9)$$

Bild 7 zeigt, dass bei Anwendung der Simpsonschen Regel bereits bei n= 4 eine sehr gute Übereinstimmung mit den a_z-Werten aus den Diagrammen der DIN EN 1992-1-2, Bild B.5b besteht. Die Vergrößerung auf n ≥ 10 bewirkt erst für die Branddauer 180 Minuten eine geringe Vergrößerung des a_z-Wertes um weniger als 5 mm.

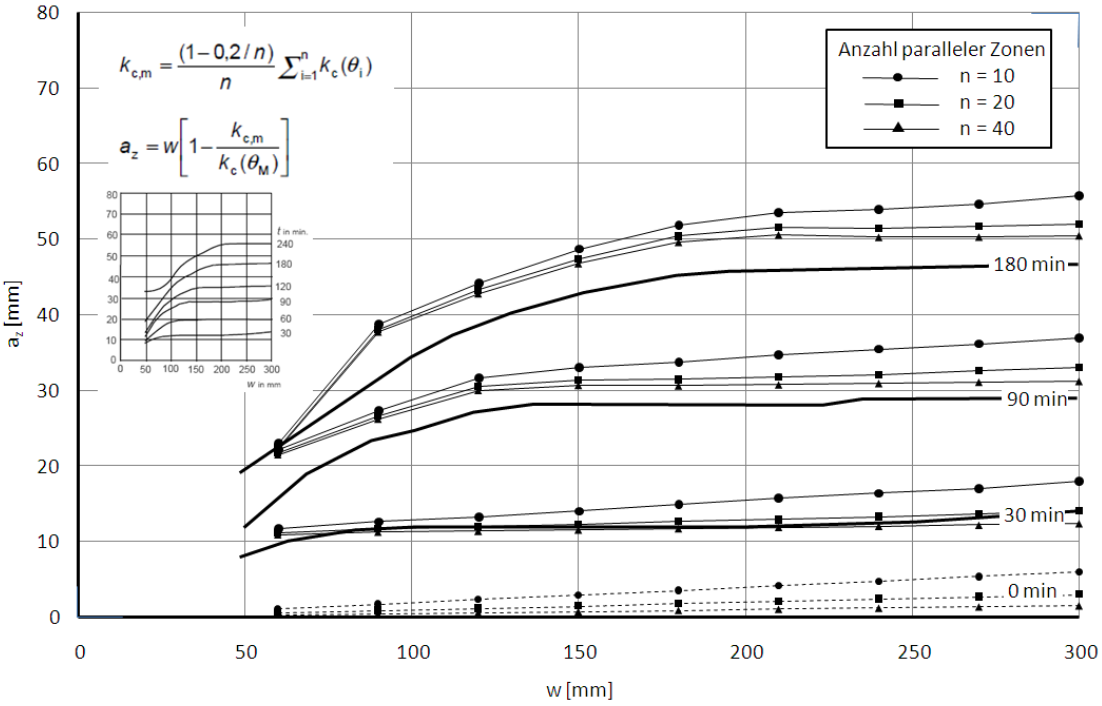


Bild 6 *a_z-Werte eines biegebeanspruchten Bauteils. Berechnet mit den Gleichungen (6) und (8) für unterschiedliche Anzahl paralleler Zonen n und a_z-Werten für 30, 90 und 180 Minuten Branddauer aus dem Diagramm der DIN EN 1992-1-2, Bild B.5b*

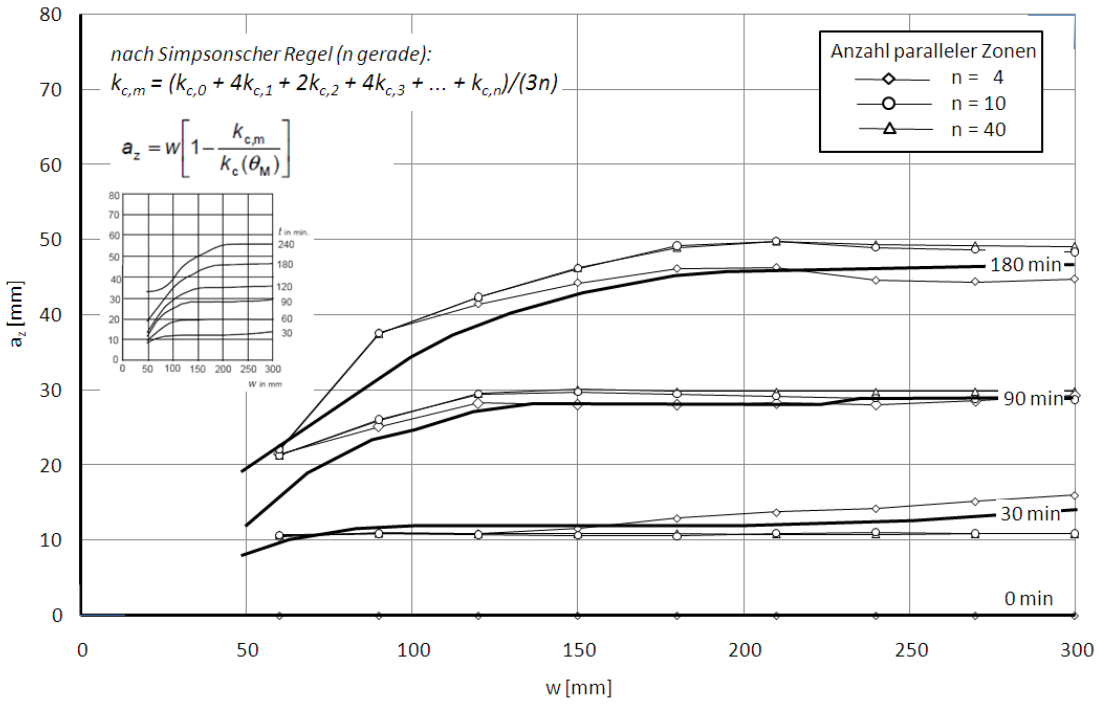


Bild 7 *a_z-Werte eines biegebeanspruchten Bauteils. Berechnet mit den Gleichungen (6) und (9) für unterschiedliche Anzahl paralleler Zonen n und a_z-Werten für 30, 90 und 180 Minuten Branddauer aus dem Diagramm der DIN EN 1992-1-2, Bild B.5b*

Umfangreiche Vergleichsrechnungen für repräsentative Stahlbetonbauteile in [6] haben gezeigt, dass die Nachweise mit dem vereinfachten Rechenverfahren (Zonenmethode) in der Regel auf der sicheren Seite liegen. Bild 8 zeigt Bemessungswerte der Biegemomente $M_{R,fi,d,t}$ aus [6], die mit dem allgemeinen und dem vereinfachten Rechenverfahren der DIN EN 1992-1-2 berechnet wurden. Die Ergebnisse mit dem vereinfachten Rechenverfahren liegen für die untersuchten Branddauern t = 30 min bis t = 120 min für die schwach und für die stark bewehrten Rechteckquerschnitte auf der sicheren Seite. Die a_z-Werte wurden dabei jeweils aus den Diagrammen der DIN EN 1992-1-2, Anhang B, Bild B.5b abgelesen.

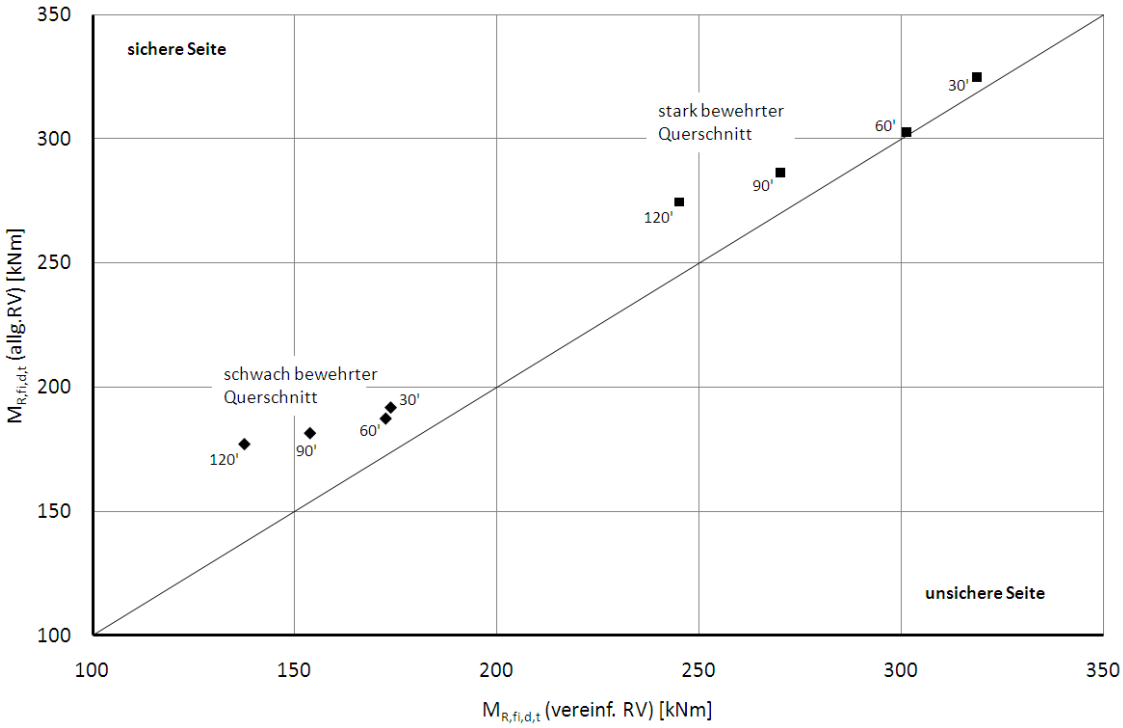


Bild 8 *Bemessungswerte der Biegemomente $M_{R,fi,d,t}$ nach der EN 1992-1-2 nach dem vereinfachten Rechenverfahren (Zonenmethode) und dem allgemeinen Rechenverfahren für schwach und stark bewehrte Rechteckquerschnitte (aus [6])*

Anmerkung zur Stützenbemessung mit der Zonenmethode

In DIN EN 1992-1-2, Abschnitt 4.2.1 wird in Anmerkung 1 die Anwendung der Zonenmethode „für kleine Querschnitte und schlanke Stützen“ empfohlen. Das Rechenverfahren wird im Anhang B.2 beschrieben, wobei für Stützen, bei denen die Auswirkungen infolge Theorie 2. Ordnung berücksichtigt werden müssen, eine Gleichung zur Berechnung der geschädigten Zone a_z angegeben wird (dort Gl. (B.13)) oder der Wert a_z direkt aus dem Diagramm in Bild 1 (dort Bild B.5) abgelesen werden kann. Die weiteren Angaben im Anhang B.2 (9) empfehlen dann die Anwendung eines Berechnungsverfahrens für Normal-

temperatur unter Berücksichtigung des reduzierten Querschnitts, der temperaturabhängigen Festigkeiten und des neuen Elastizitätsmoduls.

Die Angaben in DIN EN 1992-1-2, Anhang B.2 sind für eine praxisrelevante brandschutztechnische Stützenbemessung, insbesondere zur Berechnung der Stützenverformungen, unzureichend. Aus diesem Grund wird in dem deutschen Dokument, das Berichtigungen und Korrekturen zur EN 1992-1-2 [7] enthält, das vereinfachte Rechenverfahren (Zonenmethode) lediglich für kleine Querschnitte empfohlen, die Empfehlung für schlanke Stützen wurde gestrichen.

ALLGEMEINES RECHENVERFAHREN NACH DIN 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 tabellarischen Nachweis und zum vereinfachten Rechenverfahren den größten Aufwand, da in der Regel eine thermische Analyse zur Ermittlung der Bauteiltemperaturen und anschließend eine mechanische Analyse zur Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens durchgeführt werden muss. Für den Nachweis werden Rechengrundlagen zur Ermittlung der Temperatur- und Lasteinwirkungen benötigt, die in DIN EN 1991-1-2 [8] genormt sind. Weiterhin werden Angaben über die temperaturabhängige Veränderung der thermo-mechanischen Eigenschaften der Baustoffe (Wärmeleitfähigkeit, Festigkeit, thermische Dehnung, usw.) benötigt. Für Stahlbetonbauteile sind dazu detaillierte Angaben in DIN EN 1992-1-2 enthalten, die hier nur verkürzt dargestellt werden.

Im Rahmen der thermischen Analyse werden die Temperaturen im Bauteilquerschnitt berechnet. Dabei wird von den Heißgastemperaturen im Brandraum ausgegangen, die als thermische Einwirkungen nach DIN EN 1991-1-2 [8] vorgegeben werden. Bei der Berechnung der Temperaturen im Bauteilquerschnitt müssen die temperaturabhängigen thermischen Materialkennwerte des Bauteilquerschnitts und – sofern vorhanden – der Schutzschichten berücksichtigt werden.

Im Rahmen der mechanischen Analyse werden das Trag- und ggf. auch das Verformungsverhalten der brandbeanspruchten Bauteile oder Tragwerke berechnet. Dabei müssen auf der Einwirkungsseite die Einflüsse aus der Belastung, behinderten thermischen Verformungen (Zwangkräfte und –momente) sowie gegebenenfalls aus nichtlinearen geometrischen Einflüssen berücksichtigt werden. Auf der Widerstandsseite gehen die temperaturabhängigen thermo-mechanischen Eigenschaften der Baustoffe und die thermischen Dehnungen ein. Das Tragverhalten nach dem Abkühlen des Tragwerks, die sog. Resttragfähigkeit im wieder erkalteten Zustand, wird in der Regel nicht betrachtet.

Thermische Analyse

Ausgehend von dem nach DIN EN 1991-1-2 ermittelten zeitlichen Verlauf der Heißgastemperatur werden die thermischen Einwirkungen auf die Bauteile ermittelt. In diesem Beitrag wird als Heißgastemperaturverlauf nur die Einheitstemperaturzeitkurve betrachtet. Hierfür wird der Netto-Wärmestrom in die Bauteiloberfläche mit dem Wärmeübergangskoeffizienten für Konvektion α_c = 25 W/m^{2}K aus DIN EN 1991-1-2 und der Emissivität ε_m = 0,7 aus DIN EN 1992-1-2 berechnet.

Grundlage für die Berechnung der Temperaturverteilung in Bauteilen ist die Differentialgleichung von Fourier (Gl. (10)) zur Beschreibung der instationären Wärmeleitung in Festkörpern. Dabei wird vorausgesetzt, dass keine Wärmequellen oder -senken im Körperinneren vorhanden sind.

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = a \cdot \left(\frac{\delta^2\theta}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\theta}{\delta y^2} + \frac{\delta^2\theta}{\delta z^2}\right) \tag{10}$$

mit

T 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 Gleichung (10) 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 Bauteiltemperatur, 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 Temperaturausbreitung in Bauteillängsrichtung wird vernachlässigt. In stabförmigen Bauteilen wird die Temperaturausbreitung 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 °C bis 200 °C berücksichtigt (Bild 9).
- Beton wird bezüglich seiner thermischen Materialeigenschaften als homogener Baustoff angesehen. Das heterogene Gefüge, Kapillarporen und Risse werden pauschal in den thermischen Materialgesetzen erfasst.

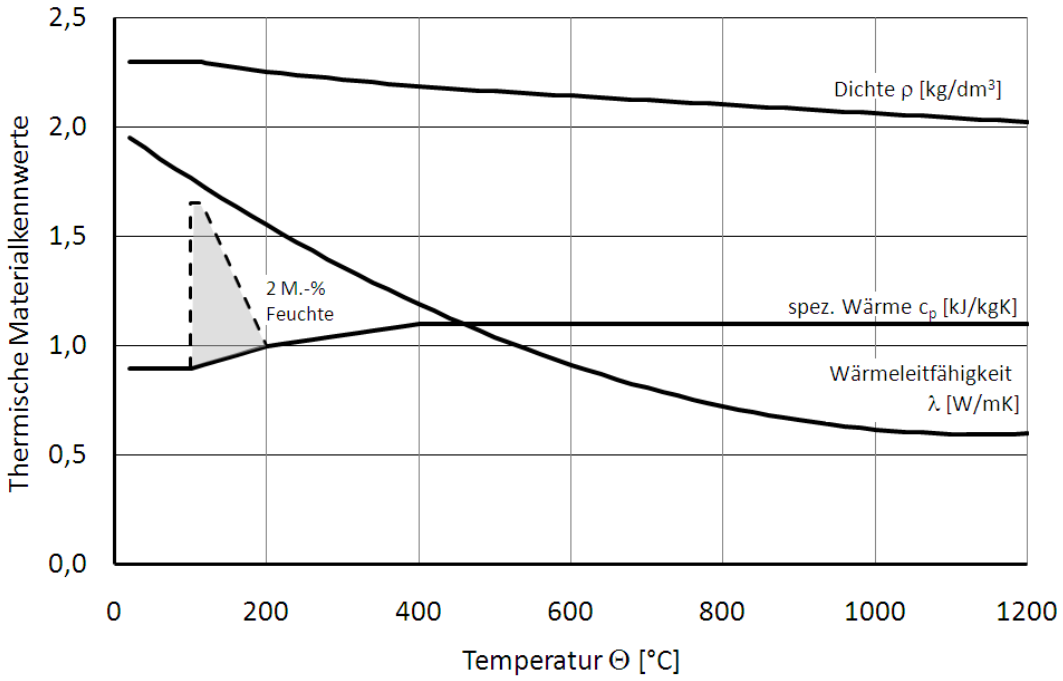


Bild 9 *Rechenwerte der temperaturabhängigen thermischen Materialkennwerte von Beton*

Anmerkungen zur thermischen Analyse

Für die Berechnung der Temperaturverteilung in hochbautypischen Bauteilen 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 beflammten 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 auf einander abgestimmt sein.
- Das Zeitintervall zur Berechnung der Temperaturverteilung sollte bei Stahlbetonquerschnitten 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 (Bild 10).

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

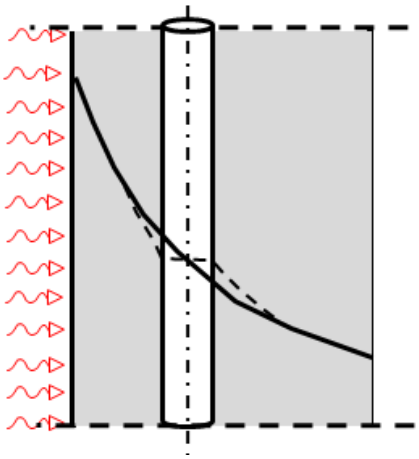


Bild 10 *Temperaturverlauf in einem einseitig brandbeanspruchten Wandabschnitt. Die durchgezogene Linie zeigt die Temperaturen im Bereich ohne Bewehrung, die gestrichelte Linie im Bereich mit Bewehrung.*

DIN EN 1992-1-2, Anhang A enthält Temperaturprofile und Isothermenverläufe für Platten, Balken und Stützen. Die Temperaturen wurden mit der unteren Grenzfunktion für die thermische Leitfähigkeit λ berechnet. Die Annahme der unteren Grenzfunktion für die thermische Leitfähigkeit λ steht im Widerspruch zur Empfehlung im deutschen nationalen Anhang zur DIN EN 1992-1-2 [9], die obere Grenzfunktion für die thermische Leitfähigkeit zu benutzen.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Funktionen auf die Temperaturen in Betonquerschnitten wurden in [10] durch Vergleichsrechnungen untersucht. Die Randbedingungen wurden dabei bis auf die thermische Leitfähigkeit unverändert aus DIN EN 1992-1-2, Anhang A übernommen. In Bild 11 sind die Isothermen für einen Stützenquerschnitt h·b = 300 mm·300 mm aus EN 1992-1-2, Anhang A und aus der Vergleichsrechnung gegenüber gestellt.

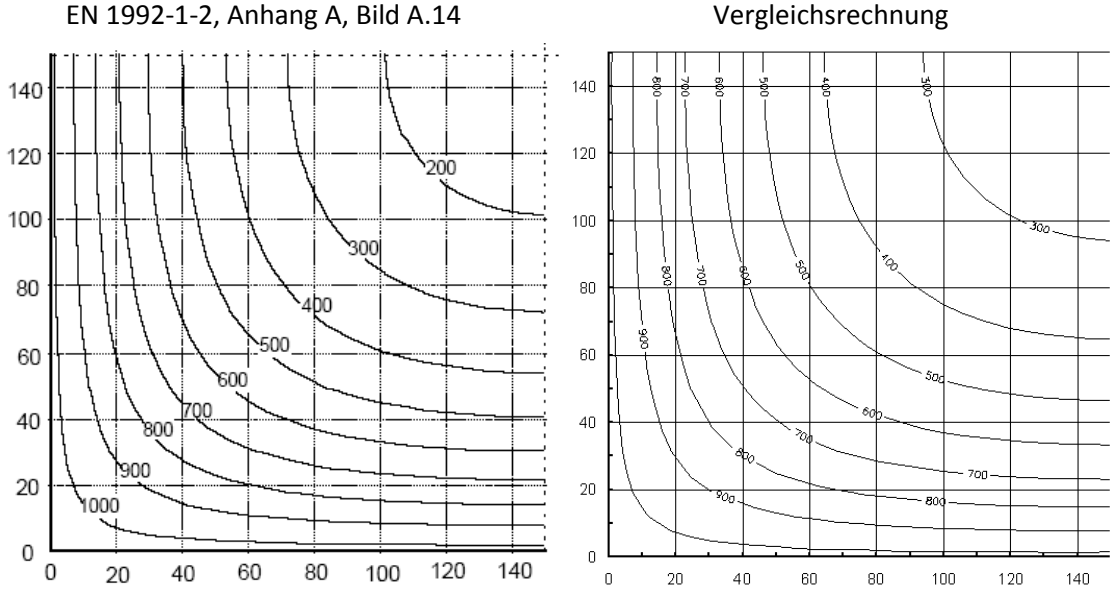


Bild 11 Isothermen für einen Stützenquerschnitt h·b = 300 mm·300 m, R 120

Die höhere thermische Leitfähigkeit in den Vergleichsrechnungen bewirkt nach längeren Branddauern vergleichsweise höhere Temperaturen im Querschnittsinneren. Bei Plattenquerschnitten betrugen die Unterschiede nach 240 Minuten Branddauer in 100 mm Tiefe ca. 35 K, bei den Balken- und Stützenquerschnitten wurden in den Vergleichsrechnungen nach 90 bzw. 120 Minuten Branddauer im Querschnittsinneren ca. 100 K höhere Temperaturen als in den Bildern des Anhangs A ermittelt.

Die Bilder im Anhang A werden hauptsächlich zur Bestimmung der Temperatur in der Bewehrung im Zusammenhang mit dem vereinfachten Rechenverfahren, der Zonenmethode benutzt. In diesem Fall kommt es auf die „richtigen“ Temperaturen in den Randzonen der Querschnitte an. Da die unterschiedlichen Temperaturen zwischen den Angaben im Anhang A und den Ergebnissen der Vergleichsrechnung im Wesentlichen im Querschnittsinneren auftreten, während in den Randzonen der Querschnitte die Temperaturen weitgehend übereinstimmen, können die Bilder im Anhang A zur Bestimmung der Temperatur in der Bewehrung benutzt werden.

Mechanische Analyse

Die Einwirkungen im Brandfall ergeben sich nach den Kombinationsregeln in DIN EN 1990 [11] zu

$$E_{d,fi,t} = \sum \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \sum A_d \tag{11}$$

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 DIN EN 1990 bzw. dem zugehörigen Nationalen Anhang

oder direkt aus den Einwirkungen bei Normaltemperatur nach Gl. (12):

$$E_{d,fi,t} = \eta_{fi} \cdot E_d \tag{12}$$

mit

E_d Bemessungswert der Einwirkungen nach DIN EN 1991-1-1 [12] mit Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_G für ständige und γ_Q für veränderliche Einwirkungen

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \cdot \xi}{\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi} \tag{13}$$

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 η_{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 12 temperaturabhängige Spannungs-Dehnungslinien für Beton mit überwiegend quarzhaltigen Zuschlägen und in Bild 13 für kalt verformten Betonstahl (BSt 500 S) wiedergegeben.

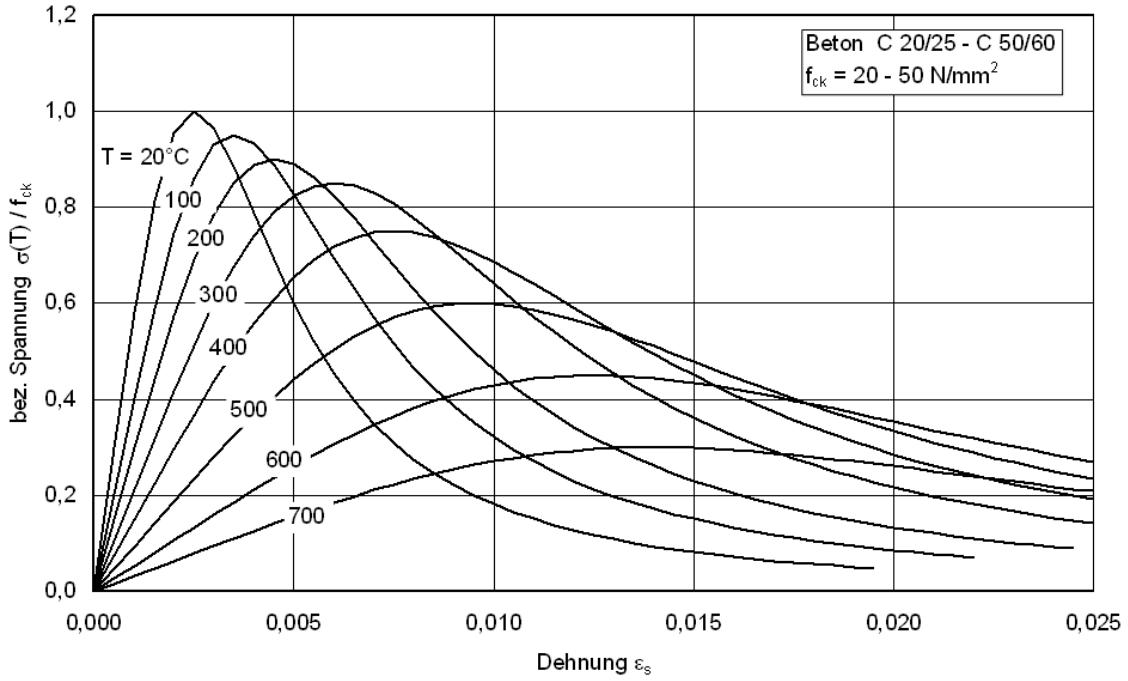


Bild 12 Temperaturabhängige Spannungs-Dehnungslinien von Beton mit überwiegend quarzhaltigen Zuschlägen

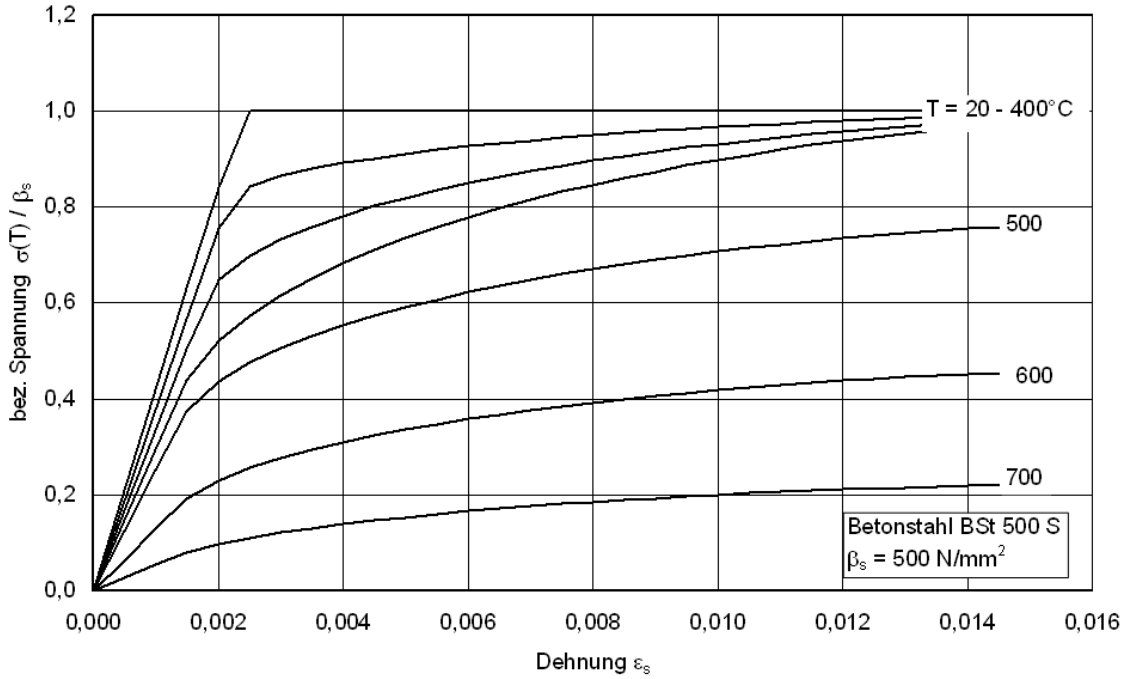


Bild 13 Temperaturabhängige Spannungs-Dehnungslinien von kalt verformten Betonstahl (BSt 500 S)

Bild 14 zeigt die thermischen Dehnungen für Beton, Betonstahl, Spannstahl und Baustahl.

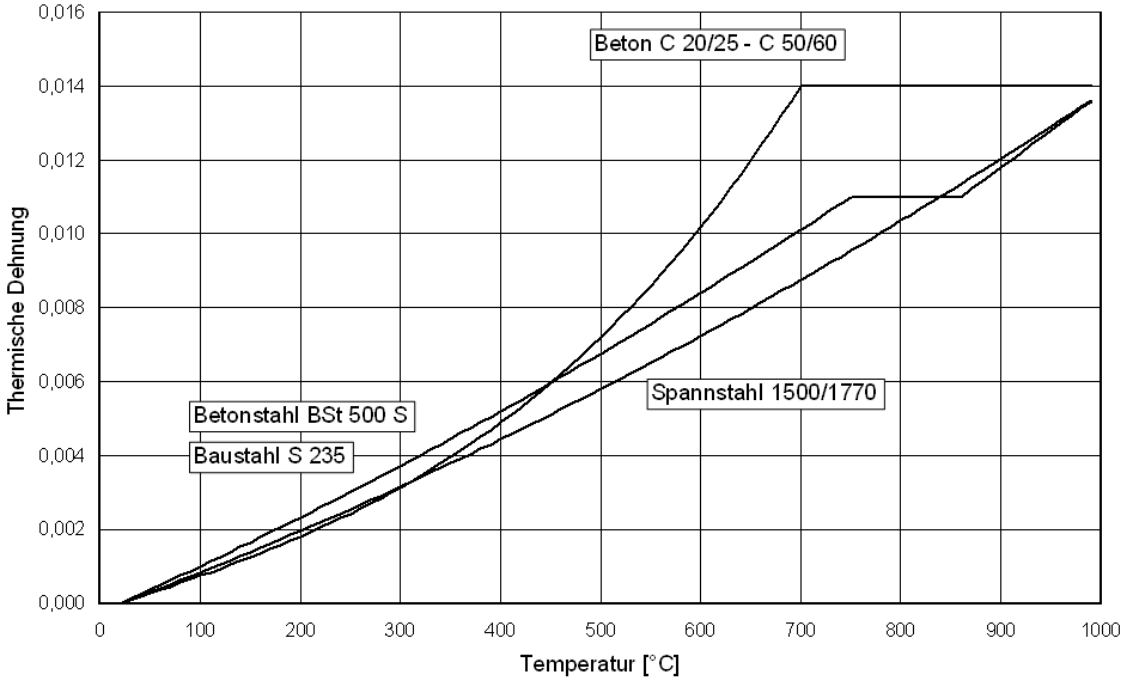


Bild 14 Thermische Dehnungen von Beton, Betonstahl, Spannstahl und Baustahl

In DIN 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 $0{,}9 \cdot f_{pk}$.

Anmerkungen zur mechanischen Analyse

Die thermo-mechanischen Materialgesetze des Eurocodes geben in vereinfachter, für den brandschutztechnischen Nachweis aber ausreichend genauer Form, das Festigkeits- und Verformungsverhalten der Baustoffe bei erhöhten Temperaturen wieder. Durch die Darstellung des Baustoffverhaltens in Form von temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungslinien wird an bekannte Grundlagen aus der Bemessung bei Normaltemperatur angeknüpft. In den temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungslinien des Eurocodes sind alle während der Aufheizphase entstehenden Verformungen enthalten. Neben den temperaturabhängigen elastischen und plastischen Dehnungen sind auch die sehr viel größeren instationären Hochtemperatur-Kriechanteile integriert, wodurch die Tangentenneigung im Ursprung der Spannungs-Dehnungslinien nicht als temperaturabhängiger Elastizitätsmodul der Baustoffe interpretiert

werden darf. Er ist deutlich größer und führt im Vergleich zu den Spannungs-Dehnungslinien des Eurocodes zu einem steileren Anstieg, was einem steiferen Baustoffverhalten entspricht. Unter dem Begriff „Kriechen“ werden im Hochtemperaturbereich im Wesentlichen die temperaturabhängigen, mit zunehmender Temperatur größer werdenden nicht elastischen, lastabhängigen Verformungsanteile zusammengefasst und nicht wie bei Normaltemperatur die vornehmlich zeitabhängigen, einem angebbaren Endwert zustrebenden Verformungen unter andauernden Spannungen.

Zur Ermittlung der Bemessungswerte werden die charakteristischen Werte der Baustoffkennwerte mit temperaturabhängigen Reduktionsfaktoren für Festigkeit bzw. E-Modul $k_{M,\theta}$ multipliziert und durch die von den Streuungen der Baustoffkennwerte im Brandfall abhängigen Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,fi}$ dividiert. Generell werden die Teilsicherheitsbeiwerte für die thermo-mechanischen Baustoffkennwerte in den Brandschutzteilen der Eurocodes und den Nationalen Anhängen zu $\gamma_{M,fi}$ = 1,0 gesetzt.

Zur Erfüllung der Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen werden Dehnungen im Querschnitt ermittelt. Dafür wird angenommen, dass die Querschnitte auch nach der Verformung eben bleiben (Bernoulli-Hypothese) und die Dehnungen ε eines Querschnitts sich zueinander verhalten wie ihre Abstände z von der Dehnungs-Nulllinie; bei einachsiger Biegung wird

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + d\varepsilon / dz \cdot z = \varepsilon_0 + k \cdot z \tag{14}$$

Die Dehnungen im Querschnitt setzen sich aus den spannungserzeugenden Dehnungen ε_σ der Baustoffe und aus ihren thermischen Dehnungen ε_{th} zusammen

$$\varepsilon = \varepsilon_\sigma + \varepsilon_{th} \tag{15}$$

Zur Spannungsermittlung wird ε_σ benötigt, um damit $\sigma(\varepsilon_\sigma, \theta)$ aus den temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungslinien zu ermitteln

$$\varepsilon_\sigma = \varepsilon - \varepsilon_{th} = \varepsilon_0 + k \cdot z - \varepsilon_{th} \tag{16}$$

Im Bild 15 sind die einzelnen Dehnungsanteile am Beispiel einer Stahlbeton-Kragstütze nach 90 Minuten Branddauer dargestellt. Der grau unterlegte Bereich der thermischen Betondehnungen kennzeichnet die spannungserzeugenden Dehnungen ε_σ des Betons.

Die Dehnungsverteilung zur Erfüllung der Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen muss iterativ bestimmt werden.

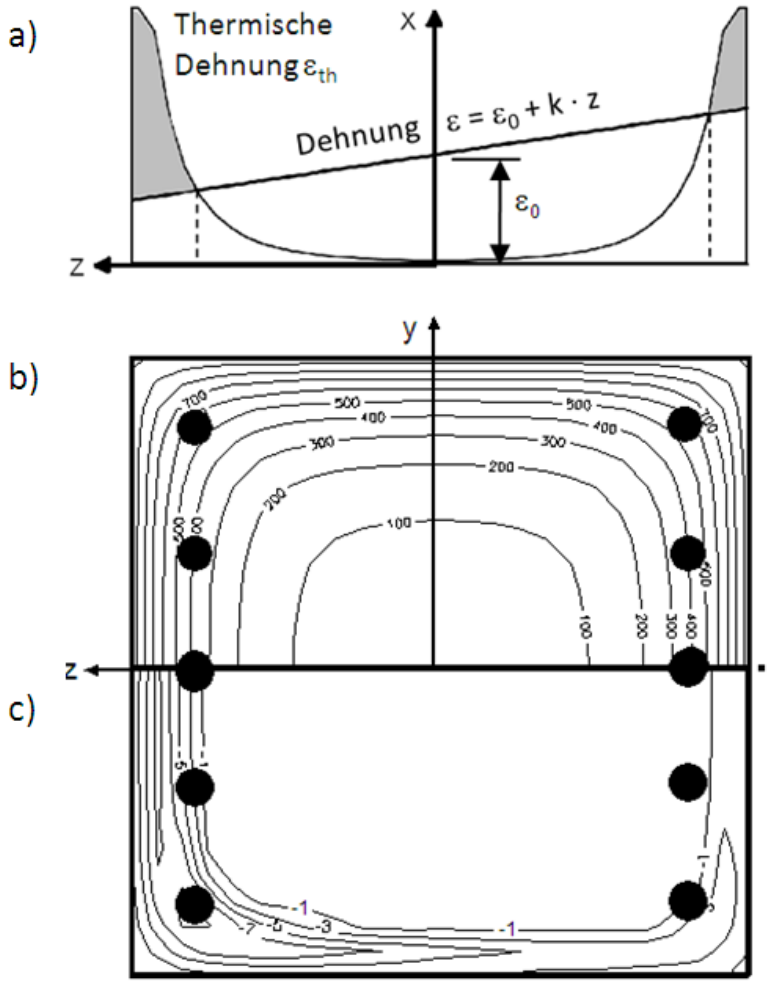


Bild 15 *4-seitig brandbeanspruchter Stützenquerschnitt h = 450 mm nach 90 min Branddauer mit den Einwirkungen $N_{E,fi,d,90}$ = -218 kN und $M_{tot,fi,d,90}$ = 204,3 kNm*
a) Dehnungsverteilung in Höhe der z-Achse,
b) Isothermenverlauf
c) Betonspannungen

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird über die brandschutztechnische Bemessung von Betontragwerken nach Eurocode 2 Teil 1-2 berichtet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den rechnerischen Nachweisverfahren, die in der traditionellen deutschen Brandschutznorm DIN 4102 Teil 4 und Teil 22 nicht enthalten sind.

Nach einer zusammenfassenden Darstellung der Grundlagen des vereinfachten und des allgemeinen Rechenverfahrens werden Anmerkungen zu den Hintergründen der Verfahren gemacht, um damit das Verständnis für die neuen Nachweisverfahren zu erhöhen und gleichzeitig Fehler bei der Anwendung zu vermeiden.

Im Zusammenhang mit dem vereinfachten Rechenverfahren, der sog. Zonenmethode, wird die Frage diskutiert, mit welcher Anzahl von Zonen ein ausreichend genaues Ergebnis erzielt werden kann und gleichzeitig der Rechenaufwand in erträglichen Grenzen bleibt. Dafür werden die Gleichungen zur Ermittlung der zermürbten Querschnittsbereiche am Beispiel eines dreiseitig brandbeanspruchten Biegebauteils hergeleitet und für unterschiedliche Anzahl von Zonen ausgewertet. Es zeigt sich, dass mit einer Unterteilung in annähernd 20 Zonen eine ausreichende Annäherung an die Werte der Norm erreicht wird. Die berechneten Werte liegen immer auf der sicheren Seite. Nachteilig ist der relativ große Rechenaufwand. Es wird deshalb eine modifizierte Gleichung vorgestellt, die eine Unterteilung in lediglich 4 Zonen erfordert, wobei eine sehr gute Übereinstimmung mit den Werten der Norm erreicht wird.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass im deutschen Dokument mit Berichtigungen und Korrekturen zur EN 1992-1-2 das vereinfachte Rechenverfahren (Zonenmethode) lediglich für kleine Querschnitte empfohlen wird, die Empfehlung für schlanke Stützen wurde gestrichen.

Bei den allgemeinen Rechenverfahren werden die unterschiedlichen Grundlagen bei der thermischen Analyse und den Isothermenbildern im Anhang A erläutert. Die Bilder im Anhang A sind hauptsächlich für die Festlegung der Temperatur in der Bewehrung bei Anwendung der Zonenmethode vorgesehen. In diesem Fall kommt es auf die „richtigen“ Temperaturen in den Randzonen der Querschnitte an. Dort, wo die Temperaturen aus den Bildern des Anhangs A weitgehend mit den Ergebnissen des allgemeinen Rechenverfahrens übereinstimmen. Die Bilder im Anhang A können also zur näherungsweisen Bestimmung der Temperatur in der Bewehrung bei Anwendung der Zonenmethode benutzt werden.

Bei der mechanischen Analyse wird die Ermittlung der Dehnungen zur Erfüllung der Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen erläutert. Ausgehend von der Bernoulli-Hypothese wird gezeigt, wie die spannungserzeugenden Dehnungen der Baustoffe unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen berechnet und damit die dehnungs- und temperaturabhängigen Spannungsanteile aus den temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungslinien ermittelt werden.

LITERATUR

[1] Hosser, D.: Brandschutzbemessung nach den Eurocodes - Vorgaben für die Anwendung in Deutschland. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage `09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, Braunschweig, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[2] DIN EN 1992-1-2:2006-10 - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall.

[3] Hosser, D.; Richter, E.: Rechnerische Nachweise im Brandschutz – Zukunftsaufgabe für Prüfingenieure. Der Prüfingenieur, Oktober 2007.

[4] DIN EN 1992-1-1:2005-10 - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau.

[5] Hertz, K.: Analyses of prestressed concrete structures exposed to fire. Technical University of Denmark. Institute of Building Design. Report no. 174. Lyngby 1985.

[6] Richter, E.; Zehfuß, J.: Erläuterungen und Anwendungshilfen für die brandschutztechnische Bemessung mit Eurocode 2 Teil 1-2. In Hosser et al: Gleichwertigkeit von Brandschutznachweisen nach Eurocode und DIN 4102-4. Forschungsbericht im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Braunschweig, November 1998.

[7] EN 1992-1-2:2004/AC:2008(D) Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Berichtigungen 2008.

[8] DIN EN 1991-1-2:2003-09 - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkungen auf Tragwerke.

[9] DIN EN 1992-1-2/NA (EC 2 - Stahlbeton- u Spannbetontragwerke). Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-1-2:2009-07.EN 1990: Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung. Entwurf Juni 2009.

[10] 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 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik, Az.: ZP 52-5-7.240-1132/04. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Dezember 2006.

[11] EN 1991-1-1:2004-04: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-1:Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.

[12] DIN EN 1990:2002-10 - Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung.

[13] DIN EN 1991-1-1:2002-10 - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke, Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.

BRANDSCHUTZBEMESSUNG VON STAHL- UND VERBUNDTRAGWERKEN NACH DEN EUROCODES 3 UND 4

Peter Schaumann und Oliver Bahr
Institut für Stahlbau, Leibniz-Universität Hannover, Hannover

ÜBERSICHT

Mit den Teilen der Eurocodes, die der Tragwerksbemessung im Brandfall gewidmet sind, werden verschiedene Verfahren für den rechnerischen Nachweis von brandbeanspruchten Bauteilen zur Verfügung gestellt. Diese beinhalten Bemessungstabellen, vereinfachte sowie allgemeine Berechnungsverfahren. In den letzten Jahren wurden diese Verfahren zunehmend eingesetzt. Die Anwendung erstreckte sich vom brandschutztechnischen Nachweis einzelner Bauteile mit Hilfe von Bemessungstabellen bis hin Optimierung kompletter brandbeanspruchter Tragwerke. Ein Grund für die vermehrte Anwendung war sicherlich die Einführung der Eurocodes.

Dieser Beitrag widmet sich zunächst einigen Neuerungen, die sich für die brandschutztechnische Bemessung von Stahl- und Stahlverbundbauteilen ergeben haben. In Erweiterung des Titels werden auch Aluminiumbauteile angesprochen, obwohl die Anwendung des zum Brandfall gehörenden Normenteils wohl eher selten ist. Es werden wesentliche, jedoch nicht sämtliche Neuerungen genannt. Bezüglich weiterer Änderungen sei auf den früheren Beitrag in [1] verwiesen. Im Weiteren wird über Erfahrungen aus der Anwendung der Eurocodes bei der Brandschutzbemessung berichtet.

Für Stahlbauteile sind die Regeln zur brandschutztechnischen Tragwerksbemessung in DIN EN 1993-1-2 [2] (kurz EC3-1-2) enthalten, für Verbundtragwerke in DIN EN 1994-1-2 [3] (kurz EC4-1-2) und für Aluminiumbauteile in DIN EN 1999-1-2 [4] (kurz EC9-1-2).

Die Nachweisverfahren von Stahlbauteilen gemäß EC3-1-2 basieren auf der Ermittlung der Querschnittstemperatur im Brandfall und der aus der temperaturabhängigen Abminderung der Festigkeitswerte resultierenden Steifigkeit und Tragfähigkeit der Stahlbauteile. Wegen der unterschiedlichen Ermittlung der Stahltemperaturen wird im EC3-1-2 prinzipiell zwischen dem Nachweis von ungeschützten und geschützten Stahlbauteilen unterschieden. Insbesondere bei ungeschützten Stahlbauteilen spielt die Brandbeanspruchung eine große Rolle. Für den rechnerischen Nachweis bei geschützten Konstruktionen ist es darüber hinaus wichtig, dass validierte thermische Materialkennwerte des Brandschutzmaterials zur Verfügung stehen. Diese sind bisher nur unzureichend gegeben.

Für Stahlbauteile kann in der Regel wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit in guter Näherung eine konstante Temperaturverteilung über den Querschnitt angenommen werden. Im Gegensatz dazu stellen sich bei Verbundbauteilen wegen der stark unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit von Stahl und Beton ein

inhomogenes Temperaturfeld und damit thermisch bedingte Zwängungen im Querschnitt ein. Deswegen ist der brandschutztechnische Nachweis für Stahlverbundkonstruktionen auf der Grundlage von vereinfachten Berechnungsmethoden in vielen Fällen ausgeschlossen. Solche Fälle können jedoch mit dem allgemeinen Berechnungsverfahren des EC4-1-2 nachgewiesen werden. Für dieses im Brandschutz neuartige Vorgehen ist das Vier-Augen-Prinzip von besonderer Bedeutung.

Ein gelungenes Beispiel stellt die Erstellung und Prüfung der brandschutztechnischen Nachweise für das Bauvorhaben "Adidas Laces" dar (s. Bild 1), über das von Zehfuß in [5] berichtet wird.

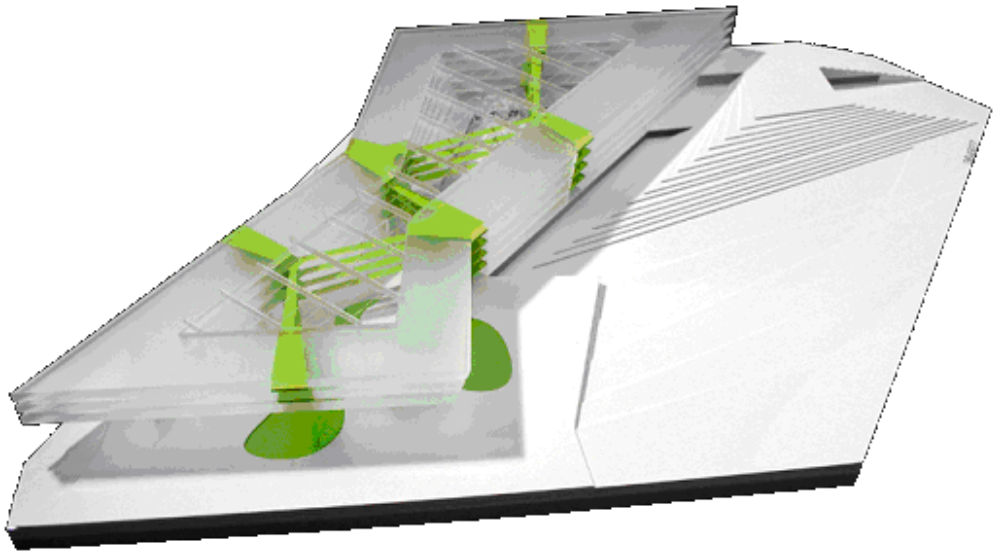


Bild 1 Modell-Studie "Adidas Laces" [http://www.kada-wittfeld.de]

NEUERUNGEN IM EC3-1-2 (STAHLBAU)

Zu den Neuerungen in den Eurocodes gehört, dass der Wärmestrom für unbekleidete Stahlbauteile nach EC1-1-2 gegenüber der ENV-Fassung grundsätzlich vergrößert ist, weil die Emissivität der Baustahloberfläche nunmehr mit $\varepsilon_m = 0{,}70$ anzusetzen ist. Bei unbekleideten I-Profilen darf unter Normbrandbedingungen jedoch ein sogenannter Abschattungseffekt berücksichtigt werden. Dieser neutralisiert teilweise den vergrößerten Wärmestrom, indem anstelle des bekannten Profilfaktors A_m/V der Wert $0{,}9\times(Am/V)_b$ gesetzt wird. Der Index b kennzeichnet dabei, dass es sich um eine fiktive "Box" handelt, die das Profil umschließt. Die Ermittlung von A_m veranschaulicht Bild 2 (c). Dieser Abschattungseffekt ist auch bei Aluminiumbauteilen eingeführt worden. Er ist in der Fachwelt nach wie vor umstritten [6], [7], [8].

Bild 2 (a) zeigt den Verlauf der Erwärmung eines ungeschützten Stahlquerschnittes (HE200B) bei vierseitiger Beflammung entsprechend der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK). Die Erwärmung wurde zum einen auf der Grundlage

der ENV-Fassung des EC3-1-2 und zum anderen mit den überarbeiteten Regelungen der EN-Fassung [2] berechnet. Trotz der in der EN-Fassung erhöhten Emissivität liegt die Stahltemperatur für das untersuchte Stahlprofil nach der EN-Fassung zeitweise bis zu 63°C tiefer, was auf den Abschattungsfaktor zurückzuführen ist.

Die Differenz zwischen der Querschnittstemperatur gemäß ENV- und EN-Fassung zeigt Bild 2 (b). Wie zu sehen ist, tritt die größte Differenz nach ca. zehn Minuten auf. Die Auswirkung dieser Temperaturdifferenz auf die Abminderungsfaktoren für die Streckgrenze und den Elastizitätsmodul ist ebenfalls in Bild 2 (b) dargestellt. Danach wird die Streckgrenze gemäß der ENV-Regelung um maximal 18% stärker abgemindert als nach der EN-Fassung. Für die Abminderung des Elastizitätsmoduls beträgt der maximale relative Unterschied zwischen ENV- und EN-Fassung 17%.

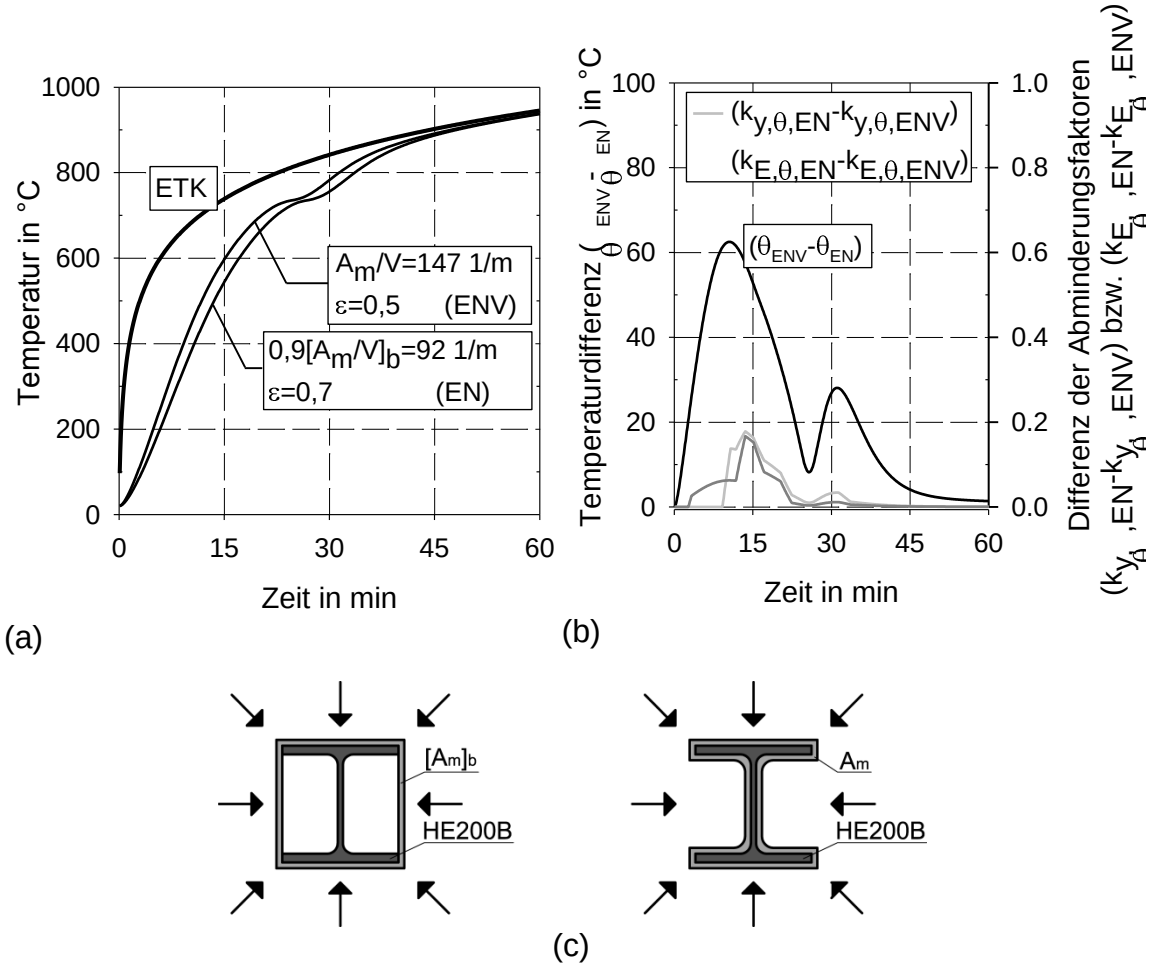


Bild 2 *Erwärmung eines ungeschützten Stahlquerschnittes (HE200B) bei vierseitiger Beflammung nach Einheitstemperaturzeitkurve (a); Vergleich zwischen den Ergebnissen gemäß ENV- und EN-Fassung (b); Profilfaktoren (c)*

Trotz des nominellen Unterschieds hinsichtlich der Entfestigung des Stahls sind die praktischen Auswirkungen zwischen den Regelungen gemäß ENV- und EN-Fassung gering. Dies liegt daran, dass für ungeschützte Stahlbauteile eine R 30-Klassifizierung mit einem realistischen Lastausnutzungsgrad kaum zu erreichen ist. Bei den etwas niedrigeren Querschnittstemperaturen gemäß EN-Fassung ist daher nur eine geringfügige Steigerung der Feuerwiderstandsdauer zu erwarten. Bei Anwendung von Naturbrandszenarien kann dieser Unterschied jedoch für den Nachweis entscheidend sein.

Die Änderung des Wärmeübergangs hat auch zur Folge, dass die vom Verfasser in [9] angegebenen analytischen Näherungsformeln für ungeschützte Stahlbauteile angepasst werden mussten (s. Tabelle 1).

Tabelle 1 Näherungsformeln für die Erwärmung ungeschützter Stahlquerschnitte unter ETK-Beanspruchung

$\theta_{a,t} = \dfrac{c_1 \cdot c_2 + c_3 \cdot t^{c_4}}{c_2 + t^{c_4}}$ [°C]; mit t in min	
$c_1 = \theta_0 = 20°C$	$c_2 = 11890 \cdot \left(k_{sh} \dfrac{A_m}{V} \right)^{-1,12}$
$c_3 = \dfrac{9875}{0,486 + 1,89 \cdot \ln\left(k_{sh} \dfrac{A_m}{V} \right)}$	$c_4 = 1,253 + 0,071 \ln\left(k_{sh} \dfrac{A_m}{V} \right)$
Gültigkeitsgrenzen: Profilfaktor $25\ m^{-1} \leq k_{sh}\ A_m/V \leq 300\ m^{-1}$ Branddauer $t \leq 30$ min Stahltemperatur $\theta_a \leq 700°C$	

Eine weitere Neuerung der EN-Fassung ist, dass Verbindungen im Stahlbau detaillierter betrachtet werden. Bisher galt, dass hinsichtlich des Feuerwiderstandes keine Bedenken bestehen, wenn die Brandschutzbekleidung der Verbindung mindestens so dick war wie die der anschließenden Bauteile. Zusätzlich wird nun gefordert, dass der Lastausnutzungsgrad der Verbindung kleiner als der der anschließenden Bauteile sein muss. Ist dies nicht gegeben, kann eine gesonderte Brandschutzbemessung für die Verbindung erfolgen. Dabei sind nach Bild 3 die temperaturabhängigen Reduktionsfaktoren für die Festigkeit von Schweißnähten und Schrauben zu berücksichtigen. Auffällig ist, dass die Reduktionsfaktoren für Schweißnähte und Schrauben kleiner als die für Baustahl sind.

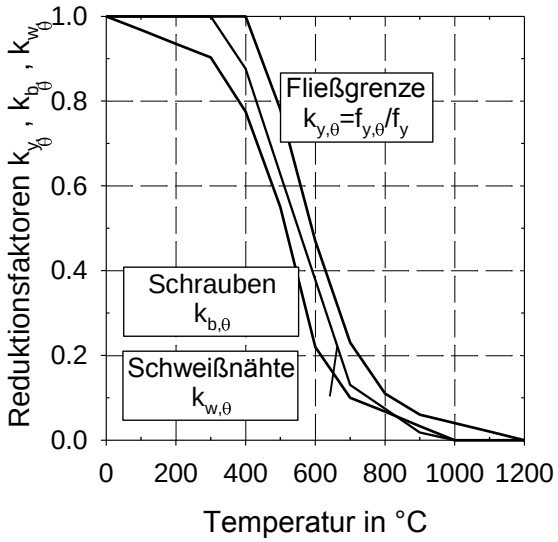


Bild 3 Temperaturabhängige Reduktionsfaktoren für die Festigkeit von Schweißnähten und Schrauben im Vergleich zur Fließgrenze von Baustahl

EC9-1-2 (ALUMINIUM)

Aluminium ist ein Werkstoff, der in Deutschland unter dem Gesichtspunkt des Feuerwiderstandes nicht im Mittelpunkt steht. Es verwundert daher nicht, dass die ENV-Fassung des EC9-1-2 nicht in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen wurde.

Der Inhalt des EC9-1-2 ähnelt sehr dem EC3-1-2. Der Grund liegt in den Ähnlichkeiten bei den Materialeigenschaften. Als Metall verfügt Aluminium über eine vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit, die je nach Legierung drei- bis viermal so groß ist wie die von Baustahl.

Daher ist die Annahme isothermer Temperaturverteilungen wie bei Stahlquerschnitten gerechtfertigt. Die Dichte beträgt mit 2700 kg/m³ zwar nur ein Drittel des Wertes von Baustahl, dafür ist die spezifische Wärme von Aluminium im Vergleich zu Baustahl mehr als doppelt so groß (s. Bild 4). Insgesamt bewirkt dies bei gleichen Profilfaktoren ein ähnliches Erwärmungsverhalten wie bei Baustahl.

Da die Festigkeit von Aluminium im Vergleich zu Baustahl schon bei relativ geringen Temperaturen deutlich zurückgeht (s. Bild 5), sind Brandschutzanforderungen in Form von Feuerwiderstandsklassen mit ungeschützten Aluminiumbauteilen nicht zu erreichen. Dies gelingt selbst dann nicht, wenn lediglich R 30 gefordert wird und die Bauteile sehr massig sind.

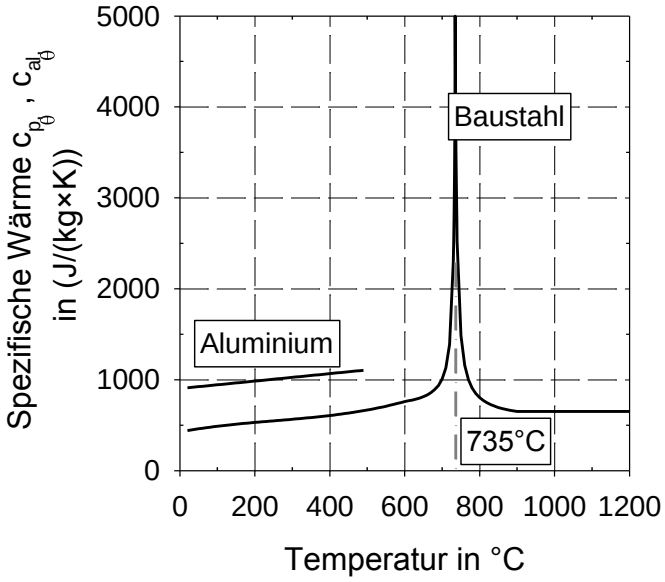


Bild 4 *Vergleich der temperaturabhängigen spezifischen Wärme von Aluminiumlegierungen und Baustahl*

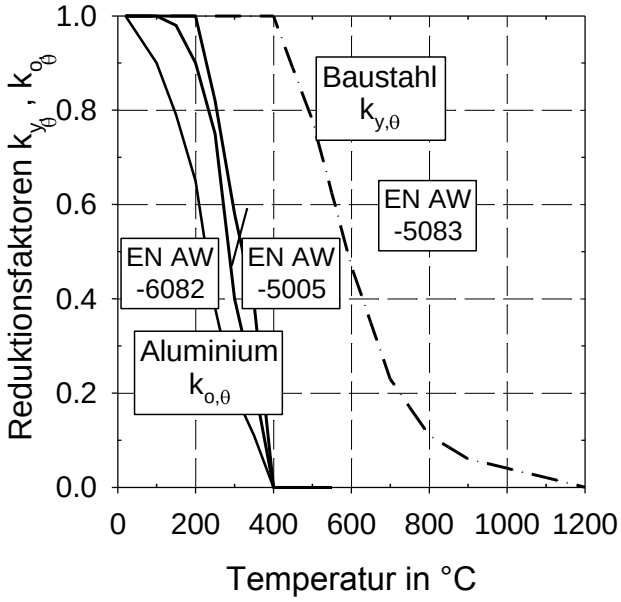


Bild 5 *Reduktionsfaktor $k_{o,\theta}$ für die Spannung an der 0,2%-Dehngrenze von Aluminiumlegierungen bei erhöhten Temperaturen und einer Temperaturbeanspruchung bis zu zwei Stunden*

NEUERUNGEN IM EC4-1-2 (VERBUNDBAU)

Neue mechanische Materialkennwerte für Normalbeton

Der Verfasser hat im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) ein Forschungsvorhaben durchgeführt, um die neuen Regelungen der EN-Fassung des EC4-1-2 für den Verbundbau zu überprüfen [10]. Dabei wurde deutlich, dass sowohl die thermischen als auch die mechanischen Werkstoffparameter von Normalbeton gegenüber der ENV-Fassung verändert wurden. Bild 6 zeigt eine Gegenüberstellung der mechanischen Werkstoffparameter der ENV- und der EN-Fassung. Die Hintergründe dieser Änderung sind wissenschaftlich nicht nachvollziehbar.

Der Vergleich der Spannungs-Dehnungsbeziehungen von Normalbeton mit quarzhaltigen Zuschlägen unter erhöhten Temperaturen nach EN- und ENV-Fassung in Bild 7 verdeutlicht den Unterschied. Die maximalen Druckfestigkeiten werden erst bei größeren Stauchungen erreicht und die Steifigkeiten sind geringer. Dies wirkt sich auch auf den Feuerwiderstand von Verbundbauteilen aus. Insbesondere bei Verbundstützen sind in [1] vereinzelt um bis zu ca. 10 % geringere Feuerwiderstandsdauern berechnet worden. Nach Auffassung der Verfasser besteht vor dem Hintergrund der betontechnologischen Entwicklungen in den letzten zehn Jahren Bedarf, die Ansätze zur Beschreibung der Materialeigenschaften mit den heutigen prüftechnischen Möglichkeiten zu verifizieren und gegebenenfalls zu aktualisieren.

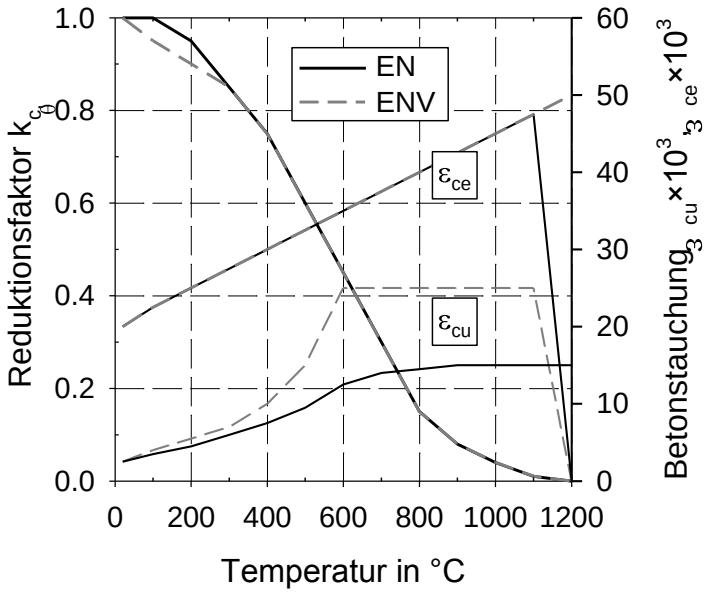


Bild 6 *Vergleich der Hauptparameter der Spannungs-Dehnungsbeziehung für Normalbeton mit quarzhaltigen Zuschlägen bei erhöhten Temperaturen nach EN- und ENV-Fassung von EC4-1-2*

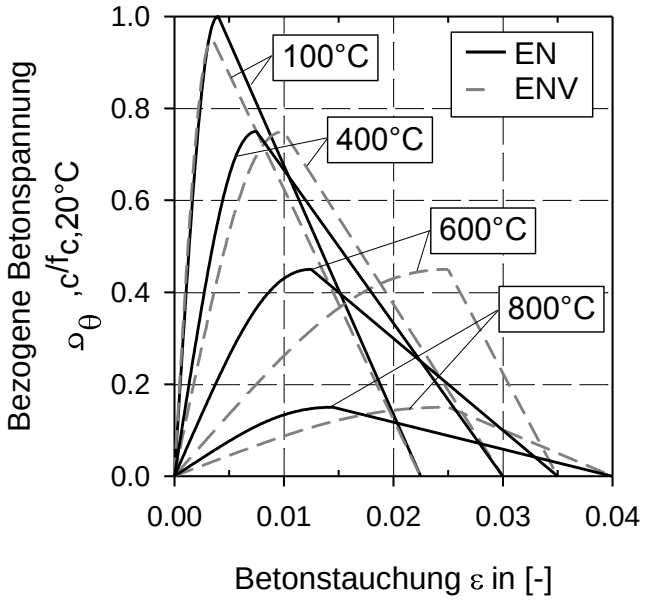


Bild 7 *Vergleich der Spannungs-Dehnungsbeziehung von Normalbeton mit quarzhaltigen Zuschlägen unter erhöhten Temperaturen nach EN- und ENV-Fassung*

ERFAHRUNGEN AUS DER ANWENDUNG

Allgemeines

Die wesentliche Neuerung der Eurocodes für Tragwerkbemessung im Brandfall war, dass Berechnungsverfahren Einzug in die Ingenieurmethoden fanden. Dabei stehen bei der Tragwerksbemessung naturgemäß die Erwärmung der Bauteile infolge Brandeinwirkung und die Entfestigung der Baustoffe durch die erhöhten Temperaturen im Mittelpunkt des Interesses. Für die Berechnung waren einerseits die numerischen Methoden zu entwickeln und anderseits die erforderlichen temperaturabhängigen Materialeigenschaften numerisch zu beschreiben. Hinsichtlich der Methoden steht der Begriff Finite-Element-Methode (FEM) stellvertretend für die Entwicklung. Am Ende des ersten Jahrzehnts des neuen Jahrtausends sollten wir uns jedoch darüber bewusst werden, dass die wesentlichen technischen Fortschritte der Eurocodes für die brandschutztechnische Bemessung auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen, die mehr als fünfundzwanzig Jahre alt sind. Ein solches Alter ist in der heutigen Zeit hoch.

In der derzeitigen Fassung der Eurocodes sind sowohl die Modelle wie auch die Materialbeschreibung geeignet, Brandversuche unter Normbrandbedingungen zu simulieren. Mit derartigen Brandversuchen sind die Modelle in der Vergangenheit auch validiert worden. Die Entwicklung der FEM ist heute weit fortgeschritten. Hochaufgelöste Modelle mit Volumenelementen sind bei nichtlinearen Mehrfeldproblemen zum Standard geworden. Im Brandschutz scheitern solche Anwendungen daran, dass die erforderlichen Materialbeschreibungen aus der Grundlagenforschung nicht vorliegen.

Es zeigt sich, dass die in den Eurocodes beschriebenen Regelungen zum Materialverhalten zwar äußerst hilfreich für die Entwicklung der Berechnungsverfahren waren, was ist auch daran zu erkennen ist, dass sie heute auch in Asien und Amerika verwendet werden. Allerdings sind die Regelungen nicht vollständig. Als Beispiel wurden schon die fehlenden Beschreibungen für Brandschutzbekleidungen von Stahlbauteilen genannt. Dasselbe gilt in weiten Teilen für hochfeste Stähle und Betone.

Für vollständige dreidimensionale Modelle von Bauteilen oder gar ganzen Tragwerken auf der Grundlage der FEM sind selbst heute die erforderlichen Rechenkapazitäten noch nicht verfügbar. Sinnvoll wäre hier die Entwicklung skalierter und gegebenenfalls adaptiver Modelle. Dies gilt insbesondere für Verbundbauteile. Daher ist die dreidimensionale Modellierung mit Hilfe der FEM derzeit noch auf die Untersuchung lokaler Bereiche beschränkt, wie z. B. auf Lasteinleitungsbereiche. In Bild 8 ist exemplarisch die thermische und mechanische Analyse eines brandbeanspruchten Verbundbauanschlusses für eine Randstütze gezeigt. Für Einzelheiten zu diesem neu entwickelten Anschluss wird auf [11] verwiesen.

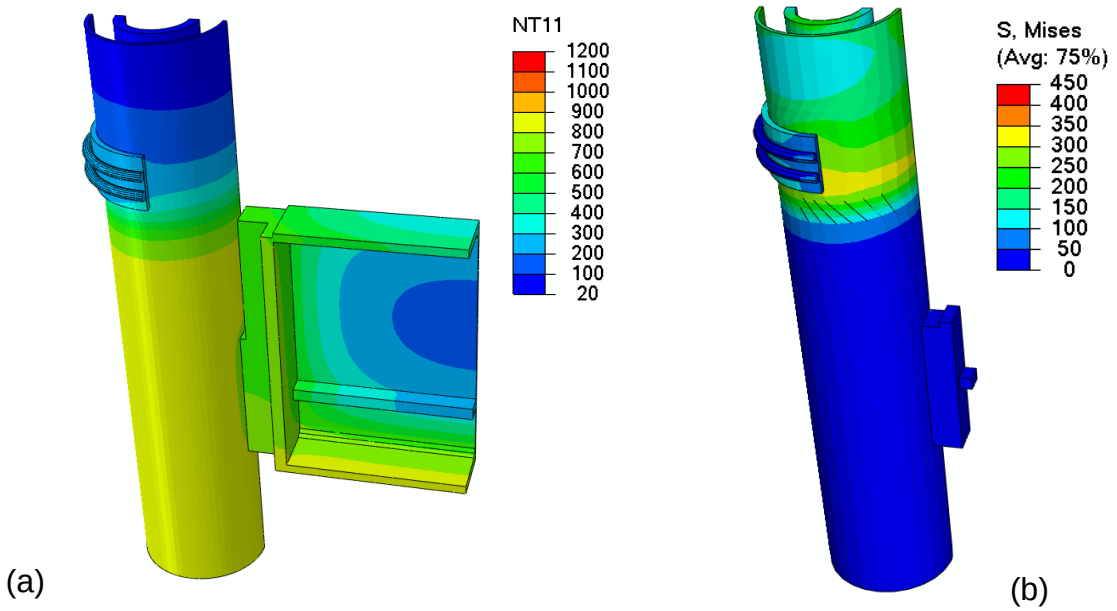


Bild 8 *Temperaturfeld eines Verbundbauanschlusses einer Randstütze nach 90 min ETK-Brandbeanspruchung (Beton ausgeblendet) (a); Spannungsanalyse des Anschlusses am reduzierten Modell (b) [11]*

Die wirklichkeitsnahe räumliche Beschreibung der physikalischen Phänomene hat bei der Simulation von Bränden auch Einzug in das Brandschutzingenieurwesen gehalten. Brandverläufe werden mit Mehrraum-/Mehrzonenmodellen oder mit CFD-Modellen simuliert. In der aktuellen Forschung wird inzwischen an der Kopplung von CFD-Modellen für die Ermittlung der thermischen Beanspruchung mit FEM-Modellen für die mechanische Analyse gearbeitet [z. B. 11]. Ein

grundsätzliches Problem besteht darin, dass die Netze der CFD-Modelle stark von den FEM-Netzen abweichen. Zurzeit wird die Kopplung über sogenannte "Messstellen" im CFD-Modell erzeugt, an denen die Heißgastemperaturen ausgegeben werden. Diese Heißgastemperaturen können dann in die Erwärmungsberechnung der Bauteile einfließen.

Materialparameter

Der rechnerische Nachweis von brandbeanspruchten Bauteilen basiert auf deren thermischer Analyse. Letztere hängt von den verwendeten Werkstoffen sowie den dazugehörigen thermischen Materialkennwerten ab, wie der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und der Dichte. In der Regel sind diese Werte temperaturabhängig. Für eine realistische Simulation von brandbeanspruchten Bauteilen sind validierte thermische Materialparameter also unabdingbar.

Die Brandschutzteile der hier angesprochenen Eurocodes stellen die entsprechenden Materialkennwerte für Stahl, Bewehrungsstahl und Beton zur Verfügung. Die Kennwerte für Stahl und Bewehrungsstahl sind allgemein anerkannt. Für Beton gibt es in Europa allerdings unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit. Um diesen Umstand zu berücksichtigen, wurde für die Wärmeleitfähigkeit von Beton eine obere und untere Grenze in EC4-1-2 angegeben. Die jeweiligen Mitgliedsstaaten dürfen die Wärmeleitfähigkeit in ihren Nationalen Anhängen innerhalb dieser Grenzen definieren.

So wird zum Beispiel in Deutschland die obere Grenze der Wärmeleitfähigkeit empfohlen [13]. In Frankreich wird für Temperaturen bis 140°C ebenfalls die obere Grenze empfohlen. Für Temperaturen von mehr als 160°C ist allerdings die untere Grenze zu verwenden, wobei die beiden Grenzkurven im Übergangsbereich zwischen 140 und 160°C linear verbunden werden [14]. In Bild 9 werden die entsprechenden Regelungen aus Deutschland und Frankreich gegenübergestellt. Die großen Unterschiede hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit können auf die Inhomogenität des Betons zurückgeführt werden, die sich unter anderem aus den Eigenschaften der regional abweichenden Zuschläge ergibt.

Der Feuerwiderstand eines Bauteils kann konservativ abgeschätzt werden, indem die obere Grenze der Wärmeleitfähigkeit gewählt wird. Damit relativiert sich das Problem für den Beton.

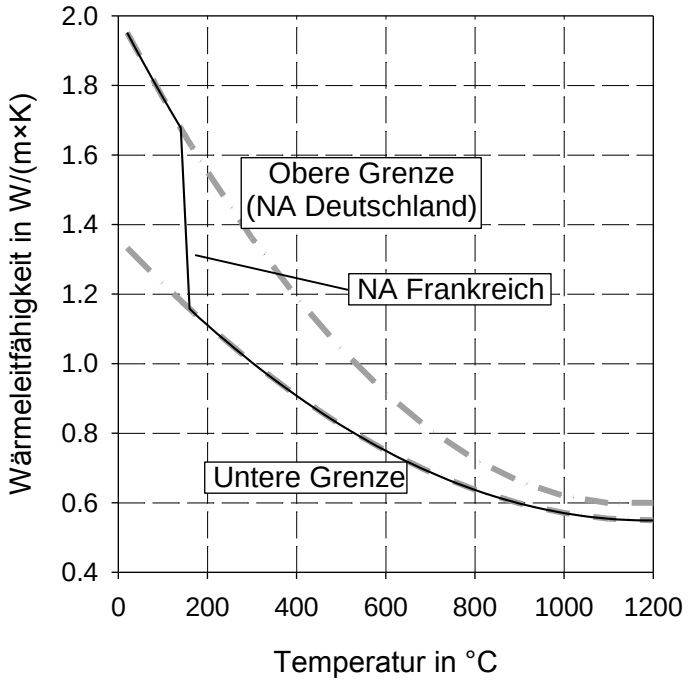


Bild 9 Gegenüberstellung der Wärmeleitfähigkeit gem. NA Frankreich und NA Deutschland

Für die meisten Brandschutzmaterialien, wie z. B. Mineralwolle, Putz oder Dämmschichtbildner, fehlen jedoch die entsprechenden temperaturabhängigen Materialkennwerte. Bislang werden für diese Materialien näherungsweise oft konstante thermische Materialkennwerte angesetzt, die Veröffentlichungen entnommen werden können (z. B. [1]). Diese Materialkennwerte sind jedoch weder normativ noch durch entsprechende Zulassungen für das bauaufsichtliche Genehmigungsverfahren abgesichert. Die Ansätze in den Eurocodes sind häufig auch nur geeignet, das Erwärmungsverhalten der Stahlbauteile mit diesen Bekleidungen phänomenologisch zu beschreiben. Spezielle Prozesse in der Bekleidung wie z. B. das Verdunsten von Wasser bei Gips oder das Aufblähen von Dämmschichtbildnern werden nicht beschrieben. Die Folge ist, dass bei bekleideten Stahlbauteilen in der Regel traditionelle Methoden angewendet werden, das heißt es wird die erforderliche Dicke der Bekleidung in Abhängigkeit vom Profilfaktor und erforderlicher Feuerwiderstandsklasse aus dem Produktkatalog abgelesen. Dies bedeutet, dass die Flexibilität der Berechnungsverfahren nicht genutzt wird, da z. B. die Lastausnutzung von Bauteilen nicht berücksichtigt wird. Ferner kann bei diesem Vorgehen lediglich die Einheits-Temperaturzeitkurve berücksichtigt werden.

Das Brandverhalten eines Bauteils hängt nicht nur von dem verwendeten Material ab, sondern auch von den Umgebungsbedingungen. Dies betrifft wiederum vor allen Dingen Beton. Der Feuchtigkeitsgehalt von Beton beträgt je nach Umgebung ungefähr zwei bis vier Gewichtsprozent [15]. Eine besonders große Unsicherheit besteht bei betongefüllten Hohlprofilen, die architektonisch reizvoll sind und aus Sicht des Brandschutzes eine Reihe von Vorteilen aufweisen [16],

[17], [18]. Zwar gelingt durch eine Vernachlässigung des Feuchtigkeitsgehaltes eine konservative Abschätzung des Feuerwiderstandes eines Bauteils. Da der Brandschutz für die Bauteilbemessung oftmals maßgebend ist, konterkariert dies jedoch die Bemühungen um eine wirtschaftliche Dimensionierung. Nach EC4-1-2 darf eine Betonfeuchte von bis zu zehn Gewichtsprozent angesetzt werden.

An Hand eines einfachen Beispiels wird nachfolgend dargestellt, welche Auswirkungen die Unsicherheiten bezüglich des Feuchtigkeitsgehaltes und der Wärmeleitfähigkeit von Beton auf das Tragverhalten im Brandfall haben können. Dazu wird eine Stütze im Erdgeschoss eines Bürogebäudes mit aussteifendem Kern betrachtet. Das verwendete statische System sowie der Querschnitt des betongefüllten Hohlprofils sind in Bild 10 dargestellt.

Um die Problematik zu verdeutlichen, wird eine Grenzbetrachtung durchgeführt. Für den Beton wird zunächst der Feuchtigkeitsgehalt vernachlässigt und die empfohlene obere Grenze der Wärmeleitfähigkeit angenommen (Stütze 1). Diese Annahmen führen dazu, dass sich die Stütze schnell erwärmt (s. Bild 10). Dieselbe Stütze wurde erneut berechnet, wobei diesmal der maximal erlaubte Feuchtigkeitsgehalt von zehn Gewichtsprozent sowie die untere Grenze der Wärmeleitfähigkeit unterstellt wird (Stütze 2). Daraus resultiert insgesamt eine langsame Erwärmung der Stütze.

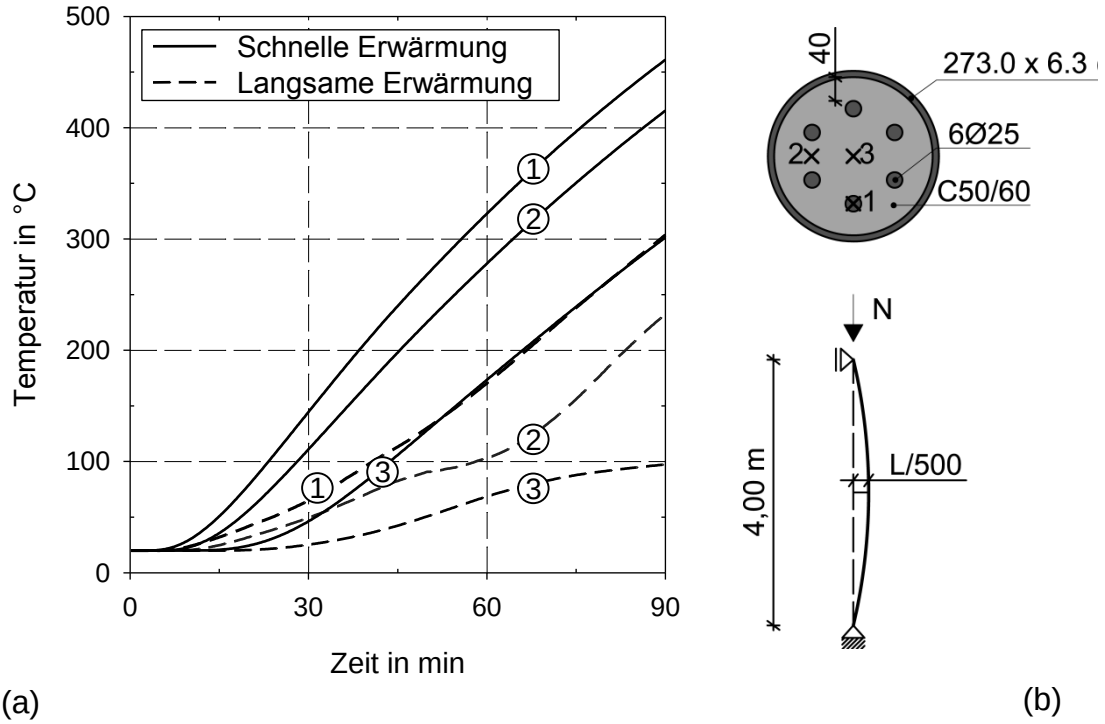


Bild 10 *Auswertung verschiedener Querschnittstemperaturen für die schnell erwärmte (Stütze 1) und langsam erwärmte Stütze (Stütze 2) (a); Querschnitt und statisches System der Stützen 1 und 2 (b)*

Der Ausnutzungsfaktor für die Bemessung im Brandfall beträgt für beide Stützen 50%. Die geometrische Länge der Stütze beträgt 4,00 m (s. Bild 10). Im Brandfall darf für die durchlaufende Stütze gemäß EC4-1-2 die Knicklänge des Stützenabschnittes im Erdgeschoss auf 0,7 x 4,00 = 2,80 m reduziert werden. In der Berechnung wurde konservativ eine sinusförmige Imperfektion von L/500 angesetzt.

Unter den gegebenen Lasten versagt Stütze 1 nach 61 min und erfüllt damit gerade noch die Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F60. Im Gegensatz dazu versagt Stütze 2 aufgrund der schnelleren Erwärmung bereits nach 44 min, so dass diese Stütze lediglich als F30 klassifiziert werden kann. Der Unterschied in der Feuerwiderstandsdauer beträgt somit 17 min.

Die stark voneinander abweichenden thermischen Materialparameter führen dazu, dass die Temperatur im Mittelpunkt der Stütze (Punkt 3 in Bild 10) nach 90 min für die schnell erwärmte Stütze ca. 300°C beträgt, während bei der langsam erwärmten Stützen die Temperatur nur knapp 100°C beträgt. Es liegt also eine Temperaturdifferenz von ca. 200°C vor (s. Bild 11).

Die vorige Untersuchung wurde für normalfesten Beton bis zu einer Festigkeitsklasse von C50/60 durchgeführt. Für hochfesten Beton wird im nationalen Anhang zum EC2-1-2 analog zum normalfesten Beton die obere Grenze der Wärmeleitfähigkeit empfohlen. Allerdings wird im EC4-1-2 auch darauf hingewiesen, dass die Wärmeleitfähigkeit von hochfestem Beton höher als die von normalfestem Beton sein kann.

Zu diesem Thema gibt es auch international nur wenige Forschungsarbeiten. In [19] wird auf die Untersuchungen in [20] hingewiesen, wo sich die thermischen Materialeigenschaften zweier untersuchter hochfester Betone nur geringfügig von den Regelungen für Normalbeton unterschieden. Abweichend davon sind z. B. die kanadischen Empfehlungen für die thermischen Materialeigenschaften von hochfestem Beton. Bild 11 stellt exemplarisch die obere und untere Grenze der Wärmeleitfähigkeit gemäß EC2-1-2 den entsprechenden kanadischen Empfehlungen gegenüber. Es sind deutliche Abweichungen festzustellen. Weitere numerische Untersuchungen zu diesem Thema sind in [16], [17], [18] zu finden. Angesichts des vermehrten Einsatzes von hochfestem Beton empfehlen die Verfasser weitere experimentelle und begleitende numerische Untersuchungen zu diesem Thema.

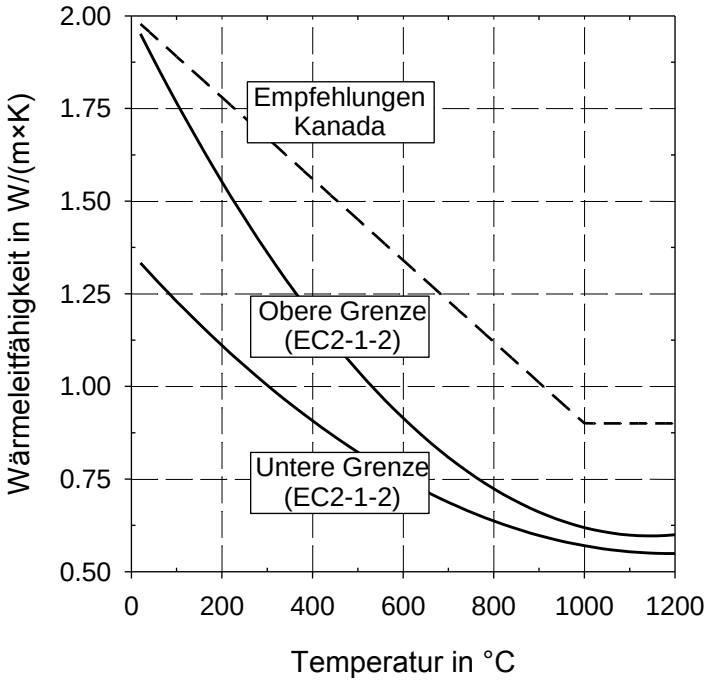


Bild 11 Vergleich der thermischen Materialparameter von Beton gemäß EC2-1-2 und den kanadischen Empfehlungen

Gesamttragwerksberechnung

Der brandschutztechnische Nachweis von Tragwerken erfolgt bis heute vorwiegend auf Bauteilebene. Dafür gibt es zwei wesentliche Gründe. Erstens gab es für die Brandversuche an tragenden Bauteilen jahrzehntelang etablierte Versuchsbedingungen, die etwas verkürzt aus den beiden Komponenten Einheits-Temperaturzeitkurve und Gebrauchslast bestanden. Aus der Vielzahl von Bauteilbrandversuchen existiert weltweit ein enormer Erfahrungsschatz und ein darauf aufgebautes Sicherheitsniveau. Der Erfahrungsschatz lässt sich allerdings nicht ohne Weiteres auf andere Brandszenarien und andere mechanische Beanspruchungen übertragen. Der Normbrandversuch ist heute weitgehend numerisch simulierbar. Will man nun anstelle einzelner Bauteile im Hinblick auf reale Szenarien ganze Tragwerke simulieren, stellte sich zunächst die Frage nach den numerischen Modellen. Ab den achtziger Jahren standen die ersten Programme für den brandschutztechnischen Nachweis von Rahmen-Tragwerken zur Verfügung ([z. B. [21]). Gleichwohl sind Gesamttragwerksberechnungen bis heute eher die Ausnahme als die Regel. Dafür gibt es einen zweiten Grund. Bislang fehlen etablierte Beanspruchungsszenarien, denen zugetraut wird, dass sie ein gesellschaftlich akzeptiertes Sicherheitsniveau gewährleisten. Ferner sind derartige Berechnungen von gesamten Tragwerken anspruchsvoll und zeitaufwändig. Daher verfügen in der Regel nur einige Hochschulen und auf den Brandschutz spezialisierte Ingenieurbüros über entsprechende Möglichkeiten und Erfahrungen.

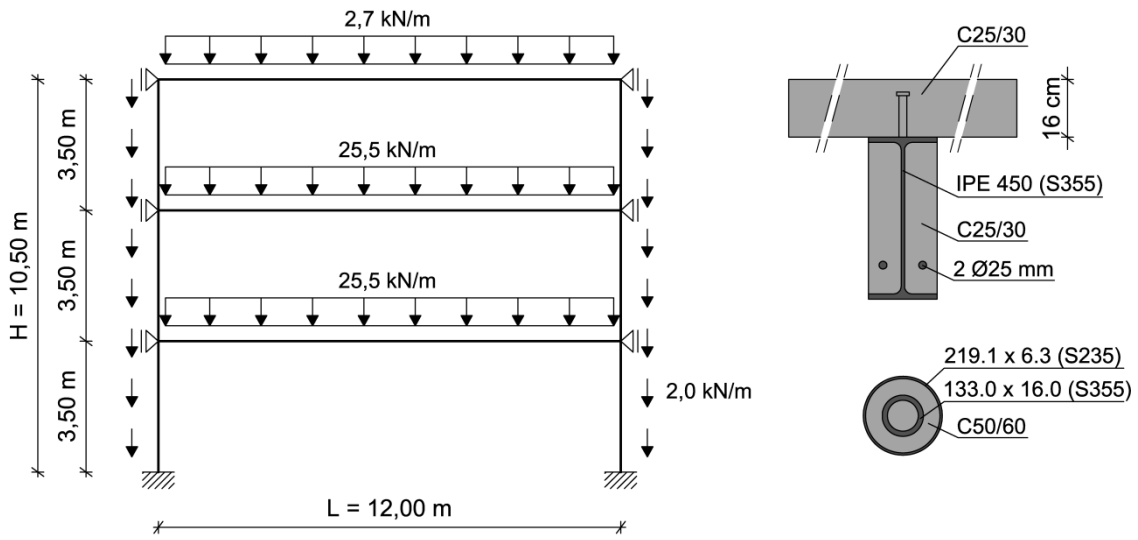


Bild 12 Statisches System, Belastung und Querschnitte des untersuchten Verbundrahmens (Belastung im Endzustand)

Die Möglichkeit des Nachweises an Teiltragwerken wird normativ im Abschnitt 2.4.3 von EC3-1-2 und EC4-1-2 festgelegt. Danach dürfen die Lagerungsbedingungen sowie Schnittgrößen an den Rändern des Teiltragwerks im Brandfall als unveränderlich angesehen werden. Zudem dürfen Wechselwirkungen mit der umgebenden Struktur durch zeitunabhängige Lagerungs- und Randbedingungen während der Brandbeanspruchung beschrieben werden. Im Folgenden wird am Beispiel eines brandbeanspruchten unverschieblichen Verbundrahmens aufgezeigt, dass dieser Ansatz einige Fragen aufwirft.

Das statische System, die Belastung sowie die Querschnitte des einschiffigen und dreistöckigen Verbundrahmens sind in Bild 12 dargestellt. Die Belastung wurde für ein Bürogebäude mit einem Rahmenabstand von 3,60 m ermittelt. Für den Anschluss des kammerbetonierten Verbundträgers an die Stützen wurde ein brandschutztechnisch optimierter Verbundbauanschluss entwickelt. Dieser basiert auf Rohr-in-Rohr-Stützen, bei der die Lasten im Brandfall von dem inneren Rohr abgetragen werden. Der Anschluss wurde in dem verwendeten Simulationsprogramm Safir [22] gesondert modelliert. Für Einzelheiten wird auf [12] verwiesen. Es wurde ein Brandverlauf entsprechend der Einheits-Temperaturzeitkurve im untersten Geschoss angenommen.

Der Verbundrahmen versagt nach 103 min. In Bild 13 sind charakteristische Schnittgrößen bis zum Versagenszeitpunkt ausgewertet. Dazu gehören das Moment im Stützenanschnitt (M_b), das Moment in Feldmitte (M_f) sowie die Normalkraft im Träger über dem brandbeanspruchten Erdgeschoss.

In dem numerischen Modell wurde die Belastungsgeschichte des Verbundrahmens berücksichtigt, d. h. die Betondecke belastet im Bauzustand den Stahlträger. Die eingeprägten Spannungen und Verformungen werden in dem Modell berücksichtigt. Dies wird auch in Bild 13 deutlich, da das Stützmoment (M_b)

wegen des gelenkig gelagerten Stahlträgers zunächst Null ist, während sich ein Feldmoment (M_f) von ca. 300 kNm einstellt. Im Endzustand ist der Deckenbeton ausgehärtet und beteiligt sich zusammen mit dem Stahlträger als Verbundquerschnitt am Lastabtrag. In der Simulation werden die eingeprägten Spannung und Verformungen aus dem Bauzustand im ersten Berechnungsschritt berücksichtigt. Im darauffolgenden Berechnungsschritt wird das Verbundsystem mit den dazugehörigen Lasten aus dem Endzustand berücksichtigt. Für Einzelheiten wird auf [12] verwiesen.

Weiterhin ist in Bild 13 zu sehen, dass sich in den ersten zwanzig Minuten des Brandes eine Druckkraft (N) von bis zu 480 kN im Riegel einstellt. Dies ist auf die Zwängungen zurückzuführen, die aus der behinderten thermischen Dehnung des Riegels im unverschieblichen Rahmen resultieren. Nach zwanzig Minuten nimmt die Festigkeit des direkt beflammten Unterflansches rapide ab, so dass der Riegel schneller durchbiegt. Nach ungefähr vierzig Minuten wirkt der Riegel aufgrund der großen Verformungen bis zum Versagen des Rahmens als Zugglied. Dabei treten zum Versagenszeitpunkt Zugkräfte von maximal 200 kN auf.

Die Durchbiegung im Riegel (s. Bild 14 links) rufen Verdrehungen des Anschlussbereichs und somit eine negative Momentenbeanspruchung hervor. Daher nimmt das Moment im Stützenanschnitt (M_b) von 0 kNm zu Beginn des Brandes (gelenkiger Stahlträger) auf 115 kNm zu. Das maximale Stützmoment wird durch den teiltragfähigen Verbundknoten begrenzt, indem eine definierte Bewehrungsmenge kraftschlüssig mit der Stütze verbunden wird.

Das Moment in Feldmitte ist bis ca. 60 min Branddauer relativ konstant; danach reduziert sich jedoch das aufnehmbare Moment drastisch, weil die Beanspruchbarkeit des Verbundträges infolge des Brandes sinkt. Zum Versagenszeitpunkt hat sich die ursprüngliche Momententragfähigkeit halbiert.

In dem vorliegenden statisch unbestimmten Rahmen verteilen sich die Schnittgrößen entsprechend der effektiven Biegesteifigkeit der Träger und Stützen. Aufgrund der thermischen Einwirkung degradieren die Materialkennwerte, so dass die effektive Biegesteifigkeit im Verlauf des Brandes abnimmt. Diese zeitliche Abhängigkeit kann wie in dem ausgeführten Beispiel im Gegensatz zu den Annahmen des EC3-1-2 und EC4-1-2 stehen.

Zukünftig wird der Nachweis auf Bauteilebene gegenüber dem Nachweis der Gesamtstruktur an Bedeutung verlieren. Bislang setzen die verfügbaren Rechenkapazitäten den numerischen Modellen allerdings immer noch Grenzen.

In der gängigen Brandschutzsoftware sind zudem Bereiche wie die Lasteinleitung gesondert zu untersuchen. So muss z. B. für die Rahmenecke des Verbundrahmens sichergestellt werden, dass die Kräfte aus dem Träger in die Stütze eingeleitet werden können. Da üblicherweise keine Interaktion vorgenommen wird, muss dieser Punkt zusätzlich untersucht werden.

Weiterhin wird bislang die Last- und Verformungsgeschichte von Verbundbauwerken für die Brandschutzbemessung vernachlässigt. Dies ist in Übereinstimmung mit den Eurocodes.

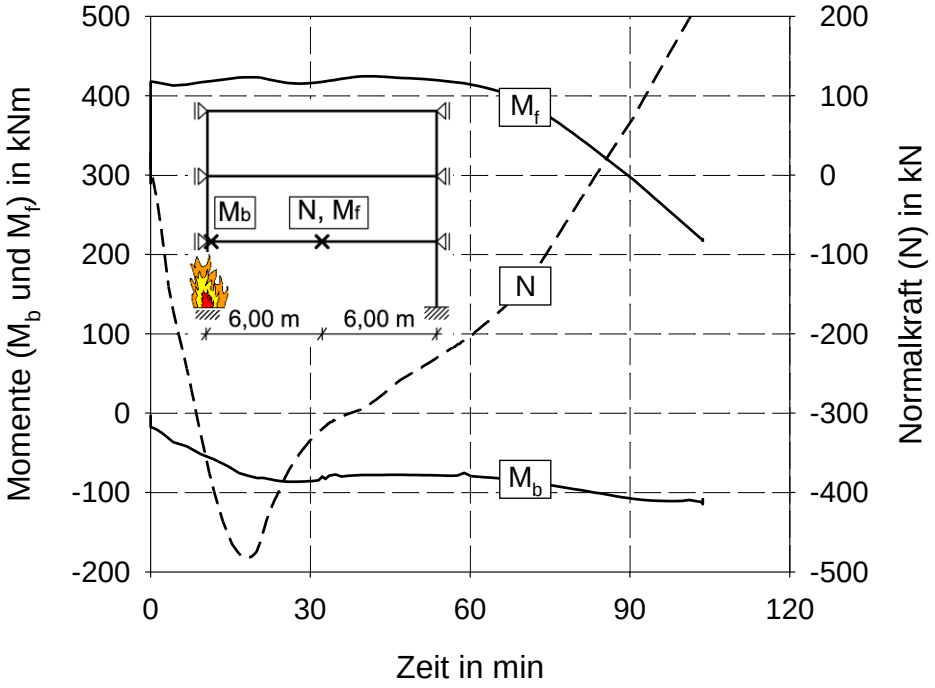


Bild 13 *Zeitlich veränderliche Normalkraft im Riegel (N), Moment am Stützenanschnitt (M_b) und in Feldmitte (M_f)*

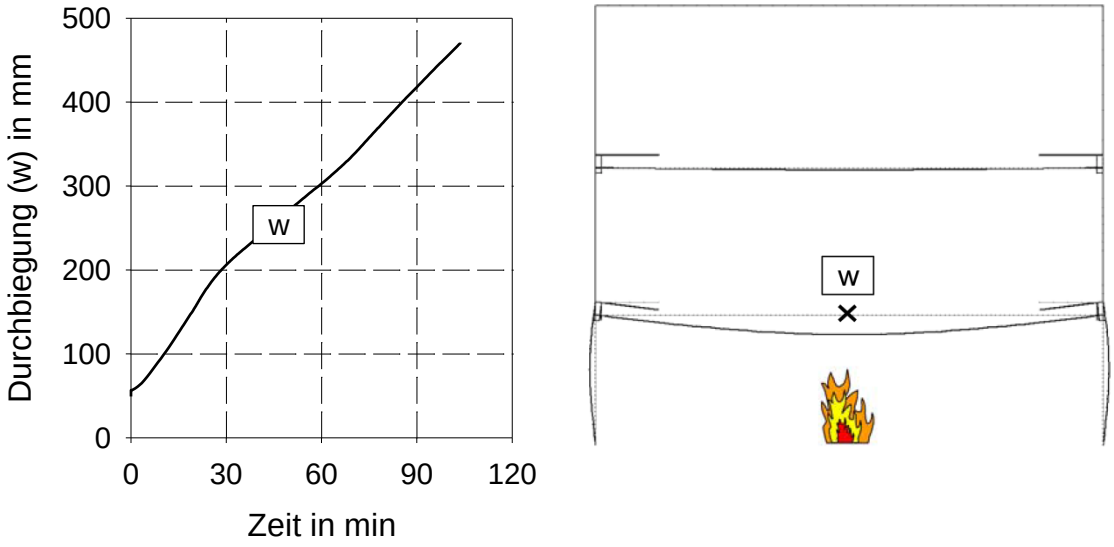


Bild 14 *Durchbiegung (w) des Riegels (links); verformter Rahmen zum Versagenszeitpunkt (rechts)*

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die nationalen und europäischen Forschungsaktivitäten haben parallel zu der der Eurocode-Normung in den vergangenen Jahren große Fortschritte im Bereich der Ingenieurmethoden des baulichen Brandschutzes gebracht. Mehr und mehr besteht die Tendenz, reale Brandszenarien in die Bauteilauslegung einfließen zu lassen. Von diesen Fortschritten können und sollten zukünftig auch der Stahlbau und der Verbundbau profitieren.

Die Brandschutzteile der Eurocodes sind zurzeit noch als europäische Vornormen (ENV) parallel zu den nationalen Vorschriften gültig. Inzwischen wurden sie jedoch in überarbeiteter Fassung als europäische Normen veröffentlicht und auch die zugehörigen Nationalen Anhänge liegen als Normentwürfe vor. Mit ihnen sollen die bisherigen Einschränkungen hinsichtlich der Berücksichtigung von Naturbränden auf Seite der Einwirkungen und der allgemeinen Berechnungsverfahren auf Seite der Beanspruchbarkeiten fallen.

Dieser Beitrag zeigt zunächst einige wesentliche Änderungen auf, die sich für die brandschutztechnische Bemessung von Stahl-, Stahlverbund- und Aluminiumbauteilen aufgrund der EN-Fassungen der Eurocode-Brandschutzteile ergeben haben. Weiterhin wird über Erfahrungen aus der Anwendung dieser Normen berichtet. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Materialparameter besteht. Am Beispiel eines Rahmentragwerkes wird gezeigt, dass die isolierte Betrachtung von Einzelbauteilen die tatsächliche Beanspruchung im Brandfall unterschätzen kann.

Ein wesentliches Potenzial der Eurocode-Brandchutzteile besteht in der Anwendung der allgemeinen Berechnungsverfahren oder Simulationsverfahren. Diese Verfahren beinhalten die vollständige thermische und mechanische Analyse in einem numerischen Simulationsmodell. Diese Nachweismethode darf nach den Eurocodes grundsätzlich auf Bauteile, Tragwerksteile und Gesamtkonstruktionen angewendet werden. Rechnerische Simulationsverfahren helfen, den Kenntnisstand in einem Maße zu vertiefen, wie er selbst durch eine große Zahl von Brandversuchen nicht erreicht werden könnte. Damit werden die Grundlagen für eine brandschutztechnisch optimierte Bemessung gelegt. Dieses ist gerade für den Bereich des Stahl- und Verbundbaus in den letzten beiden Jahrzehnten eine Voraussetzung für kreative und innovative Lösungen geworden. Nachteil dieser Verfahren ist, dass dafür geeignete Computerprogramme erforderlich sind, deren Anwendung heute noch auf einige spezialisierte Hochschulinstitute oder Ingenieurbüros begrenzt ist.

Es ist zu wünschen, dass mit dem Vorliegen der EN-Fassungen der Eurocodes und der Nationalen Anhänge auch Wege gefunden werden, die rechnerischen Ingenieurmethoden in der Baupraxis allgemein anwendbar zu machen und bauaufsichtlich zu akzeptieren.

LITERATUR

[1] Schaumann, P.: Brandverhalten von Stahl- und Stahlverbundbauteilen, Fortschreibung der DIN 4102-4 und der Eurocodes. In: Braunschweiger Brandschutztage ‘03, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 168, Braunschweig 2003, S. 139 – 156, ISBN 3-89288-149-9.

[2] DIN EN 1993-1-2:2006-10 - Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.

[3] DIN EN 1994-1-2:2006-11 - Eurocode 4 - Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.

[4] DIN EN 1999-1-2:2007-02 - Eurocode 9 - Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Aluminium, Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.

[5] Zehfuß, J.: Brandschutzbemessung eines weitgespannten, zweistöckigen Stahl-Fachwerkträgers für ein Verwaltungsgebäude. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ’09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, Braunschweig 2008, ISBN 978-3-89288-191-9.

[6] Franssen, J.-M.: Calculation of temperature in fire-exposed bare steel structures: comparison between ENV 1993-1-2 and EN 1993-1-2. Fire Safety Journal 41 (2006), S. 139-43.

[7] Wickstrom, U.: Comments on calculation of temperature in fire-exposed bare steel structures in prEN 1993-1-2: Eurocode 3 - Design of steel structures. Fire Safety Journal 40 (2005), S. 191-192.

[8] Wickstrom, U.: Comments on Franssen’s article on calculation of temperature in fire-exposed bare steel structures. Fire Safety Journal 41 (2006), S. 491.

[9] Schaumann, P.: Brandschutznachweise für ungeschützte Stahlkonstruktionen. Bundesbaublatt 7 (1999), S. 69-71.

[10] Schaumann, P.; Kettner, F.; Heise, A.; Hothan, S.: Tragwerksbemessung für den Brandfall bei Verbundtragwerken. Schlussbericht. Bauforschungsbericht F3089. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2005.

[11] Kumar, S., et al.: Integrating advanced three-dimensional modelling methodologies for predicting thermo-mechanical behaviour of steel and composite structures subjected to natural fires (Firestruc). RFCS-Vertrag Nr. RFS-CR-03030, Brüssel: Europäische Kommission 2003-2006.

[12] Schaumann, P.; Bahr, O.; et al.: Unbraced Composite Structures in Fire (UCoSiF). Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben mit dem RFCS-Vertrag Nr. RFSR-CT-2007-00044, Brüssel: Europäische Kommission 2007-2010.

[13] Schaumann, P.; Kettner, F.; Ostheer, S.: Bestimmung der thermischen Materialkennwerte von Normalbeton für die brandschutztechnische Bemessung von Verbundbauteilen nach EC4 Teil 1-2: Schlussbericht. Bauforschungsbericht F3060. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2004.

[14] Annexe Nationale à la NF EN 1994-1-2: Calcul du comportement au feu. Französischer Nationaler Anhang zu EN1994-1-2 (2006).

[15] Haß, R.; Meyer-Ottens, C.; Quast, U.: Verbundbau Brandschutz Handbuch. Berlin: Ernst & Sohn 1993.

[16] Schaumann, P.; Kodur, V.; Bahr, O.: Fire behaviour of hollow structural section steel columns filled with high strength concrete. Journal of Constructional Steel Research 65 (2009), S. 1794-1802.

[17] Schaumann, P.; Kodur, V.; Bahr, O.: Numerical studies on HSC-filled steel columns exposed to fire. Tubular Structures XI. London: Taylor and Francis Group 2006.

[18] Schaumann, P.; Kodur, V.; Bahr, O.: Fire resistance of high strength concrete-filled steel columns. Aveiro: SIF'06 - 4th International Workshop "Structures in Fire" 2006.

[19] Nause, P.: Berechungsgrundlagen für das Brandverhalten von Druckgliedern aus hochfestem Beton. Dissertation Technische Universität Braunschweig, Braunschweig 2006.

[20] Kalifa, P. ; Menneteau, F.-D.: Mesures de pression, température et perte en masse dans les bétons à hautes températures - Mise au point d'une métrologie originale. Cahiers du CSTB 3154 (1999), S. 1-17.

[21] Schaumann, P.: Zur Berechnung stählerner Bauteile und Rahmentragwerke unter Brandbeanspruchung. Bochum: Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen Nr. 84-4, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum 1984.

[22] Franssen, J.-M.: SAFIR - a thermal/structural program modelling structures under fire. Engineering Journal 42 (2005), S. 143-158.

NEUE NORMEN FÜR ANLAGENTECHNISCHE BRANDSCHUTZMASSNAHMEN

Hans-Joachim Gressmann,
Stadt Braunschweig, Fachbereich Feuerwehr, Braunschweig

EINLEITUNG

Normen, insbesondere die Normen des DIN - Deutsches Institut für Normung e.V -, sind für den Brandschutzingenieur allgemein anerkannte, unabhängige und unentbehrliche Grundlagen für eine dem Stand der Technik entsprechende Planung und Ausführung von Brandschutzanlagen und deren Bauteile. Normen sind jedoch von Zeit zu Zeit - in der Regel nach fünf Jahren - zu überprüfen und wo notwendig der in der Zwischenzeit eingetretenen Entwicklung der Technik anzupassen. Für manche technische Einrichtungen werden auch auf der Grundlage entsprechender Mandate des CEN - Centre Europeen de Normalisation - mehr und mehr harmonisierte Normen erarbeitet, die dann ohne Änderungen von den Normungsinstituten der Mitgliedsländer der Europäischen Union als nationale Normen übernommen werden müssen. Konkurrierende nationale Normen sind dann zurück zu ziehen.

Die Basis, auf der Brandschutzingenieure ihre Arbeit ausführen ändert sich also ständig. In diesem Beitrag sollen die wichtigsten Änderungen in den Normen für Brandmeldeanlagen und Löschanlagen, die in den vergangenen Jahren eingetreten oder für die nähere Zukunft zu erwarten sind, dargestellt worden. Wegen des großen Umfanges der Änderungen, Ergänzungen und Berichtigungen insgesamt können nur ausgewählte Normen behandelt werden, jedoch informiert dieser Beitrag über alle neu erschienenen Normen und Normentwürfe der genannten Gebiete des Anlagentechnischen Brandschutzes. Aus Platzgründen nicht behandelt werden die neueren Entwicklungen zu Entrauchungsanlagen.

BRANDMELDEANLAGEN

Für Brandmeldeanlagen sind in den letzten Jahren die Normen der Tabelle 1 neu erschienen oder überarbeitet worden. Die europäischen Produktnormen der Reihe EN 54 sind nunmehr nahezu komplett. Somit liegen für fast alle Bauteile von Brandmeldeanlagen (Bild 1) technische Bau- und Prüfvorschriften vor. Diese sind in erster Linie für die Hersteller dieser Bauteile von Interesse, weniger für die mit der Planung, dem Aufbau und Betrieb sowie der Instanthaltung von Brandmeldeanlagen befassten Fachfirmen, die, wie in DIN VDE 0833-2 unter Punkt 4.1 festgelegt, ausschließlich nach DIN EN 54 genormte Bauteile zu verwenden haben.

Wichtig für die Planung und Projektierung von Brandmeldeanlagen sind die in Tabelle 1 fett gedruckten Normen.

Tabelle 1 Einige neuere Normen- und Normentwürfe für Brandmeldeanlagen

Normausschuss	**NA 031-02-01 AA Brandmelde- und Feueralarmanlagen**	
Norm	**Stand**	**Inhalt**
DIN 14623	2009-09	Orientierungsschilder für automatische Brandmelder
E DIN 14623	2008-10	Orientierungsschilder für automatische Brandmelder
E DIN 14661	2009-07	Feuerwehrwesen - Feuerwehr-Bedienfeld für Brandmeldeanlagen
DIN 14661	2008-02	Feuerwehrwesen - Feuerwehr-Bedienfeld für Brandmeldeanlagen
E DIN 14662	2008-10	Feuerwehrwesen - Feuerwehr-Anzeigetableau für Brandmeldeanlagen
E DIN 14674	2009-08	Brandmeldeanlagen - Anlagenübergreifende Vernetzung
DIN 14675	**2003-11**	**Brandmeldeanlagen - Aufbau und Betrieb**
DIN 14675/A1	**2006-12**	**Brandmeldeanlagen - Aufbau und Betrieb; Änderung A1**
DIN 14675/A2	**2009-06**	**Brandmeldeanlagen - Aufbau und Betrieb; Änderung A2**
DIN 14678	2008-08	Handfeuermelder (Bauart K) zur Anwendung in durch Gase oder Stäube explosionsgefährdeten Betriebsstätten
E DIN EN 54-1	2008-10	Brandmeldeanlagen - Teil 1: Einleitung
E DIN EN 54-3	2009-04	Brandmeldeanlagen - Teil 3: Feueralarmeinrichtungen - Akustische Signalgeber
E DIN EN 54-12	2009-04	Brandmeldeanlagen - Teil 12: Rauchmelder - Linienförmiger Melder nach dem Durchlichtprinzip
DIN EN 54-16	2008-06	Brandmeldeanlagen - Teil 16: Sprachalarmzentralen
DIN EN 54-20	2009-02	Brandmeldeanlagen - Teil 20: Ansaugrauchmelder
DIN EN 54-24	2008-06	Brandmeldeanlagen - Teil 24: Komponenten für Sprachalarmierungssysteme - Lautsprecher
DIN EN 54-25	2009-02	Brandmeldeanlagen - Teil 25: Bestandteile, die Hochfrequenz-Verbindungen nutzen
E DIN EN 54-26	2008-04	Brandmeldeanlagen - Teil 26: Punktförmige Melder mit Kohlenmonoxidsensoren
E DIN EN 54-27	2008-09	Brandmeldeanlagen - Teil 27: Rauchmelder für die Überwachung von Lüftungsleitungen
E DIN EN 54-30	2009-04	Brandmeldeanlagen - Teil 30: Mehrfachsensor-Brandmelder - Punktförmige Melder mit kombinierten CO- und Wärmesensoren
DIN EN 14604	2009-02	Rauchwarnmelder
ISO/DIS 7240-7	2008-02	Brandmeldeanlagen - Teil 7: Punktförmige Rauchmelder nach dem Streulicht-, Durchlicht- oder Ionisationsprinzip
ISO 7240-11 AMD1	2009-05	Brandmeldeanlagen - Teil 11: Handfeuermelder; Änderung 1
ISO/DIS 7240-17	2008-11	Brandmeldeanlagen - Teil 17: Kurzschlussisolatoren
ISO/DIS 7240-18	2008-11	Brandmeldeanlagen - Teil 18: Eingangs-/Ausgangsgeräte
ISO/DIS 7240-20	2008-11	Brandmeldeanlagen - Teil 20: Ansaugrauchmelder
ISO/DIS 7240-24	2009-02	Brandmeldeanlagen - Teil 24: Elektroakustische Lautsprecher
ISO/DIS 7240-25	2009-05	Brandmeldeanlagen - Teil 25: Bestandteile, die Hochfrequenz-Verbindungen nutzen
ISO 7240-27	2009-04	Brandmeldeanlagen - Teil 27: CO-Melder mit optischen oder Ionisations-Rauchsensoren, elektrochemischen CO- und Wärmesensoren
ISO 7240-28	2008-11	Brandmeldeanlagen - Teil 28: Zentrale für Brandschutzeinrichtungen
DIN VDE 0833-2 (VDE 0833 Teil 2)	**2009-06**	**Gefahrenmeldeanlagen für Brand-, Einbruch- und Überfall Teil 2: Festlegungen für Brandmeldeanlagen**

Auf einige wichtige Änderungen gegenüber den hier als im Wesentlichen bekannt vorausgesetzten Inhalten der jeweiligen Vorgängernorm wird im Folgenden kurz eingegangen.

Die internationalen Normungsbemühungen auf ISO-Ebene haben ebenfalls erste Ergebnisse gebracht (Tabelle 1). Da jedoch ISO-Normen - im Gegensatz zu harmonisierten europäischen Normen - nicht verpflichtend als nationale Normen übernommen werden müssen, wird auf diese nicht näher eingegangen.

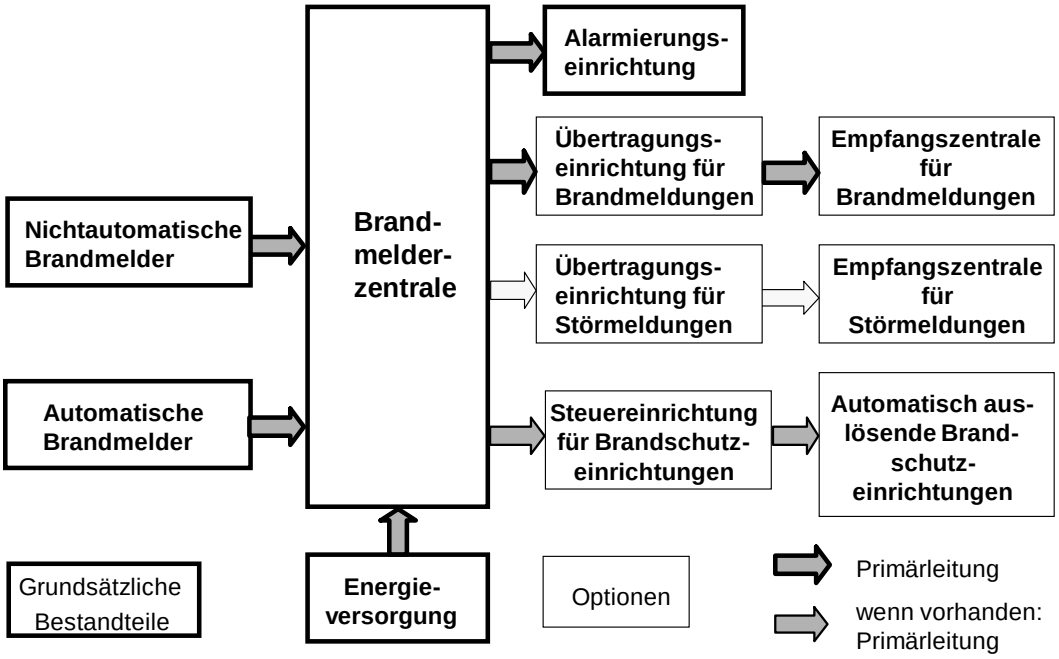


Bild 1 Grundsätzlicher Aufbau von Brandmeldeanlagen

Die DIN 14675:2003-11 Brandmeldeanlagen - Aufbau und Betrieb ist weiterhin die in Deutschland anzuwendende technische Regel, da die entsprechenden europäischen (EN) Vorschriften derzeit noch keinen Normstatus erreicht haben, sondern lediglich als Technische Spezifikationen bzw. Richtlinien vorliegen. Die DIN 14675 legt Anforderungen für den Aufbau und Betrieb von Anlagen für die Brandmeldung und Feueralarmierung in und an Gebäuden unter besonderer Berücksichtigung der bauordnungsrechtlichen und feuerwehrspezifischen Anforderungen fest. Sie gilt gemeinsam mit den Normen der Reihe DIN EN 54 und DIN VDE 0833-2 (VDE 0833 Teil 2) - auf die sie mehrfach Bezug nimmt bzw. verweist - für den Aufbau und Betrieb von Anlagen, die für den Schutz von Personen und Sachen vorgesehen sind.

Durch die Änderungsnorm DIN 14675/A1:2006-12 wurde die DIN 14675:2003-11 insbesondere hinsichtlich der Anforderungen an die Fachfirmen geändert. Als Fachfirma im Sinne der DIN 14675 gelten nunmehr (Punkt 3.7): " …alle an den Phasen für den Aufbau und Betrieb von Brandmeldeanlagen verantwortlich beteiligten Personen, Stellen oder Unternehmen, deren Kompetenz nachgewiesen ist."

Die Fachkompetenz der Fachfirma ist insbesondere nachgewiesen (Punkt 4.2.1), wenn sie durch eine nach DIN EN 45011 akkreditierte Stelle zertifiziert worden ist. Die nachzuweisenden Kompetenzkriterien sind in Anhang L der DIN 14675 festgelegt.

Ferner ist von der Fachfirma ein geeignetes Qualitätsmanagement nach zu weisen. Als Nachweis ist insbesondere ein Zertifikat ausreichend, wenn es von einer nach DIN EN ISO/IEC 17021 akkreditierten Stelle ausgestellt wurde. Für die Fachfirma zur Ausführung der Planungsphase ist als Nachweis eines geeigneten Qualitätsmanagements die Vorlage eines Qualitätsmanagement-Handbuches ausreichend, dessen Inhalt in Anhang M der DIN 14675 beschrieben ist.

In DIN 14675/A1 werden im neu gefassten Punkt 11 "Instanthaltung" die Pflichten des Betreibers und des Instanthalters der Brandmeldeanlage nunmehr sehr detailliert definiert. U. a. hat der Betreiber:

- Eine eingewiesene Person zu benennen und diese hinsichtlich des erforderlichen Wissens über die BMA aus- und fortzubilden
- Dafür zu sorgen, dass die vorgeschriebenen Prüf-, Inspektions- und Wartungsarbeiten zeitgerecht durchgeführt werden
- Während der Inspektionen und sonstiger Abschaltungen der BMA (oder von Teilen derselben) für die Weiterleitung von Brandmeldungen zu sorgen
- Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Schutzziele bei Abschaltungen und Störfällen zur Verfügung zu stellen.

Weiter enthält Punkt 11 der DIN 14675/A1 Vorschriften zur Prüfung und zum verpflichtenden Austausch von Brandmeldern.

Der neue Punkt 12 der DIN 14675/A1 enthält Regelungen für die Änderung und Erweiterung bestehender BMA. Hiernach muss insbesondere bei wesentlichen Änderungen oder Erweiterungen die gesamte BMA dem aktuellen Stand der Normung angepasst werden. Solche wesentlichen Änderungen oder Erweiterungen sind z. B.:

- Vernetzung der BMZ von bestehenden BMA mit BMZ von Erweiterungen im gleichen Objekt
- Erweiterungen und mehrstufige Modernisierung durch Ersetzen der vorhandenen BMZ

Im Juni 2009 ist als zweite Änderungsnorm DIN 14675/A2:2009-06 erschienen. Mit dieser Änderung werden lediglich die Verbindungsarten und deren technische Anforderungen an die technische Entwicklung angepasst bzw. allgemeiner formuliert.

DIN 14675 bestimmt in Punkt 6.2.1, dass die Projektierung der BMA "… nach DIN VDE 0833-2 (VDE 0833 Teil 2) erfolgen muss". Da kein Ausgabedatum der DIN VDE genannt ist, ist diese in der jeweils geltenden Fassung anzuwenden. Daher sind auch die Änderungen, die DIN VDE 0833:2009-06 gegenüber der Fassung von 2004-02 enthält, künftig bei der Projektierung von BMA zu beachten.

Abgesehen von einigen Begriffsanpassungen an die Normen der Reihe DIN EN 54 sind die folgenden wichtigen Änderungen und Präzisierungen in DIN VDE 0833-2:2009-06 gegenüber der alten Fassung enthalten:

Auf die Überwachung von Übertragungswegen zu sonstigen durch die BMA zu steuernden oder zu überwachenden Brandschutzeinrichtungen kann unter bestimmten Umständen verzichtet werden.

Die Ausnahmen von der Überwachung durch die BMA wurden durch die folgenden Formulierungen präzisiert:

Ausnahmen sind für abgegrenzte Räume und Bereiche nur noch zulässig, wenn diese keine oder nur eine geringe Brandlast aufweisen oder feuerbeständig abgetrennt sind. Sonstige, nicht in der beispielhaften Aufzählung enthaltene kleine Bereiche brauchen nicht überwacht zu werden, sofern wegen der Brandlast keine Bedenken bestehen, keine Personengefährdung vorliegt und keine Rauchausbreitung möglich ist (bisher: wenn wegen der Feuersicherheit keine Bedenken bestehen).

In den Tatbeständen für die Ausnahme von der Überwachung für Zwischendeckenbereiche ist die Anforderung einer Höhe von weniger als 0,8 m entfallen; die mittels nichtbrennbaren Materialien abgetrennten Bereiche in den Zwischendecken von Fluren bis zu 3 m Breite dürfen bis 20 m lang sein. Damit brauchen also Zwischendeckenbereiche wie in Bild 2 dargestellt künftig nicht mehr überwacht zu werden.

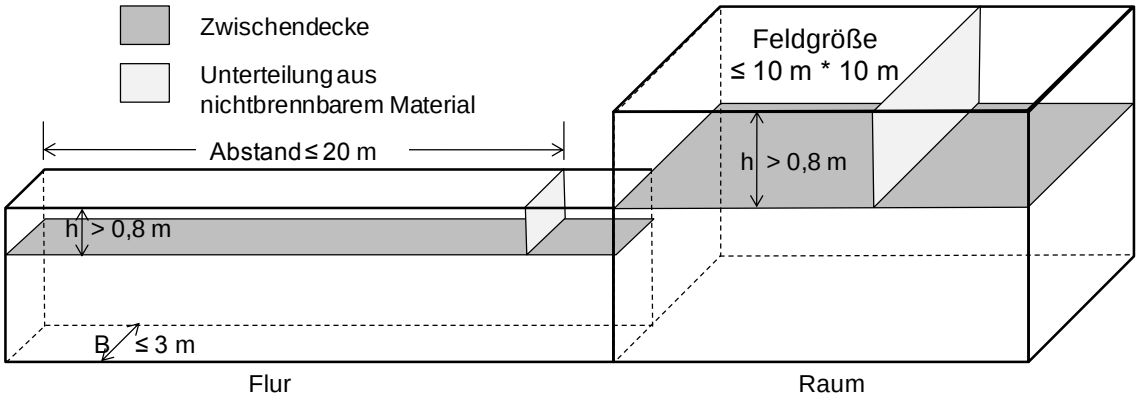


Bild 2 Zwischendeckenüberwachung nach DIN VDE 0833-2:2009-06 nicht erforderlich, wenn nur geringe Brandlasten

Die Ausnahmetatbestände für den Verzicht auf Überwachung von Zwischenbodenbereichen sind deutlich schärfer gefasst und lauten jetzt:

Bei Systemböden, Doppelböden und Hohlraumestrichen darf auf eine Überwachung verzichtet werden, wenn sämtliche der nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- sie müssen rauchdicht und brandschutztechnisch qualifiziert abgeschlossen sein
- sie dürfen nicht höher als 0,2 m sein
- sie dürfen nicht der Raumlüftung dienen.

In Anpassung an die seit 2003 erfolgten Festlegungen in den Produktnormen für Melder musste die Tabelle 1 der DIN VDE 0833-2 zur Eignung von Meldern in Abhängigkeit von der Raumhöhe neu erstellt werden. Sie enthält nunmehr auch Linienförmige Melder und Rauchansaugmelder.

Die Beschränkung des Anschlusses von nur 128 Meldern auf einem Übertragungsweg ist in DIN VDE 0833-2:2009-06 nicht mehr enthalten. Neu aufgenommen wurde die Maximalzahl von 4 über eine Ringleitung anzusteuernden Löschbereiche.

Präzisiert wurden auch die Regeln für die Anordnung von Brandmeldern und um Hinweise zur Berücksichtigung perforierter Decken ergänzt. Ebenfalls neu enthalten sind hier Regelungen zur Anordnung von Brandmeldern in Treppenräumen (Bild 3).

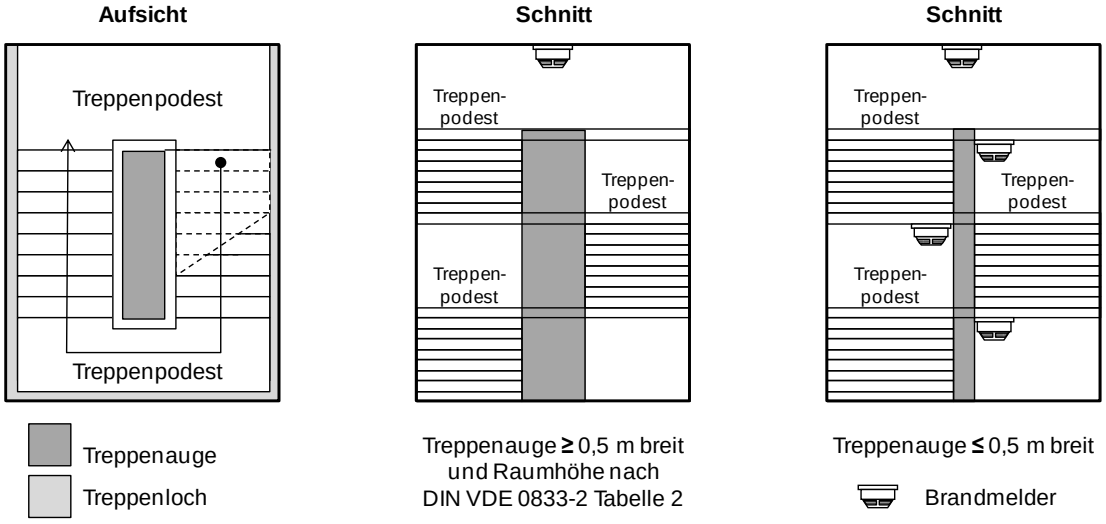


Bild 3 Anordnung von Brandmeldern in Treppenräumen nach DIN VDE 0833-2:2009-06

Zusätzlich zu den in Bild 3 dargelegten Anordnungsvorschriften sind hinsichtlich der Höhe des Treppenraumes die Vorschriften der Tabelle 2 und hinsichtlich der zulässigen Größe der Treppenpodeste die Vorschriften des Bildes 7 aus

DIN VDE 0833-2:2009-06 zu beachten. Dies bedeutet, dass ggf. auch bei Treppenräumen mit Treppenauge ≥ 0,5 m:

- auf Grund der Gesamthöhe des Treppenraumes zusätzliche Melder in Zwischenebenen eingebaut werden müssen
- sofern die Treppenpodeste bestimmte Größen überschreiten, unter jedem Podest Melder eingebaut werden müssen.

Bei der Aufteilung von Räumen in Überwachungsbereiche muss nunmehr entweder der maximale Abstand DH jedes Deckenpunktes vom nächsten Melder überprüft, oder es müssen bestimmte Seitenverhältnisse der Überwachungsbereiche eingehalten werden. Für Sheddächer wurde eine Regelung aufgenommen, die die Spannweite der Sheds bei der Anordnung von Brandmeldern als zusätzliches Kriterium enthält (Punkt 6.2.7.9)

Unter Punkt 6.2.7.16 wurde in DIN VDE 0833-2:2009-06 die Anordnung von Meldern für Lüftungleitungen neu geregelt, in Punkt 6.3.3 die Regelungen zur Wahrnehmbarkeit von Internalarmen präzisiert. Erstmals enthält DIN VDE 0833-2:2009-06 Regelungen zur Ansteuerung von Löschanlagen durch die BMA. Die Ansteuerung von Löschlanlagen muss künftig ausschließlich über eine in Anhang D definierte "Standartschnittstelle Löschen" erfolgen.

Zur Aufrechterhaltung des in der Projektierung der BMA angestrebten Sicherheitsniveaus über die gesamte Nutzung der BMA (und damit i. A. des Gebäudes) ist erstmals in DIN VDE 0833-2:2009-06 auch die Pflicht des Betreibers einer BMA enthalten (Punkt 9.4), durch laufende Überprüfungen sicher zu stellen, dass die Räume und Bereiche, die nicht in die Überwachung durch die BMA einbezogen wurden, hinsichtlich der Brandlast weiterhin unbedenklich sind. Hieraus folgt ggf., dass Bereiche entweder ebenfalls überwacht werden oder die Brandlasten entfernt werden müssen.

WASSERLÖSCHANLAGEN

Für Wasserlöschanlagen sind in den letzten Jahren die in Tabelle 2 aufgeführten Normen und Normentwürfe neu erschienen. Einige Aspekte der in Tabelle 2 fett gedruckten neuen Normen sollen kurz dargestellt werden.

Sprinkleranlagen

Im Folgenden sollen einige wichtige Änderungen der DIN EN 12845:2009-07 gegenüber den hier als im Wesentlichen bekannt vorausgesetzten Inhalten der nie veröffentlichten Vorgängernormen DIN EN 12845:2004 und der noch nicht zurück gezogenen DIN 14489:1985-05 zu Sprinkleranlagen (Bild 4) betrachtet werden. Außerdem soll über mögliche Auswirkungen des Entwurfes der E DIN 14489:2009-05, über den derzeit innerhalb der Normgremien diskutiert wird, berichtet werden.

Tabelle 2 Einige neuere Normen- und Normentwürfe für Wasserlöschanlagen

Normausschuss	**NA 031-03-03 AA Wasserlöschanlagen und Bauteile**	
Normen	**Stand**	**Inhalte**
DIN EN 12259-3 Berichtigung 1	2008-06	Ortsfeste Löschanlagen - Bauteile für Sprinkler- und Sprühwasseranlagen - Teil 3: Trockenalarmventile mit Zubehör - (enthält Änderung A1:2001)
DIN EN 12845	**2009-07**	**Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Automatische Sprinkleranlagen - Planung, Installation und Instandhaltung**
E DIN 14489	**2009-05**	**Sprinkleranlagen – Allgemeine Grundlagen – Anforderungen für die Anwendung von Sprinkleranlagen nach DIN EN 12845**
ISO/FDIS 6182-12	2008-09	Brandschutz - Automatische Sprinkleranlagen - Teil 12: Anforderungen und Prüfverfahren für Rohrkupplungen mit genuteten Rohren
DIN CEN/TS 14816	**2009-05**	**Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Sprühwasserlöschanlagen – Planung, Einbau und Wartung**
DIN CEN/TS 14972	**2008-11**	**Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Feinsprüh-Löschanlagen – Planung, Einbau und Wartung**

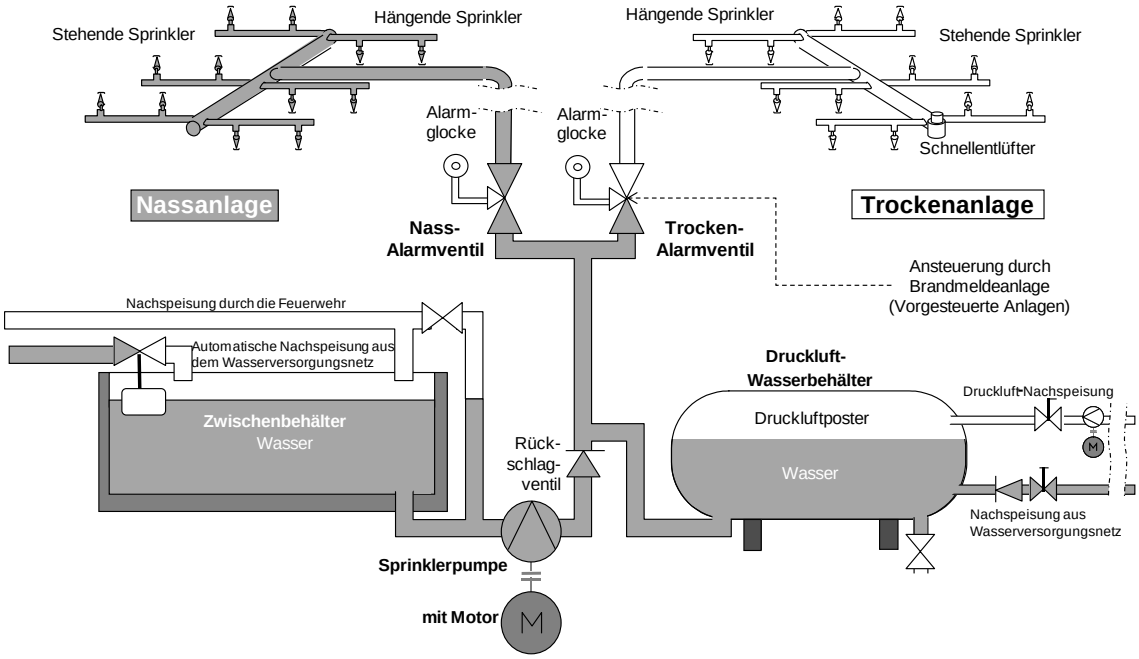


Bild 4 Grundsätzlicher Aufbau von Sprinkleranlagen (schematisch)

Bei der Durchsicht von DIN EN 12845:2009-07 fällt zunächst auf, dass diese Norm entgegen der Vorgängerfassung von 2004 - die in Deutschland wegen vieler inhaltlicher Fehler vom DIN nicht veröffentlicht worden ist - keinen Anhang ZA mehr enthält. Entgegen der bisherigen Lesart in Europa fällt die DIN EN 12845 als Planungs- und Errichtungsnorm nämlich nicht mehr unter den Geltungsbereich der Bauproduktenrichtlinie [1] und daher ergibt sich aus dieser

auch keine gesetzliche Verpflichtung, Sprinkleranlagen nach dieser Norm zu planen und einzubauen.

Inhaltlich ist DIN EN 12845 bereits seit der erstmaligen Ausgabe 2002 unter Fachleuten sehr umstritten. Zwar wurden auch in der nun vorliegenden Neufassung wiederum einige technische Fehler korrigiert und zusätzliche Sicherheitsanforderungen integriert, jedoch wird insbesondere für Deutschland weiterhin befürchtet, dass durch diese Norm - die als Kompromiss unter dem Diktat des politisch für Europa gewollten Abbaus von Handelshemmnissen entstanden ist - schleichend auch das Sicherheitsniveau, dass Sprinkleranlagen heute noch bieten, abgesenkt werden wird. Aus diesem Grunde ist der Entwurf E DIN 14489 erarbeitet worden, der zusätz-lich zu DIN EN 12845:2009-07 als so genannte Restnorm erscheinen soll. Diese Restnorm soll einige der in DIN 14489:1995-05 enthaltenen Anforderun-gen, die für die Planung und Errichtung von automatischen Sprinkleranlagen und für die Aufrechterhaltung des hier üblichen Sicherheitsniveaus als erforder-lich angesehen werden, aber in DIN EN 12845 nicht enthalten sind, für Deutschland festschreiben, sofern hierdurch kein Handelshemmnis geschaffen wird. Ergänzend sei darauf hin gewiesen, dass innerhalb des europäischen Normungsgremiums Einigkeit darüber herrscht, dass die EN 12845 technisch veraltet ist, bereits jetzt eine Änderung A3 erarbeitet und darüber hinaus auch schon an einer völligen Neufassung gearbeitet wird.

Neben der Berichtigung von Druckfehlern und der Klarstellung bzw. Präzisierung von Aussagen enthält die DIN EN 12845:2009-07 folgende wesentliche Neuerungen:

Aus dem Geltungsbereich der DIN EN 12845:2009-07 sind Bausätze für Sprinkleranlagen vollständig heraus gefallen.

Während DIN EN 12845 für die Abtrennung von gesprinklerten und ungesprinklerten Bereichen eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 60 Minuten fordert, stellt E DIN 14489:2009-05 für Deutschland weiterhin die Anforderung von 90 Minuten. Ob diese Forderung so erhalten bleiben wird, ist dem Vernehmen nach wegen unterschiedlicher Auffassung im Fachnormenausschuss derzeit nicht abzusehen.

Von einer Lagerung in OH-Bereichen im Sinne der DIN EN 12845 ist nach E DIN 14489 künftig dann auszugehen, wenn auf einer zu-sammenhängenden Fläche von mindestens 2 m² und/oder einer Höhe von mindestens 1,2 m gelagert wird. Somit sind auch schon bei diesen relativ geringen Lagergrößen die Sprinkleranlagen im gesamten Raum mindestens nach OH 3 auszulegen.

Zu Bemängeln ist in DIN EN 12845, dass die Anforderungen aus der Europäischen Richtlinie zur Trinkwasserversorgung, in Deutschland umgesetzt durch die Trinkwasserverordnung von 2001 [2], weiterhin nicht berücksichtigt wurden. E DIN 14489 stellt daher klar, dass die Normen der Reihe DIN 1988 und die Regeln für Trinkwasserinstallationen des DVGW [3] auch bei Sprinkleranlagen

zu beachten und daher z. B. Einspeisungseinrichtungen aus dem öffentlichen Trinkwassernetz entsprechend auszuführen sind.

Da DIN EN 12845 keine Vorschriften zu Material und Ausführung von Wasserbehältern, dazu gehören

- Zwischen- und Vorratsbehälter
- Hochbehälter
- Reservoire

enthält, sind in E DIN 14489 weiterhin die bisher in Deutschland gültigen Regelungen aufgeführt. Druckluftwasserbehälter müssen der EG-Druckgeräterichtlinie [4] entsprechen und dürfen nicht durch die Sprinklerpumpe befüllt werden.

Einige Änderungen ergeben sich in DIN EN 12845 hinsichtlich der Anforderungen die Wasserversorgung von Sprinkleranlagen. Hier ist es nunmehr ausreichend, wenn "geeignetes sauberes Wasser" zur Verfügung steht, dies muss nicht mehr Trinkwasser sein. Damit ist es prinzipiell möglich, auch einfaches (gefiltertes) Brunnenwasser, Regenwasser oder Grauwasser zu verwenden.

Neu aufgenommen wurden in Punkt 10.6.2.5 der DIN EN 12845 Anforderungen für so genannte Druckhaltepumpen, die eingesetzt werden dürfen, um unnötiges Anlaufen der Sprinklerpumpen zu vermeiden und den Druck in der Anlage oberhalb der Alarmstationen zu halten.

Einige wesentliche Fehler in Punkt 10.7 zu den erforderlichen Leistungskennwerten von Sprinklerpumpen wurden in der Neuausgabe der DIN EN 12845: 2009-07 korrigiert. U. a. wurde klar gestellt, dass die Pumpe in der Lage sein muss, 140% der Nennfördermenge bei mindestens 70% des Nenndruckes zu liefern und dass Druckschalter, die das Anlaufen der Sprinklerpumpen initiieren doppelt auszuführen und parallel zu schalten sind und einzeln das Anlaufen ermöglichen müssen.

Bei Vorgesteuerten Trockenanlagen muss nunmehr sicher gestellt sein, dass bei Störungen der ansteuernden Brandmeldeanlage die Anlage weiterhin wie eine gewöhnliche Trockenanlage funktioniert, d. h. die Alarmventile sind so zu gestalten bzw. anzusteuern, das die Auslösung dann auch ohne Branddetektion durch die BMA erfolgt (Bild 4).

In der vorherigen Fassung war in DIN EN 12845 das Bild 10 zu den Abständen der Sprühteller von Sprinklern zu Balken und ähnlichen Hindernissen fehlerhaft, dies wurde geändert, da teilweise auch Zweifel an der Zuverlässigkeit der Anlage bestanden. Zu den Bildern 23 bis 26 wurden die Bezeichnungen ergänzt.

Die Qualifikation der Stelle oder Person, die eine fertig gestellte Sprinkleranlage abnimmt, d. h. also die Funktionsfähigkeit bescheinigt, ist in DIN EN 12845 weiterhin nicht geregelt. Daher ist in E DIN 14489 die Überprüfung durch einen anerkannten Sachverständigen, der nicht bei der Planung der Anlage oder der

Erstellung des zu Grunde liegenden Brandschutzkonzeptes beteiligt war, festgeschrieben.

Der Anhang F der DIN EN 12845:2009-07 beschreibt normativ zusätzliche Anforderungen bei Sprinkleranlagen für den Personenschutz, die die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit von Anlagen nach dieser Norm erhöhen. Diese Zusatzanforderungen werden in Deutschland bei Ausführung von Sprinkleranlagen nach DIN EN 12845 und E DIN 14489 nicht für erforderlich gehalten, da die Zuverlässigkeit solcher Anlagen nach Ansicht der bei der Normung mitwirkenden Institutionen auch für den Personenschutz ausreicht. In E DIN 14489 wird unter Punkt 5.28 daher ausgeführt, dass der Anhang F der DIN 12845 nur anzuwenden ist, wenn dies im Baugenehmigungsverfahren ausdrücklich gefordert wird.

In Anhang G der DIN EN 12845 werden zusätzliche Anforderungen an Sprinkleranlagen beschrieben, die bei der Abdeckung von Risiken durch Polypropylen- oder Polyethylenbehälter (u. a. s. g. Kleinladungsträger, siehe hierzu z. B. [5], [6]) entstehen. Hierzu gehören:

- Einstufung in HSS Kategorie IV
- Kleinere Maximalabstände der Sprinkler von der Brandlast und Ansprechempfindlichkeit mindestens schnell
- Begrenzung der Lagerhöhe
- Zusatz von film bildendem Schaummittel (AFFF) zum Löschwasser.

E DIN 14489 empfiehlt, diese zusätzlichen Anforderungen auch bei Lagermaterialien aus PE/PE und aus sonstigen Kunststoffen mit ähnlichem Brandverhalten anzuwenden.

Zur 25-Jahresüberprüfung von Sprinkleranlagen enthält die DIN EN 12845 nur im informativen Anhang K einige empfehlende Hinweise. Dagegen legt E DIN 14489 für Deutschland verbindliche Kriterien und teilweise deutlich höhere Prüfungsumfänge fest die auf langjährigen Erfahrungen der hiesigen Industrie und Versicherungen beruhen und insbesondere der Erhaltung der Betriebsbereitschaft dienen.

Der Anhang M der DIN EN 12845 informiert lediglich darüber, dass in einigen europäischen Ländern Unternehmen, die Sprinkleranlagen planen, bauen und Instand halten, durch eine unabhängige Zertifizierungsstelle zertifiziert werden. Wegen des komplexen Aufbaus, der Wechselwirkung mit der Art und Nutzung der baulichen Anlagen sowie der Unmöglichkeit eine vollumfängliche Wirksamkeitskontrolle bei Sprinkleranlagen durchzuführen - dies würde größere Brände erfordern - ist dies in Deutschland nach Punkt 5.33 des vorliegenden Entwurfes E DIN 14489 verbindlich vorgeschrieben. Ob dieser Punkt so erhalten werden kann ist derzeit innerhalb des Fachausschusses noch nicht endgültig geklärt.

Sprühwasser-Löschanlagen

Zu Sprühwasser-Löschanlagen hat das Technische Komitee CETC 191 eine Technische Spezifikation erarbeitet, die als Vornorm DIN CEN/TS 14816:2009-05 veröffentlicht wurde. Eine Technische Spezifikation wird dann herausgegeben, wenn im Technischen Komitee die Einigung über wesentliche Inhalte noch nicht so weit entwickelt ist, dass eine Norm entstehen kann. Daher sind Technische Spezifikationen hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Stand der Technik unterhalb von Normen angesiedelt. Die Herausgabe als Vornorm ermöglicht es, die Kommentare der Fachöffentlichkeit in die Weiterentwicklung zu einem Normentwurf einzubeziehen. Mit der Veröffentlichung einer Technischen Spezifikation durch das CEN besteht - anders als bei EN-Normen - keine Verpflichtung zur Zurückziehung ggf. entgegenstehender nationaler Normen. Als Planungs- und Errichtungsnorm fällt DIN CEN/TS 14816 nicht unter den Geltungsbereich der Bauproduktenrichtlinie [1], daher ergibt sich aus dieser auch keine gesetzliche Verpflichtung, Sprühwasser-Löschanlagen nach Normen zu planen und einzubauen.

Die Technische Spezifikation DIN CEN/TS 14816 legt Anforderungen für die Planung, den Einbau und die Wartung ortsfester Sprühwasser-Löschanlagen innerhalb und außerhalb von baulichen Anlagen fest. Sie gilt für Sprühwasser-Löschanlagen die aus mindestens einer Wasserversorgung sowie einer Alarmventilstation und einer Reihe von Rohrleitungen mit üblicherweise geöffneten Sprühdüsen bestehen. Sie deckt die mit Sprühwasser-Löschanlagen zu beherrschenden Gefahren ab und kennzeichnet bestimmte bauliche Einzelheiten von Gebäuden, die für eine zufriedenstellende Leistung solcher Anlagen von Bedeutung und daher bei der Planung und Errichtung zu beachten sind.

Die bisher in Deutschland für den Anwendungsbereich der Technischen Spezifikation geltenden Normen DIN 14494:1979-03 [7] und DIN 14495:1977-07 [8] können durch DIN CEN/TS 14816 noch nicht vollständig ersetzt werden, da wichtige Anforderungen zu

- Auswahl und bauliche Ausführung von Löschdüsen für Sprühwasser-Löschanlagen
- Inbetriebsetzung, Dokumentation, Wartung und Prüfung
- Möglichkeiten des Direktanschlusses an Trinkwasseranlagen über Befüll- und Entleerungsstationen
- die Verwendung fest installierter Wasserwerfer (zur Berieselung von oberirdischen Tankanlagen [8])

nicht enthalten sind und weiterhin aus den nationalen Normen entnommen werden müssen. Die Notwendigkeit der Überarbeitung von DIN 14494:1979-03 und DIN 14495:1977-07 wird derzeit geprüft.

Inhaltlich gibt es nur wenige Abweichungen der Vornorm gegenüber der zurück gezogenen E DIN EN 14816:2004-01, die hier als bekannt vorausgesetzt wird. Neben der Präzisierung einiger Begriffe ist die Mindest-Betriebszeit generell auf 30 Minuten festgelegt. Der Punkt 5.3.2 zum Schutz brennbarer Flüssigkeiten durch Sprühwasser-Löschanlagen mit Düsen mittlerer Strömungsgeschwindigkeit wurde detaillierter ausgearbeitet. Hinsichtlich der Verwendung von Schaummitteln in diesen Anlagen wird klargestellt, dass die Bemessungskriterien der Vornorm sich auf AFFF-Schaum beziehen. Der Abschnitt über den Expositionsschutz von Gebäuden mit Sprühwasser-Löschanlagen ist nunmehr in einem informativen Anhang A enthalten.

Feinsprüh-Löschanlagen

Für Feinsprüh-Löschanlagen - oft auch als Wassernebel-Löschanlagen bezeichnet - liegt mit DIN CEN/TS 14972:2008-11 nunmehr erstmals eine technische Beschreibung einiger wesentlicher Parameter vor (zum Status einer Technischen Spezifikation siehe oben unter Sprühwasser-Löschanlagen). Zu den wirkenden Löschmechanismen und den Anwendungsbereichen von Feinsprüh-Löschanlagen (Dv0,90 des emittierten Tröpfchenspektrums bei Betriebsdruck in 1 m Abstand von der der Düse < 1 mm) wird auf die Fachliteratur verwiesen ([9] bis [15]).

Wegen der von Herstellern stets individuell auf sehr auf spezielle Anwendungsfälle ausgelegten Feinsprüh-Löschanlagen, war es außerordentlich schwierig, allgemein gültige technische Regeln zu definieren. Die Technische Spezifikation betont daher ausdrücklich, dass das Dokument vornehmlich der Bereitstellung von Informationen über die Anforderungen an Feinsprüh-Löschanlagen dient. Dementsprechend sind die technischen Beschreibungen überwiegend allgemein gehalten. Das Dokument zielt darauf hin, dass Feinsprüh-Löschanlagen unter realen Brandbedingungen geprüft werden müssen, und die Prüfung der Anlagenteile und des Anlagenaufbaus durch ein qualifiziertes Labor vorgenommen wird. Daher stellt DIN CEN/TC 14972 sehr ausführlich beispielhafte Prüfbedingungen für die Beurteilung der Wirksamkeit von Feinsprüh-Löschanlagen bereit und begrenzt die sichere Anwendung solcher Anlagen auf die Brandobjekte, für die sie geprüft sind.

Ziele von Feinsprüh-Löschanlagen sind nach der Technischen Spezifikation DIN CEN/TS 14972:2008-11:

- die Brandkontrolle
  (Begrenzung der Wärmefreisetzungsrate im Wesentlichen auf den Wert zur Zeit des Auslösens der Löschanlage), und/oder
- die Brandunterdrückung
  (Wesentliche Reduzierung der Wärmefreisetzungsrate und der Verhinderung des erneuten Anwachsens) und/oder

- die Brandlöschung
  (vollständige Löschung auch von Schwelbränden,
  d. h. Reduzierung der Wärmefreisetzungsrate auf 0)

In Anhang A der Technischen Spezifikation werden einige Testszenarien ausführlich beschrieben, die im Realmaßstab überprüft worden sind, und deren Ergebnisse auf ähnliche Anwendungsfälle übertragen werden können:

- Brandkontroll- und Brandunterdrückungssysteme für brennbare Flüssigkeiten (Brandklasse B)
  - kleine Lachenbrände (1m²)
  - kleine Lachenbrände (1 m²) mit versprühter brennbarer Flüssigkeit
  - große Lachenbrände (2 m²)
- Brandkontroll- und Brandunterdrückungssysteme für Kabeltunnelbrände (Abmessungen des Testtunnels sowie die Anzahl und Belegung der Kabeltrassen genau vorgegeben)
  - Brände in Büroräumen OH 1 nach DIN EN 12845, s. w. v, Bild 5)

Bei den Szenarien mit brennbarer Flüssigkeit wird generell Dieselöl oder Heptan als Brennstoff mit einer Vorbrennzeit von 20 und 120 Sekunden verwendet. Die Löschwirksamkeit der Anlagen ist auch bei verdeckten Bränden (d. h. bei Bränden unter Hindernissen für die Ausbreitung des Wassernebels) nachzuweisen.

Generell muss bei Bränden mit brennbaren Flüssigkeiten die Mindest-Wasserbeaufschlagung so groß sein, dass:

- die Löschzeit nach Systemaktivierung 15 Minuten nicht überschreitet
- innerhalb 30 Minuten nach Systemaktivierung
  keine Rückzündung auftritt
- innerhalb von 3 Minuten eine dauerhafte Absenkung der durchschnittlichen Raumtemperatur auf unter 100 oC erreicht wird.

Praxisanwendungen, die kleiner bzw. mit weniger Brandlast belegt sind als die aufgeführten Beispiele, werden als abgedeckt angesehen. Die Eignungskriterien für Feinsprüh-Löschanlagen für die Bekämpfung der obigen Testbrände der Brandklasse A (siehe Bild 5) sind im Wesentlichen dieselben wie bei Brandklasse B, lediglich die Temperaturabsenkung unter 100 oC darf bis zu 5 Minuten dauern.

Bild 5 Bürobrandlast für die Prüfung von Feinsprüh-Löschanlagen nach DIN CEN/TS 14972:2008-11 Anhang A

Die Beurteilung der Wirksamkeit von Feinsprüh-Löschanlagen für Brände in Büroräumen (Brandklasse A), deren Abmessungen und Ausstattung ebenfalls in Anhang A der DIN CEN/TS 14972 genau beschrieben sind (vergl. Bild 5), erfolgt relativ zur Löschwirkung einer Referenz-Sprinkleranlage, die nach DIN EN 12845 ausgeführt ist. Die Brandschäden werden unter Anlegung eines strengen Maßstabes verglichen. Die eintretenden Brandschäden nach Einsatz der Feinsprüh-Löschanlage müssen geringer sein, als die nach Einsatz der Referenz-Sprinkleranlage.

GASLÖSCHANLAGEN

Für Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln sind die in Tabelle 3 aufgeführten Normen und Normentwürfe erschienen.

Tabelle 3 Einige neuere Normen- und Normentwürfe für Gaslöschanlagen

Normaussschuss	**NA 031-04-04 AA Feuerlöschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln und deren Bauteile**	
Normen	**Stand**	**Inhalte**
DIN EN 15004-1 (ISO 14520-1:2006, modifiziert)	**2008-09**	**Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 1: Planung, Installation und Instandhaltung**
DIN EN 15004-2 (ISO 14520-5:2006, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 2: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel FK-5-1-12
DIN EN 15004-3 (ISO 14520-6:2006, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 3: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel HCFC/A
DIN EN 15004-4 (ISO 14520-8:2006, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 4: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel HFC 125
DIN EN 15004-5 (ISO 14520-9:2006, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 5: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel HFC 227ea
DIN EN 15004-6 (ISO 14520-10:2005, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 6: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel HFC 23
DIN EN 15004-7 (ISO 14520-12:2005, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 7: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel IG-01
DIN EN 15004-8 (ISO 14520-13:2005, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 8: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel IG-100
DIN EN 15004-9 (ISO 14520-14:2005, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 9: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel IG-55
DIN EN 15004-10 (ISO 14520-15:2005, modifiziert)	2008-09	Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen - Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Teil 10: Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung für Feuerlöschmittel IG-541
ISO 6183	2009-06	Brandschutzeinrichtungen - CO_2-Löschanlagen in Räumen - Planung und Errichtung
ISO/TS 12854	2009-03	Feuerlöschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Physikalische Eigenschaften und Anlagenauslegung - Skalierungsfaktoren für Brennstoffe der Brandklasse B (nicht für Heptan)
ISO/TS 13075	2009-04	Feuerlöschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Individuell geplante Löschanlagen - Anwendung des Verfahrens der Strömungsberechnung, Nachweis und Überprüfung der Strömungsberechnung für Zulassungen
ISO/DIS 15779	2009-01	Feuerlöschanlagen mit gasförmigen Aerosolen - Anforderungen und Anlagenauslegung
ISO 16003	2008-09	Bauteile für Löschanlagen mit gasförmigen Löschmitteln - Anforderungen und Prüfverfahren - Behälterventilbaugruppen und deren Auslöseeinrichtungen, Bereichsventile und deren Auslöseeinrichtungen, Düsen, Verbindungen, Rückflussverhinderer und Rückschlagventile

Mit der Normenreihe DIN EN 15004 stehen nun erstmals europäische technische Regel für Gaslöschanlagen zur Verfügung, die aus der international bereits seit längerem vorhandenen ISO 14520 entwickelt wurden. Ausgenommen aus dem Geltungsbereich der DIN EN 15004 sind allerdings die

meistverwendeten Gaslöschanlangen, nämlich CO2-Löschanlagen. Grundsätzliche Kenntnisse über die Wirkungsweise und den Aufbau von Gaslöschanlagen werden im folgenden voraus-gesetzt, im übrigen wird auf die Fachliteratur [16] bis [18] und die allgemein zugänglichen Informationen der bekannten Hersteller verwiesen.

Die DIN EN 15004-1:2008-09 ist die Planungs- und Errichtungsnorm während die übrigen Teile im Prinzip reine Datenblätter für die verschiedenen Löschmittel (siehe Tabelle 4) darstellen und die für die Bemessung von Gaslöschanlagen nach DIN EN 15004-1 erforderlichen Parameter der Löschgase und die benötigten Daten für die Auslegung der Löschanlagen bereitstellen.

Tabelle 4 Feuerlöschmittel für Gaslöschanlagen nach DIN EN 15004-1

Lösch-mittel	**Handels-namen**	**Chemikalie**	**Aufbau**	**CAS-Nr.**	**EN**
FK-5-1-12	Novec 1230®	Dodecafluor-1-methylpenta-3-on	$CF_3CF_2C(O)CF(CF_3)_2$	756-13-8	EN 15004-2
HCFC/A HCFC 123 HCFC 22 HCFC 124	NAF S-III®	Dichlortrifluorethan Chlordifluormethan Chlortetrafluorethan Isopropenyl-1-methyl-cyclohexan	$CHCl_2CF_3$ $CHClF_2$ $CHClFCF_3$ $C_{10}H_{16}$	306-83-2 75-45-6 2837-89-0 5989-27-5	EN 15004-3
HFC 125	NAF S 125®	Pentafluorethan	CHF_2CF_3	354-33-6	EN 15004-4
HFC 227ea	FM-200®	Heptafluorpropan	CF_3CHFCF_3	2252-84-8	EN 15004-5
HFC 23	Trigon® 300	Trifluormethan	CHF_3	75-46-7	EN 15004-6
IG-01	Argon	Argon	Ar	74040-37-1	EN 15004-7
IG-100	Stickstoff	Stickstoff	N_2	7727-37-9	EN 15004-8
IG-55	Argonit® i3®	Stickstoff (50 %) Argon (50 %)	N_2 Ar	7727-37-9 74040-37-1	EN 15004-9
IG-541	Inergen®	Stickstoff (52 %) Argon (40 %) Kohlendioxid (8 %)	N_2 Ar CO_2	7727-37-9 74040-37-1 124-38-9	EN 15004-10

Die in Tabelle 4 aufgeführten halogenisierten Löschgase werden üblicherweise als Flüssiggase gelagert. Deren Dampfdruck reicht überwiegend nicht aus, um – wie es z. B. bei CO2 der Fall ist – die Löschgase durch die Rohrleitungen in den Schutzbereich zu fördern und dort zu vergasen. Daher wird das Löschgas mit einem Stickstoff-Druckpolster (25 bar oder 42 bar) überlagert.

Zur Gewährleistung der Personensicherheit bei der Auslösung von Gaslöschanlagen nach DIN EN 15004-1 enthält der Punkt 5 in Abhängigkeit von der Nutzung des geschützten Bereiches und von möglichen Wirkungen des Löschmittels auf den menschlichen Organismus Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen, darunter

- Zeitverzögerungseinrichtungen zur Gewährleistung angemessener Rettungszeiten zwischen Auslösung der Anlage und Ausströmen des Löschmittels
- Blockiereinrichtungen zur manuellen Verzögerung des Löschmittelausstoßes
- Notausgänge und deren stets nutzbar zu haltenden Türen
- Alarmsignale, Warn- und Hinweisschilder
- Lüftungseinrichtungen.

Die DIN EN 15004-1 enthält unter Punkt 6 Anforderungen hinsichtlich der Löschmittelversorgung (Menge, Qualität, Behälter, Betriebstemperatur), der Löschmittelverteilung (Rohrleitungen und deren Befestigung, Fittings, Ventile, Düsen etc.) sowie an die Branderkennungs-, Auslöse und Ansteuereinrichtungen von Gaslöschanlagen nach dieser Norm. Diese Anforderungen sind jenen an CO2-Löschanlagen (z. B. nach VdS 2093 [19]) sehr ähnlich.

Die zur Beherrschung eines Brandes erforderliche Auslegungskonzentration der Löschmittel in Volumenprozent (Vol%) muss nach DIN EN 15004-1 der größten Löschkonzentration entsprechen, die nach vorgeschriebenen Verfahren bestimmt (Anhang B für Brandklasse B mit Heptan; bzw. Anhang C für Brandklasse A mit Holzstoß und Polymerplatten) und mit dem Sicherheitsfaktor 1,3 multipliziert wurde. Von der Gaslöschanlage müssen nach Beginn des Löschmittelausstoßes im gesamten Raum 95% der Auslegungskonzentration innerhalb von 10 Sekunden (Flüssiggas) bzw. 60 Sekunden (Permanentgas) erreicht werden.

Aus der Auslegungskonzentration, der Raumgröße und dem spezifischen Volumen des gewählten Löschgases (aus der Löschgasnorm DIN EN 15004-x) wird dann mittels angegebener Formeln - getrennt für Permanentgase und Flüssiggase - die vorzuhaltende Einsatzmenge des Löschmittels bestimmt. Wenn die Höhenlage der Anlage es erfordert, wird zusätzlich mit einem aus der Barometrischen Höhenformel abgeleiteten Korrekturfaktor multipliziert, der die Änderung des atmosphärischen Druckes berücksichtigt.

Des Weiteren sind in DIN EN 15004-1 ausführliche Anforderungen an die Ausführung der Umfassungsbauteile der zu schützenden Bereiche enthalten. Dabei geht die Norm davon aus, dass die Umfassungsbauteile bis auf die immer erforderlichen Druckentlastungsöffnungen (siehe hierzu z. B. bei [20], [21]) keine Öffnungen haben. Lüftungseinrichtungen sind abzuschalten bzw. die ggf. während der Lösch- und Haltezeit durch zwingend weiter laufende Lüftungsanlagen abgeführten Volumina zum Netto-Volumen des zu schützenden Raumes (d. h. das durch die Umfassungsbauteile eingeschlossene Bruttovolumen abzüglich derjenigen Volumina, in die das Löschgas nicht eindringen kann) hinzu zu rechnen.

Die Auslegungskonzentration des Löschgases muss für eine Haltezeit von mindestens 10 Minuten aufrecht erhalten werden (ggf. auch durch Nachbegas-

sung). Zur Prüfung, ob die Gaslöschanlage diese Haltezeit auch erreicht, fordert DIN EN 15004-1 eine Probeflutung mit messtechnischer Überprüfung der o. g. Werte oder eine Berechnung der Haltezeit aus den Ergebnissen einer so genannten Door-Fan-Prüfung (Anhang E).

Diese recht komplexe Door-Fan-Prüfung ermittelt aus den sich im stationären Zustand einstellenden Druckverhältnissen bei bestimmten Drucken und Volumenströmen der eingeblasenen Luft die Leckrate des zu schützenden Raumes. Hieraus werden dann – unter bestimmten vereinfachten Annahmen – die zu erwartenden Konzentrationen des gewählten Löschgases nach der Mindesthaltezeit berechnet. Ist die Mindesthaltezeit unterschritten, sind z. B. Maßnahmen zur Verbesserung der Dichtheit des Raumes durchzuführen. Danach wird die Door-Fan-Prüfung wiederholt, bis ein normgerechtes Ergebnis erreicht ist. Die VdS Richtlinien für Gaslöschanlagen - [19], [22], [23] - enthalten demgegenüber einen „Oberflächenterm“ in den – im übrigen natürlich äquivalenten Gleichungen - zur Berechnung der Löschmittel-Einsatzmengen, der die Leckagen üblicher baulicher Umfassungsbauteile abdeckt.

AEROSOL-LÖSCHANLAGEN

Seit Mai dieses Jahres liegen für Löschanlagen, die kondensierte Aerosole als Löschmittel verwenden, die DIN-Fachberichte CEN/TR 15276-1:2009-05 und CEN/TR 15276-2:2009-05 vor. Ein Technischer Bericht ist ein informatives Dokument, das Informationen zum technischen Inhalt von Normungsarbeiten enthält. Fachberichte dienen der Sicherung einmal gewonnener Daten und Erkenntnisse durch Dokumentation der Arbeitsergebnisse von Normungsgremien, die noch nicht als Normentwurf oder Vornorm veröffentlicht werden sollen.

Aerosol-Löschmittel sind anerkannte wirksame Mittel um Brände der Brandklassen A, B und C zu löschen ([24] bis [28]). Kondensierte Aerosole sind Löschmittel aus fein verteilten Feststoffpartikeln, gewöhnlich basierend auf Alkalimetallsalzen (i. A. ca. 40% der Masse) und Gasen (i. A. ca. 60% der Masse), hauptsächlich Stickstoff, Kohlendioxid und Wasserdampf. Aerosol löscht chemisch durch Bindung der freien Radikale aus der Kettenreaktion in der Flammen (antikatalytischer bzw. inhibitorischer Löscheffekt) und physikalisch, indem es die Reaktionszone abkühlt. Beide Vorgänge finden hauptsächlich auf der Oberfläche der Aerosolpartikel statt, daher gilt: je feiner die Partikel, desto größer die Löschwirkung (Abmessungen typisch ca. 2 Mikrometer bis 5 Mikrometer). Die wirksame Löschkonzentration von Aerosol beträgt nur ca. 100 g/m³ (CO2: ca. 1000 g/m³, Wassernebel ca. 600 g/m³).

Das Löschmittel wird durch Verbrennung von pyrotechnischen Treibsätzen in so genannten Aerosol-Generatoren (Bild 6, siehe auch in [18]) erzeugt. Dies führt zu einer Erwärmung der Generatoren die bei der Planung der Löschanlage zu berücksichtigen ist.

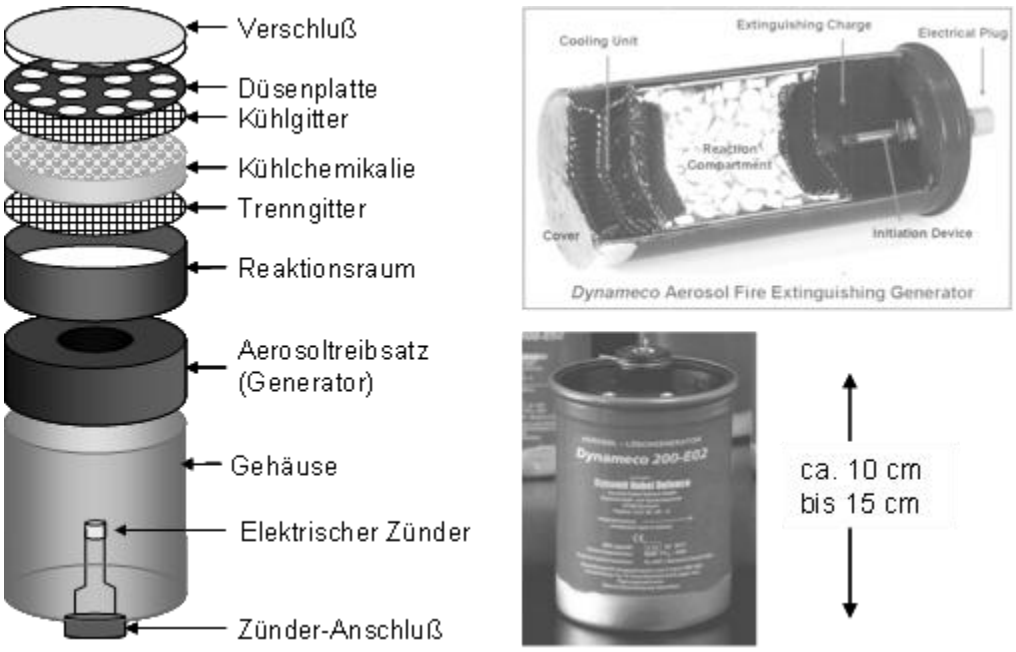


Bild 6 Aerosol-Löschgeneratoren

Das Dokument CEN/TR 15276-1:2009-05 enthält im Wesentlichen die Anforderungen an die Aerosol-Generatoren. Wichtigste Vorschrift ist das Verfahren zur Bestimmung des Löschfaktors, d. h. derjenigen Konzentration von Aerosol (in g/m³) in der Atmosphäre des Brandraumes, die ausreicht, bestimmte Brände zu löschen (Brandklasse A: Holzstoß und Kunststoff-Platten, Brandklasse B: Heptan). Ein weiterer wichtiger Faktor zur Leistungsbestimmung von Aerosol-Generatoren ist das jeweilige Schutzvolumen, d. h. diejenige Fläche und diejenige Höhe, für die ein einzelner Generator ausreicht, die Löschkonzentration an Aerosol aufzubauen. Aus dem Löschfaktor wird mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 die Auslegungskonzentration der Aerosol-Löschanlage berechnet.

Der DIN Fachbericht CEN/TR 15276-2 enthält die Anforderungen und die Verfahren für die Planung, Installation, Prüfung, Instandhaltung und Sicherheit von Aerosol-Löschanlagen und die Kenndaten der Löschmittel und deren Eignung für verschiedene Brände. Dabei sind entscheidende Gesichtspunkte bei der Planung der Löschanlage:

- Eignung des Löschmittels Aerosol für den speziellen Anwendungsfall (Löschwirksamkeit und Unschädlichkeit für die bauliche Anlage und vorhandene Einrichtungen)
- Dichtheit der Umfassungsbauteile, Öffnungen und Lüftung
- Flutungszeit (nicht mehr als 90 Sekunden)
- die erforderliche Auslegungskonzentration des Löschmittels und deren Aufrechterhaltung über die Haltezeit

- eine gleichmäßige Verteilung des Löschmittels im Schutzbereich
- Auswahl der Art und Anzahl der zu installierenden Aerosol-Generatoren, berechnet aus der Größe des zu schützenden Raumes, der Auslegungskonzentration und dem Schutzvolumen
- Löschzeit nach Beendigung der Flutung (im Löschtest)
    - Brandklasse B: 30 Sekunden
    - Brandklasse A 60 Sekunden
- Verhinderung von Rückzündungen für eine Zeit von mindestens 10 Minuten, falls erforderlich durch zeitlich verzögert gezündete Aerosol-Generatoren
- keine Gefährdung von Personen oder brennbaren Gegenständen durch das Aerosol und/oder den (die) heißen Aerosolstrahl(en).

Dies sind überwiegend die Kriterien, die auch bei Gaslöschanlagen zu beachten sind. Da Aerosol auch Spuren giftiger Substanzen enthalten kann, gelten dieselben Regeln für den Personenschutz (Auslöseverzögerung, Warnung Anwesender, Unterbrechung des Auslösevorgangs durch Handschalter etc.) wie für Gaslöschanlagen. Im Allgemeinen sollte der Einsatz von Aerosol-Löschanlagen jedoch nur in nicht für Personen zugänglichen Bereichen erfolgen.

ZUSAMMENFASSUNG

Neue Normen bringen immer auch ein mehr an Informationen, technischen Anforderungen und detaillierteren Planungsvorgaben. Auch für den interessierten Brandschutzingenieur wird es immer schwieriger, aus der Vielzahl umfangreicher Vorschriften die für seine Arbeit erforderlichen Informationen herauszufiltern und zu bewerten. Dies unterbleibt häufig aus Zeitgründen und oft auch, weil in vielen Betrieben aus Kostengründen nicht selten nur die wirklich unabdingbaren Normen verfügbar sind. Der vorliegende Beitrag versucht, die wesentlichen neuen Aspekte aus den in den vergangenen zwei Jahren erschienenen Normen, Normentwürfen und technischen Berichten für Brandmeldeanlagen und Löschanlagen darzustellen, muss dabei aber bereits nicht unerhebliches Basiswissen über die Inhalte vorhandener Vorschriften voraussetzen.

Das technische Vorschriftenwerk für Brandmeldeanlagen ist gekennzeichnet durch den Einfluss Europas und stellt für fast alle benötigten Bauteile nunmehr Normen zur Verfügung. Die Planungsnormen für Brandmeldeanlagen zeichnet eine fortschreitende Anpassung an moderne Anforderungen aus, die überwiegend zur Erleichterung der Planung und nur in speziellen Fällen zu schärferen Randbedingungen führt.

Die Normung von Sprinkleranlagen steht im Zeichen einer europäischen Konsolidierung, die technischen Regeln haben aber teilweise noch immer nicht die

inhaltliche und technische Substanz, die in der Vergangenheit in Deutschland zu einem hohen Sicherheitsniveau geführt haben. Die Vornorm zu Sprühwasser-Löschanlagen kann derzeit die geltenden Regelungen noch nicht ersetzen, der Versuch, solche Anlagen auch für den Expositionsschutz von Gebäuden normativ zu beschreiben ist zunächst ausgesetzt.

Die Vorschriften für Feinsprüh-Löschanlagen sind zwischenzeitlich auf einem technisch wie planerisch zufrieden stellenden Niveau, leiden aber zum Teil daran, dass sehr unterschiedliche brandschutztechnische Problemstellungen in einer Norm abgehandelt werden. Dies kann auch bei Brandschutzdienststellen zu einer gewissen Unsicherheit über die Anwendbarkeit der Norm und die Zuverlässigkeit solcher Anlagen im jeweils vorliegenden Spezialfall beitragen.

Die neu erschienenen europäischen Normen für Gaslöschanlagen bringen erstmals ein in sich abgeschlossenes Regelwerk, leider unter Ausschuss der CO2-Löschanlagen. Es ist zu hoffen, dass diese in einer Neuauflage in einigen Jahren ebenfalls erfasst werden können.

Aerosol-Löschanlagen haben in den vergangenen Jahren ein Niveau erreicht, dass es ermöglicht, über die Anstrengungen zur Normung in einem DIN-Fachbericht zu informierten. Der Fortschritt in der Normung wird davon abhängen, ob diese Anlagen am Markt mehr als ein Nischenprodukt sein und künftig weitere Anwendungsgebiete erobern können.

LITERATUR

[1] Richtlinie 89/106 EEC des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der EU-Mitgliedsstaaten über Bauprodukte vom 11.2.1998 - Bauproduktenrichtlinie BPR.

[2] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 - http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/recht/trinkwvo.pdf.

[3] DIN 1988 TRWI 1988 Technische Regeln für Trinkwasserinstallation Teile 1 bis 8.

[4] Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte.

[5] VdS CEA 4001:2008-11 Richtlinien für Sprinkleranlagen - Planung und Einbau, Anhang K7.

[6] Stahl, K.-H.: Innovationen beim anlagentechnischen Brandschutz und Anwendungen. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz Tage '08, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 202, Braunschweig 2008, ISBN 978-3-89288-185-8.

[7] DIN 14494:1979-03 Sprühwasser-Löschanlagen - ortsfest mit offenen Düsen.

[8] DIN 14495:1977-07 Berieselung von oberirdischen Behältern zur Lagerung brennbarer Flüssigkeiten im Brandfalle.

[9] Starke, H. und Grabski, R.: Beschreibung von feinverteiltem Wasser und dessen Löscheigenschaften. In: vfdb-Jahresfachtagung 1998, Erfurt, 7. bis 10. Juni 1998,Tagungsband. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 1998.

[10] Mawhinney, J. R. und Soloman, R.: Water Mist Fire Suppression Systems; Fire Protection Handbook, 18th Ed., S. 6-216.

[11] Vaari, J.: Large-scale fire suppression with water mist in enclosures: experiment and modeling, vfdb-jahresfachtagung 2000, Tagungsband

[12] Kunkelmann, J.: Anwendungsbereiche für Wassernebel-Löschanlagen (geeignete und wirtschaftliche sinnvolle Nutzung) und erforderliche Löschwassermengen in Abhängigkeit einer ‚Brandgefahrenklasse' Forschungsbericht 143, Universität Karlsruhe 2007, http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/392.php.

[13] Pohl, M.: Wasser Feinsprühlöschanlagen – ein Überblick. In: vfdb-Jahresfachtagung 2003, Baden-Baden, 25. bis 28. Mai 2003,Tagungsband. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2003.

[14] Sprakel, D. K. und Kopp; R.: Hochdruckwassernebel in der praktischen anwendung. In: vfdb-Jahresfachtagung 2003, Baden-Baden, 25. bis 28. Mai 2003,Tagungsband. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2003.

[15] Kunkelmann, J.: Einsatz von Niederdruck-Wassernebellöschanlagen in Gebäuden.

[16] Stahl, P.: Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der chemisch wirkenden Löschgase, s+s report 1/2004.

[17] Claus, C.: VdS-Zulassung für Brandschutzsysteme mit dem Löschmittel Novec 1230, s+s report 3/2004.

[18] Gressmann, H.-J.: Abwehrender und Anlagentechnischer Brandschutz, 2. Auflage, expert-verlag Rennigen 2008.

[19] VdS 2093:2006-09 Richtlinien für CO2-Feuerlöschanlagen - Planung und Einbau.

[20] Schlosser, I.: Bauliche Anforderungen und typische Planungsfehler bei Gaslöschanlagen. In: vfdb-Jahresfachtagung 2003, Baden-Baden, 25. bis 28. Mai 2003,Tagungsband. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2003.

[21] Schlosser, I. Anforderungen an die Raumumfassung bei Gaslöschanlagen, s+s report 4/2002.

[22] VdS 2380:2006-09 (02): Feuerlöschanlagen mit nicht verflüssigten Inertgasen.

[23] VdS 2381:2006-09 (03): Feuerlöschanlagen mit halogenisierten Kohlenwasserstoffen.

[24] Schadenprisma 4/99: Aerosol-Feuerlöschanlagen.

[25] Neutz, J. et al: Fire Extinguisching Gas Production by Gasgenerators, www.safetynet.de Feuer.Win\Vpep99.Doc. 1.

[26] Ansul Incorporated: Micro-K Fire Suppression System, Systems Data Sheet.

[27] Spectrex Incorporated: Spectrex Halon Alternative Fire Extinguishing (SFE); http://www.spectrex-inc.com/halon/halon.htm.

[28] Dynamit Nobel Defence GmbH: Firmenbroschüre Dynameco Aerosol Fire Extinguishing Generators.

Normentwurf DIN 18230-4: Ermittlung der äquivalenten Branddauer und des Wärmeabzuges durch Brandsimulation

Ulrich Schneider und Nina Schjerve
Institut für Hochbau und Technologie, Technische Universität Wien, Wien

EINLEITUNG

Im Rahmen der Überarbeitung der MIndBauRL, Fassung 03/2000, und der parallel dazu laufenden Bearbeitung der DIN 18230-1, Stand 05/1998, wurde vom Normungsausschuss „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ ein Konzept zur Erstellung von Normungsgrundlagen für die Muster-IndustriebauRL erarbeitet. Ausgehend von dem vorliegenden Verfahren nach der MIndBauRL gemäß den Abschnitten 6, 7 und 8 soll in zwei Schritten die Normierung zur aktuellen Übernahme in die MIndBauRL fortentwickelt werden. Die geplante Vorgehensweise ist in der nachstehenden Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 Nachweisverfahren nach der MIndBauRL

MIndBauRL	Abschnitt 6	Abschnitt 7	Abschnitt 8
1. derzeitiges Verfahren	Tabellenverfahren: Bauteilklasse, BA – Fläche, Sicherheitskategorie	$t_ä$-Verfahren nach DIN 18234-1, Sicherheitskonzept, Bauteilklasse, BBA	Methoden des Brandschutzingenieurwesens, Anhang 1
2. aktuelle Überarbeitung	Verfahren nach Fassung 03/2000, mit Beschränkung auf Gebäude mit Geschossen	Übernahme DIN18230-1 (neu), Stand 10/2009, Druck:2010	Übernahme DIN18230-4 (neu), Stand 08/2009, Druck: 2011
3. zukünftige Überarbeitung	Mittelfristig keine Änderungen zu erwarten. Bauteilklasse, BAA-Flächen, Beschränkung der Geschosse	Neufassung der DIN 18230-1, geänderter Bemessungsbrand, Sicherheitskonzept (neu) Beginn: 2010	Grundlagennorm mit neuem Sicherheitskonzept u. allgemeiner Anwendung von Ingenieurmethoden Druck: ca. 2014

Im Rahmen der o.a. Vorgehensweise sind die beiden Normen DIN 18230-2: Ermittlung des Abbrandverhaltens von Materialien in Lageranordnungen, und DIN 18230-3: Rechenwerte, zu beachten und zu überarbeiten. Insbesondere bietet sich die DIN 18230-3 als Ergänzung der in Arbeit befindlichen DIN 18230-4, an, worüber im Folgenden, soweit es möglich ist, berichtet wird. Die Verabschiedung des Normungskonzeptes der Reihe DIN 18230 war im Normungsausschuss lange Zeit heftig umstritten, so dass die in Tabelle 1 gezeigt Vorgehensweise erst in 2008 verabschiedet werden konnte und der Normungsbeginn nunmehr über ein Jahr verzögert ist. Allerdings konnte der zurückliegende Zeitraum dazu genutzt werden, um die theoretischen und praktischen Vorarbeiten für die Norm voran zu bringen, so dass zu Beginn der tatsächlichen Normung

im August dieses Jahres eine ganze Reihe von Entwürfen über mögliche Normungsinhalte und Berichte über diesbezüglich durchgeführte begleitende Forschungsarbeiten vorliegen. Im Folgenden wird über die bisher gefassten Beschlüsse und das geplante Vorgehen bei der Erstellung der DIN 18230-4 berichtet.

ZIELE UND ANWENDUNGSBEREICHE DER NORM

Ziel der Norm ist es, die Eingangsparameter und Rechengrößen für die Berechnung der äquivalenten Normbranddauer $t_ä$ und des Wärmeabzuges w nach DIN 18230-1 auf Basis von Brandsimulationen (z. B.: Wärmebilanzberechnungen gemäß MIndBauRL, Abschnitt 4.3 und Anhang 1) festzulegen. Die Brandsimulationen sollen insbesondere dann zur Anwendung kommen, wenn gesonderte Nachweise

- für komplexe Gebäudegeometrien,
- für sehr große Brandbekämpfungsabschnitte (z. B.: größer 60.000 m^2),
- über lokale Brandeinwirkungen auf Bauteile,
- über den Wärmeabzug bei komplexen Gebäudegeometrien

erforderlich werden, weil die Grundvoraussetzungen zur Durchführung der vereinfachten Bemessung für Industriebauten nach DIN 18230-1 nur noch teilweise erfüllt oder nicht mehr gegeben sind.

In der DIN 18230-1 wird in verschiedenen Abschnitten bereits jetzt schon darauf hingewiesen, dass genauere Nachweise zur Ermittlung z.B. des w-Faktors erforderlich sind. Dieses betrifft u. a. den neuen Abschnitt 8.6 sowie der normative Anhang B zu Ermittlung des Wärmeabzuges bzw. w-Faktors für mehrgeschossige Gebäude.

Eine genauere Ermittlung der äquivalenten Branddauer ist im Einzelfall auch deshalb erforderlich, weil $t_ä$ in der IndustriebauRL auch für die Berechnung der maximal zulässigen Flächen der Brandbekämpfungsabschnitte benötigt wird und ein globaler Nachweis zur Berechnung von $t_ä$ nach DIN 18230-1 nicht möglich ist. Dieses gilt u. a. auch für brandschutztechnische Nachweise in sehr großen (ggf. mehrgeschossigen) Industriebauten.

NORMUNGSKONZEPT UND INHALTE

In den vorliegenden Dokumenten zur Erstellung der Norm wird davon ausgegangen, dass im Wesentlichen drei Bereiche zu behandeln sind. Der 1. Bereich umfasst die folgenden Punkte:

- Normung des Verfahrens zur Berechnung der äquivalenten Normbranddauer und des Wärmeabzugsfaktors für Industriebauten durch Brandsimulation
- Berechnung von Temperatur-Zeit-Verläufen in Industriebauten durch Brandsimulation
- Dokumentation und Plausibilitätsprüfung von Ergebnissen aus Brandsimulationen

Der 2. Bereich dient der Kontrolle möglicher Rechenprogramme zur Berechnung von Bauteiltemperaturen bei Verwendung temperaturunabhängiger Materialkennwerte und praktisch relevanter Temperatur-Zeit-Kurven im Industriebau.

Der 3. Bereich setzt sich zusammen aus den normativen Anhängen A, B und C, welche als Vorlagen für praktische Berechnungen dienen. Die Vorlagen werden von Mitarbeitern im Normungsausschuss unter Verwendung unterschiedlicher Rechenmodelle erstellt, so dass es für die praktische Umsetzung der Norm gesicherte Beispiele gibt. Im Einzelnen sind folgende normative Anhänge vorgeschlagen:

- Anhang A: Grundbemessung kleiner Hallen nach DIN 18230-4
- Anhang B: Ermittlung von Brandszenarien in einer großen Industriehalle und Berechnungsbeispiele für Punktbrandlasten und Teilflächenbrände
- Anhang C: Referenzszenarium nach DIN 18230-1

In den nachstehenden Tabellen 2 bis 4 sind die bisher vorgeschlagenen Inhaltsüberschriften der Norm angegeben. Es ist davon auszugehen, dass im Zuge der Normungsarbeiten diesbezüglich noch Änderungen erfolgen.

Tabelle 2 Normierungsinhalte der DIN 18230-4

Gliederung Abschnitt	Überschriften: Abschnitte, Unterabschnitte
	Vorwort
1	Anwendungsbereich
2	Normative Verweise
3	Begriffe
4	Verfahren zur Berechnung der äquivalenten Normbranddauer und des Wärmeabzugsfaktors
4.1	Berechnung von $t_ä$-Werten für Industriebauten durch Brandsimulation
4.2	Berechnung der äquivalenten Branddauer des Referenzbauteiles
4.3	Berechnung des Wärmeabzugfaktors

Tabelle 3 Normungsinhalte der DIN18230-4

Gliederung Abschnitt	Überschriften: Abschnitte, Unterabschnitte
5	Berechnung der Temperatur-Zeit-Verläufe von Bränden in Industriebauten
5.1	Allgemeine Anforderungen an Brandsimulationsberechnungen
5.2	Brandsimulationen mit Zonenmodellen - Geometriemodellierung
5.3	Brandsimulationen mit CFD-Modellen - Geometriemodellierung
5.4	Randbedingungen für die Zuluft und den Wärmeabzug
5.5	Randbedingungen für Brandszenarien in Industriebauten

Tabelle 4 Normungsinhalte der DIN18230-4

Gliederung Abschnitt	Überschriften: Abschnitte, Unterabschnitte
6	Dokumentation und Plausibilitätsprüfung von Ergebnissen aus Brandsimulationen
7	Vergleichsberechnungen zur Kontrolle von Temperaturprogrammen
Anhang A	Grundbemessung kleiner Hallen nach DIN 18230-4
Anhang B	Ermittlung von Brandszenarien in einer Industriehalle und Berechnungsbeispiele
Anhang C	Referenzszenarium nach DIN 18230-1

Grundsätzlich wird die Norm so aufgebaut, dass die Brandsimulationen unabhängig von der Art der Rechenmodelle durchgeführt werden können, d.h. Zonen- und CFD-Modelle dürfen zur Anwendung kommen, wenn diese für die Anwendungen verifiziert und validiert sind. Im Anhang B wird dieser Aspekt besonders berücksichtigt. Diesbezüglich sind derzeit die nachstehenden Untersuchungen vorgeschlagen (s. Tabelle 5).

Tabelle 5 Ermittlung von Brandszenarien in einer Industriehalle und Berechnungsbeispiele nach Anhang B (Entwurf)

Abschnitt	Anwendungsbeispiele und Ergebnisse
B.1	Anwendungsbereiche nach der M IndBauRL
B.2	Beispiel für die Geometrie und Zonenausbildung in einem Industriebau mit zwei Ebenen
B.3	Beispiel für die Ventilation in einem zweiebenigen Industriebau
B.4	Beispiel für Brandszenarien in einem Industriebau mit zwei Ebenen
B.5	Simulationsergebnisse für die Anwendung eines Mehrraum-Zonen-Modells in einem Industriebau mit zwei Ebenen
B.5.1	Berechnete $t_ä$- Werte für 2.000 m^2 und 400 m^2 große Teilflächen
B.5.2	Berechnete $t_ä$- Werte für eine Punktbrandlast mit 100 m^2 großer Grundfläche
B.6	Simulationsergebnisse für die Anwendung eines CFD-Modells
B.6.1	Berechnung von $t_ä$- Werten für einen Teilflächenbrand auf 2.000 m^2 Grundfläche
B.6.2	Berechnung von $t_ä$- Werten für eine Punktbrandlast mit 100 m^2 Grundfläche

BERECHNUNG DER ÄQIVALENTEN NORMBRANDDAUER

Die Normung der Berechnung von $t_ä$-Werten durch Brandsimulation ist das wesentliche Element der DIN 18230-4, so dass im Folgenden darauf näher einzugehen ist. Das Verfahren selbst wurde Anfang der 70er Jahre an der MPA-Braunschweig entwickelt. Die ersten Veröffentlichungen gehen auf das Jahr 1972 zurück ([14], [15]). Das Verfahren wurde zunächst im Rahmen der DIN 18230-2: Bestimmung des Abbrandfaktors, verwendet und bildet seit Anfang der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts die Grundlage der Brandschutzbemessung von Bauteilen nach DIN 18230-1 bzw. der übergeordneten MIndBauRL. Es ist insoweit durchaus angemessen – nach nunmehr fast 40 Jahren - die Zusammenhänge zwischen dem Normbrand nach der ETK (EN 1363-1) und den in Industriebauten zu erwartenden Bränden noch einmal ausführlich darzulegen, weil die zugehörigen Grundlagen schon Teil der Brandschutzgeschichte in Deutschland geworden sind - doch wer kennt sich im Zeitalter des Internets noch in Geschichtsbüchern aus?

Zum besseren Verständnis der Ausführungen erfolgt zunächst ein kleiner Exkurs über Brandsimulationen und Brandeinwirkungen in Industriebauten. Die Berechnung der Brandwirkungen auf Bauteile durch Brandsimulation beruht auf der Grundlage von Wärmebilanzverfahren, welche in der Praxis unter den Begriffen Vollbrandmodelle, Zonenmodelle (Mehrraum-Zonenmodelle) und CFD-Modelle (Feldmodelle) bekannt geworden und in der Literatur beschrieben sind (siehe [2], [3], [7], [8], [10], [11], [15]). In den folgenden Ausführungen wird davon ausgegangen, dass Brandsimulationen in Industriebauten unabhängig von dem spezifischen Verfahren anwendbar sind, wenn die verwendeten Modelle die Anforderungen der M IndBauRL, Anhang I, erfüllen und die Software mindestens die in der DIN 18230-4 festgelegten Eingangsgrößen und Berechnungsparameter enthält.

Derzeit in Deutschland für Brandsimulationen wissenschaftlich anerkannte Rechenmodelle sind u. a. die Mehrraum-Zonenmodelle MRFC und CFAST sowie die CFD-Modelle FDS und Fluent, worauf im Folgenden nicht näher eingegangen wird.

Die Modellierung von Bränden umfasst im Wesentlichen vier Einzelschritte:

- Festlegung von Temperaturen und Drücken im Gebäude und der Umgebung
- Beschreibung der Geometrie,
- Angaben über die Luftzufuhr und Wärme- und Rauchableitung,
- Festlegung des Brandszenariums.

Bei der Modellierung von Bränden in Industriebauten ist zu berücksichtigen, dass die Brandwirkungen und der Wärmeabzug je nach Brandablauf bereichsweise unterschiedlich sind, d. h. es sind auch lokale Effekte, z.B. auf Grund von unterschiedlich hohen Brandbelastungen zu berechnen und zu

bewerten. Die äquivalente Branddauer in einem Brandabschnitt (BA) oder Brandbekämpfungsabschnitt (BBA) kann lokal durchaus größer/kleiner sein als der berechnete Mittelwert in dem betrachteten BA oder BBA und hängt u. A. auch von dem Ort der Brandentstehung und der Anordnung der Wärmeabzüge ab. Für die Praxis bedeutet dieses, dass in vielen Fällen die Anwendung von Mehrraum-Zonenmodellen und CFD-Modellen erforderlich ist, um einzelne Zonen zu untersuchen, wenn lokal erhöhte Brandbelastungen und/oder ungleichmäßig verteilte Wärmeabzüge in Teilbereichen vorliegen, welche zu wesentlich höheren Brandwirkungen führen können als es z. B. bei gleichmäßig verteilten Brandbelastungen und Wärmeabzügen der Fall ist.

Brandsimulationen haben somit zum Ziel, unter Beachtung der im Industriebau vorhandenen Brandbelastungen, der Ventilation und des zu erwartenden Brandes die gemäß M IndBauRL erforderlichen $t_ä$-Werte zur Bestimmung des erforderlichen Feuerwiderstandes von Bauteilen und der maximal zulässigen Flächen für Brandbekämpfungsabschnitte (BBA) zu ermitteln. Dazu ist es erforderlich, dass die Temperatureinwirkungen auf die Bauteile nach dem Äquivalenzverfahren anhand einer genormten Methode ermittelt werden (siehe [2], [7], [8], [14] und [15]).

Zur Berechnung der äquivalenten Branddauer von Bauteilen unter den Bedingungen eines Brandes in Industriebauten bietet sich somit folgende Vorgehensweise an: Ausgangsbasis dieser Berechnungen sind Temperatur-Zeit-Kurven, welche die Bauteile beanspruchen. Als Referenzkurven zur Ermittlung der äquivalenten Normbranddauer $t_ä$ dient die Temperatur-Zeit-Kurve in einem Referenzbauteil in einer definierten Bauteiltiefe, welches der Normbrandbeanspruchung (ETK) unterliegt. Die Referenzkurve wird mit einer Temperatur-Zeit-Kurve verglichen, welche bei einem Brand in einem Industriebau auftritt und in der gleichen Bauteiltiefe auf das Referenzbauteil einwirkt (s. Bild 1 in Anlehnung an [14]).

Die Temperatur-Zeit-Kurven im untersuchten Gebäude werden im Zuge der Brandsimulation aus den heißen Brandgasen und Flammen, unter Berücksichtigung der konvektiven und radiativen Wärmeverluste im Brandraum aus den auf die Deckenbauteile einwirkenden Heißgastemperaturen berechnet. In der Regel ergibt die direkte Einwirkung von Flammen auf Bauteile die höchsten lokalen Bauteilbeanspruchungen. Dieses ist im Einzelfall bei der Berechnung von Bauteilbeanspruchungen zu berücksichtigen.

Die äquivalente Branddauer $t_ä$ entspricht der Zeit in Minuten bei der im Normbrand (Einheitstemperaturzeitkurve nach DIN EN 1363-1) die gleiche Brandwirkung im Bauteil durch die Brandraumtemperaturen (ETK) erreicht wird wie durch die bei einem Brand in dem untersuchten BA bzw. BBA eines Industriebaues auftretende Temperaturzeitkurve. Die bei einem Brand an definierter Stelle im Bauteil erreichte Maximaltemperatur zum Zeitpunkt t wird dem äquivalenten Temperaturzeitpunkt $t_ä$ zugeordnet, welcher sich aus einer Normbeanspruchung an einem gleichartigen Bauteil ergibt. In Bild 1 ist das Äquivalenzverfahren für das Referenzbauteil dargestellt.

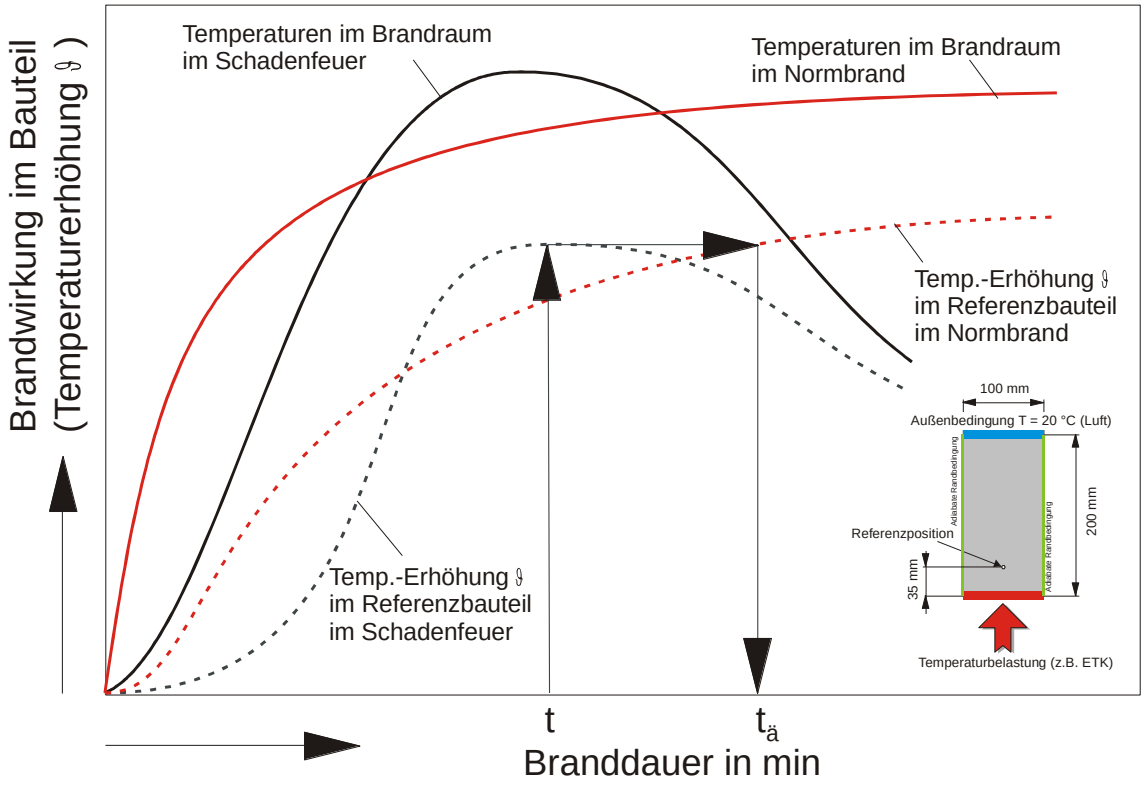
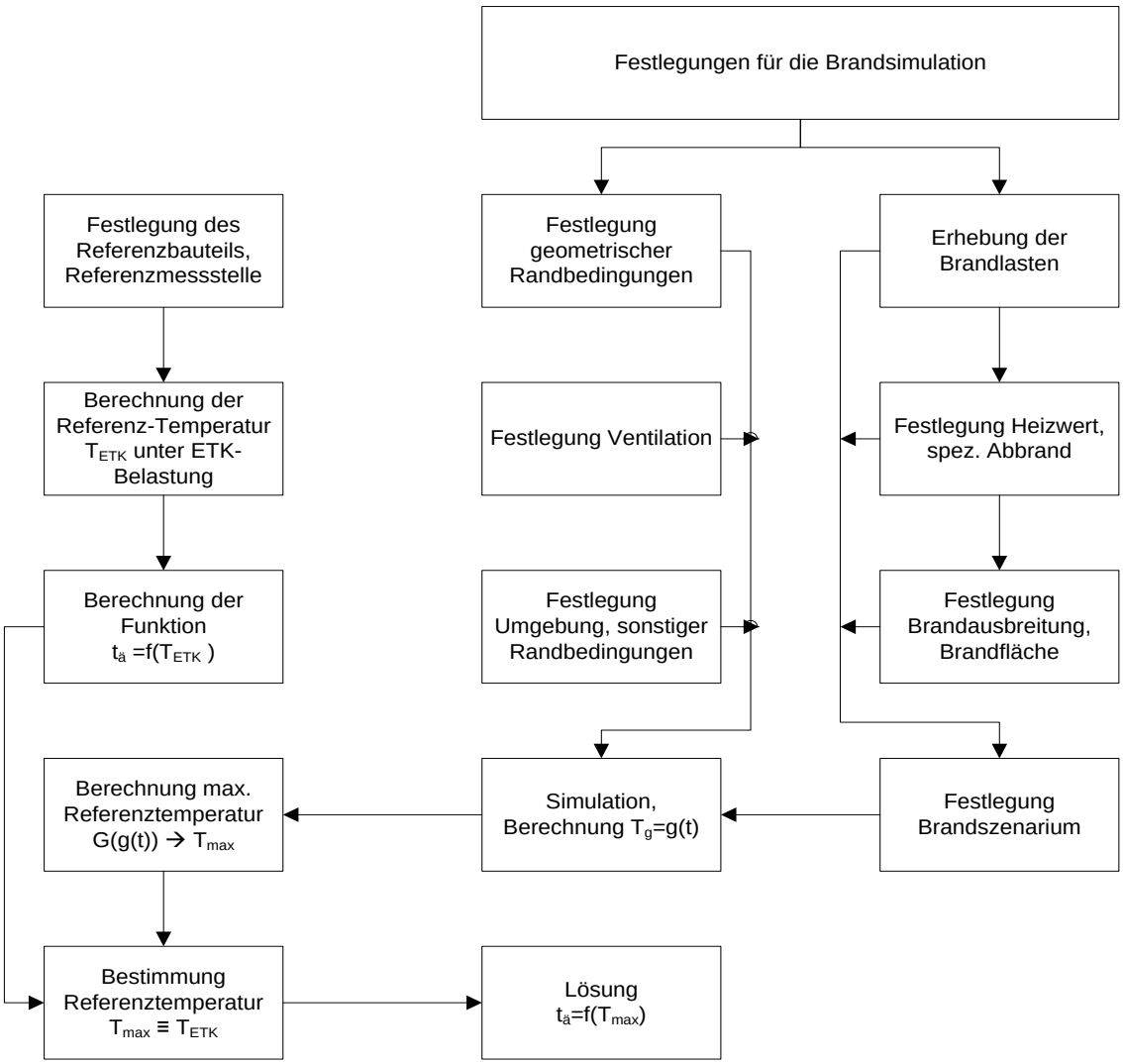


Bild 1: Bestimmung der äquivalenten Normbranddauer $t_{ä}$ an einem Referenzbauteil aus der Brandwirkung eines Brandes in einem Industriebau und des Normbrandes nach DIN EN 1363-1

Die vorliegenden Untersuchungen haben ergeben, dass sich die äquivalenten Branddauern mit Bauteilen aus unterschiedlichen Baustoffen (z. B. Beton- oder Stahlbauteile) so bestimmen lassen, dass man bei gleichen Brandabläufen praktisch die gleichen $t_{ä}$-Werte erhält. In der DIN 18230-4 ist eine 20 cm dicke Betonplatte als Referenzbauteil vorgeschlagen.

Nach Festlegung des Referenzbauteils und der zugehörigen Messtiefe (3,5 cm) für die Bestimmung der zeitabhängigen Referenztemperatur T_{ETK} in dem Referenzbauteil wird die Bestimmung der äquivalenten Normbranddauer durchgeführt. Dazu muss vorab der Temperatur – Zeit – Verlauf in dem betrachteten Industriebau für das bemessungsrelevante Schadenfeuer durch Brandsimulation ermittelt werden. Auf der Tabelle 6 ist das dazugehörige Ablaufschema angegeben.

Tabelle 6 Ablaufschema zur Bestimmung der äquivalenten Normbranddauer durch Brandsimulation



Ausgehend von dem Referenzbauteil wird im 1.Schritt in der vorgegebenen Messtiefe der zugehörige Temperatur-Zeitverlauf unter der Normbrandkurve (ETK) nach DIN EN 1363-1 berechnet. Aus dem Verlauf der berechneten Temperatur-Zeit-Funktion ergibt sich unmittelbar die gesuchte äquivalente Branddauer $t_ä$ gemäß der folgenden Beziehung:

$$t_ä = f(T_{ETK}) \text{ für } T_{ETK} = T_{max} \quad (1)$$

Darin sind:

$t_ä$ äquivalente Normbranddauer in min

T_{ETK} Temperatur im Referenzbauteil in der genormten Messtiefe unter ETK-Beanspruchung in °C

T_{max} maximale Temperatur im Referenzbauteil in der genormten Messtiefe unter der durch Brandsimulation ermittelten Temperatur-Zeit-Kurve in °C

Im zweiten Schritt muss die bei einem Brand im Industriebau auftretende Temperaturzeitkurve durch eine Brandsimulation ermittelt werden. Die Festlegungen für die Brandsimulation umfassen alle bei dem zu beurteilenden Industriebau zu berücksichtigenden Einflussgrößen und Parameter (s. Tabelle 6).

Wesentlichen Einfluss auf den Brandablauf haben:

- die Art, Nutzung und Größe des Industriebaus
- die Anzahl von Öffnungen oder geeigneten Einrichtungen und Maßnahmen zur Be- und Entlüftung des Industriebaus im Falle eines Brandes
- das Brandszenarium (Brandentzündung und –ausbreitung) im Industriebau
- sonstige Umgebungs- und Randbedingungen (z.B. Ausgangstemperatur T_0 = 20°C)

Manuelle und automatische Maßnahmen zur Ermöglichung bzw. Verbesserung des Wärmeabzuges dürfen unter Berücksichtigung des zeitlichen Ablaufes dieser Maßnahmen in der Simulation berücksichtigt werden. Nicht berücksichtigt werden bei der Brandsimulation Maßnahmen zur Brandbekämpfung (z.B. manuelle und automatische Löschmaßnahmen).

Aus der Brandsimulation ergibt sich die maßgebende Temperaturzeitkurve in dem zu beurteilenden Brandbereich (BA, BBA oder Teilbereichen davon) wie folgt:

$$T_g(t) = g(t) \qquad (2)$$

$T_g(t)$ maßgebende Brandgastemperaturen in °C

$g(t)$ Zeitfunktion der Brandgastemperaturen in °C

Die durch die Brandsimulation ermittelte Funktion g(t) wird dazu benutzt, um in dem Referenzbauteil in der genormten Messtiefe den Temperatur-Zeitverlauf zu berechnen. Das Ergebnis dieser Berechnung ergibt die gesuchte Funktion G(g(t)) zur Ermittlung der äquivalenten Normbranddauer $t_ä$. Die Funktion G(g(t)) enthält auf jeden Fall einen (in Sonderfällen auch mehrere) Referenzwert T_{max}, welcher sich im Zuge der Simulation je nach Brandverlauf im Referenzbauteil ergibt. Der höchste berechnete Wert für G(g(t)) ist T_{max}. Dieser ist maßgebend für die Bestimmung der äquivalenten Branddauer, d. h. es gilt die Beziehung:

$$T_{max} \equiv T_{ETK} \qquad (3)$$

T_{ETK} Referenztemperatur im Referenzbauteil in 3,5 cm Tiefe unter ETK-Bedingungen

T_{MAX} Maximaltemperatur im Referenzbauteil in 3,5 cm Tiefe bei Naturbrand –Bedingungen

Der Temperatur T_{ETK} wird eine spezielle Zeitdauer t zugeordnet, welche sich aus dem Temperaturverlauf im Referenzbauteil unter ETK-Bedingungen in 3,5 cm Bauteiltiefe ergibt. Diese spezielle Zeitdauer ist als äquivalente Normbranddauer $t_ä$ definiert (s. Bild 1 und Tabelle 6).

Bei der Ermittlung der äquivalenten Branddauer $t_ä$ für beliebige Brände nach DIN 18230-4 durch Brandsimulation sind die in der Norm angegebenen Eingangsgrößen, Stoffparameter und Geometrien genau einzuhalten, d.h. das angegebene Rechenverfahren ist punktgenau zu beachten! Vorgegeben sind u.a. die nachstehenden genormten Parameter und Kennwerte.

Für das Referenzbauteil sind für eine Referenztemperatur von 20°C die folgenden temperaturabhängigen Stoffkennwerte nach [7] angegeben:

$T_c < 100$ °C : $\lambda_c = 1{,}7455 + 0{,}1163 \cdot F + 0{,}001628 \cdot (T_c - 20) \cdot F$ (4 a)

$100°C \leq T_c < 700$ °C : $\lambda_c = 1{,}7455 - 0{,}000872 \cdot (T_c - 100)$ (4 b)

$T_c \geq 700$ °C : $\lambda_c = 1{,}23$ (4 c)

λ_c Wärmeleitfähigkeit in W/mK

T_c Betontemperatur in °C

F Betonfeuchtigkeit in Gew. %, Normwert: 2%

$20\ °C \leq T_c < 100\ °C$: $\rho = \rho_{tr} + W$ (5 a)

$100\ °C \leq T_c < 140\ °C$: $\rho = \rho_{tr} + W \cdot (3{,}5 - 0{,}025 \cdot T_c)$ (5 b)

$140\ °C \leq T_c < 700\ °C$: $\rho = \rho_{tr} \cdot\ 1{,}012727 - 9{,}0909 \cdot 10^{-5} \cdot T_c$ (5 c)

$700\ °C \leq T_c < 1200\ °C$: $\rho = \rho_{tr}$ (5 d)

ρ_{tr} Dichte des trockenen Betonmaterials, Normwert: 2120 kg/m³

T_c Betontemperatur [°C]

W Gesamtwassergehalt im Beton [kg/m³], Normwert: 180 kg/m³

$20\ °C \leq T_c < 100\ °C$: $c = 0{,}8346 + 0{,}0041 \cdot T_c + 1 \cdot 10^{-5} \cdot T_c^2$ (6 a)

$100\ °C \leq T_c < 140\ °C$: $c = 2{,}542 - 0{,}0012 \cdot T_c$ (6 b)

$140\ °C \leq T_c < 200\ °C$: $c = 0{,}7976 + 6 \cdot 10^{-5} \cdot T_c + 7 \cdot 10^{-6} \cdot T_c^2$ (6 c)

$200\ °C \leq T_c < 525\ °C$: $c = 1{,}0268 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot T_c + 1 \cdot 10^{-6} \cdot T_c^2$ (6 d)

$525\ °C \leq T_c < 700\ °C$: $c = 1{,}796 - 0{,}0008 \cdot T_c$ (6 e)

$700\ °C \leq T_c \leq 1200\ °C$: $c = 1{,}22$ (6 f)

T_c Betontemperatur [°C]

c spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]

Für die Berechnung der zeitabhängigen Temperaturverteilung im Referenzbauteil unter Normalbrandbeanspruchung (ETK) gelten die nachstehenden Randbedingungen [8]:

- Bauteildicke 20 cm
- Referenztemperatur in 3.5 cm Bauteiltiefe
- Ausgangstemperatur T_0 = 20°C
- Konvektion (heiße Seite) α_i = 25 W/m^{2}K
- Konvektion (kalte Seite) α_a = 5 W/m^{2}K
- Boltzmann Konstante σ = 5,67·10^{-8} W/m^{2}K^4
- Einstrahlzahl $\varphi_{1,2}$ = 1
- Emissionszahl Beton ε_b = 0,9
- Emissionszahl im Brandofen $\varepsilon_{f,g}$ = 0,5

Der Wärmestrom auf der Brandseite des Bauteils berechnet sich aus:

$$\dot{q}_i = \alpha_i \cdot (T_g - T_{w,i}) + \varphi_{1,2} \cdot \varepsilon_{f,g} \cdot \varepsilon_b \cdot \sigma(T_g^4 - T_{w,i}^4) \tag{7}$$

Darin ist:

$T_{w,i}$: Oberflächentemperatur des Referenzbauteils (heiße Seite)

T_g: Brandgastemperatur, welche die Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion bestimmt

In der Gl. (7) ist T_g als Funktion der Zeit t in Minuten gemäß der Normbrandkurve einzusetzen:

$$T_g = 20\ °C + \ln(8 \cdot t + 1) \tag{8}$$

Der Wärmestrom auf der kalten Seite berechnet sich aus:

$$\dot{q}_a = \alpha_a \cdot (T_{w,a} - T_0) + \varepsilon_b \cdot \sigma \cdot (T_{w,a}^4 - T_0^4) \tag{9}$$

Darin ist:

T_0: Temperatur der Umgebung (Normwert 20°C)

$T_{w,a}$: Temperatur der Bauteiloberfläche (kalte Seite)

Die unbekannten Temperaturen $T_b(x,t)$ im Referenzbauteil berechnen sich gemäß der Fourier-Gleichung aus:

$$\frac{\partial T_b}{\partial t} = \frac{\lambda_b}{\rho_b c_b} \cdot \frac{\partial^2 T_b}{\partial x^2} \tag{10}$$

Darin sind:

T_b: Betontemperatur als Funktion der Zeit t und der Bauteiltiefe x

t: Zeitdauer gemäß der Normbrandkurve

x: Bauteiltiefe von der Brandseite gemessen

b: Index für Beton

Die numerische Lösung dieser Gleichung ergibt für die Normbrand-Temperatur-Zeit-Kurve und eine Bauteiltiefe x von 3.5 cm in einer Betonplatte die folgenden Temperaturwerte in Grad Celsius.

Die Tabelle 7 ist Teil einer Referenztabelle in DIN 18230-4 zur Bestimmung der äquivalenten Branddauer gemäß den o. a. Formeln, Randbedingungen und Stoffwerten.

Tabelle 7 Referenztemperatur im Referenzbauteil aus Beton in 3.5 cm Tiefe zur Bestimmung der äquivalenten Branddauer $t_ä$ für die Normbrandkurve (ETK)

$t_ä$ [min]	5	10	15	20	25	30
T_{ETK} [°C]	27,3	50,6	74,6	97,6	134,4	174,6
$t_ä$ [min]	35	40	45	50	55	60
T_{ETK} [°C]	211,5	245,4	276,5	305,2	331,7	356,3
$t_ä$ [min]	65	70	75	80	85	90
T_{ETK} [°C]	379,2	400,7	420,8	439,8	457,8	474,9
$t_ä$ [min]	105	120	135	150	165	180
T_{ETK} [°C]	521,3	562,2	598,7	634,0	662,0	689,6

Die Genauigkeit der angegebenen Lösung der Fouriergleichung hängt u. a. von der numerischen Lösungsprozedur ab. Abweichungen zwischen den $t_ä$-Werten nach Tabelle 7 und Referenzberechnungen der Anwender von maximal plus/minus 1,0 Minute Normbranddauer sind zulässig.

ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN BRANDSIMULATIONS-BERECHNUNGEN IM INDUSTRIEBAU

In Industriebauten werden für die Bauteilbemessung Brände zu Grunde gelegt, welche durch die Menge und Art der brennbaren Produktions- und Lagerstoffe, der Luftzufuhr, dem Wärmeabzug und der Möglichkeit sich zu entzünden, auszubreiten und einen Vollbrand zu bilden bestimmt sind. Grundsätzlich wird

davon ausgegangen, dass es in Industriebauten nur bei höheren Brandbelastungen im betroffenen Bereich (BA, BBA, Teilbereich) zu Vollbränden kommt, welche durch die getroffene bauliche Auslegung und den vorgesehenen Maßnahmen mit einer definierten Versagenswahrscheinlichkeit nicht zu einem Bauteilversagen führen dürfen.

In der DIN 18230-1 sind für definierte Geometrien (i. W. eingeschossige Hallen von 1600 m^2 und 2400 m^2) mit praktisch zu erwartenden Brandbelastungen und einem Spektrum von horizontalen und vertikalen Wärmeabzügen Rechenformeln angegeben, welche die Bestimmung der äquivalenten Branddauer ohne weitere Brandsimulation ermöglichen. Die Rechenformeln wurden zu Beginn der 90er Jahre auf der Basis von Ergebnissen aus Wärmebilanzrechnungen abgeleitet, welche unter Anwendung des Mehrraum-Zonenmodells MRFC ermittelt wurden. Das in der Berechnung zu Grunde gelegte Referenzszenarium für „Vollbrände“ nach DIN 18230-1 ist im Anhang C von DIN 18230-4 angegeben. Die Rechenformeln decken ein großes Spektrum von Industriebauten ab, jedoch ergeben sich im Hinblick auf die genormten Festlegungen hinsichtlich des Brandszenariums bei der Ermittlung der äquivalenten Branddauer in vielen Fällen Einschränkungen, welche genauere Nachweise erforderlich machen. In der DIN 18230-1 und auch in der M IndBauRL wird deshalb an verschiedenen Stellen auf die Möglichkeit hingewiesen mittels Brandsimulationen genauere Nachweise durchzuführen.

Solche Nachweise dürfen u. A. in den nachstehend genannten Fällen angewendet werden:

- Industriebauten mit Geometrien, welche von den Grundannahmen, d. h. weitgehend rechteckige/quadratische Grundrisse, deutlich abweichen, z.B. Industriebauten mit eingeschossigen Bereichen und Bereichen mit mehreren Ebenen in offener Verbindung.
- Industriebauten mit Produktions- und Lagerstoffen, welche nach ihrem Abbrandverhalten nicht den Bewertungen durch die Faktoren m oder ψ entsprechen,
- Teilabschnitts- und Teilflächennachweise in großen Industriebauten, welche nicht durch die vereinfachten Nachweise in DIN 18230-1 abgedeckt sind,
- zur Ermittlung des Wärmeabzuges in Gebäuden mit mehreren Ebenen, welche nicht durch die Nachweise für Gebäude mit mehreren Ebenen nach DIN 18230-1 abgedeckt sind,
- Industriebauten mit lokalen Maßnahmen für einen optimalen Wärmeabzug,
- Industriebauten mit Tragkonstruktionen und Brandwänden, welche lokalen Bränden mit hohen Brandbelastungen oder auch direkten Flammenbeanspruchungen unterliegen.

Für die Berechnung der äquivalenten Branddauer $t_ä$ ist es erforderlich aus dem bei einem Brand zu erwartenden resultierenden Temperatur-Zeit-Verlauf in dem

betrachteten Industriebau bzw. in einem für die Bauteile repräsentativen Teilbereich (Zone) zu berechnen. Aus dem berechneten Temperatur-Zeit-Verlauf wird in dem Referenzbauteil in der vorgegebenen Messtiefe die zugehörige Temperatur-Zeitfunktion G(g (t)) berechnet. Die höchste anhand der Brandsimulation im Referenzbauteil berechnete Temperatur T_{max} wird der Temperatur T_{ETK} gleichgesetzt, woraus sich aus den genormten Tabellenwerten die äquivalente Normbranddauer ergibt (siehe Gleichung 1).

Bei Zonenmodellen gelten die unter den Decken oder Ebenen berechneten Brandgastemperaturen als maßgebend für die Berechnung von $t_{ä}$. Bei CFD-Modellen müssen aus den bei der Brandsimulation berechneten Heißgastemperaturen die zugehörigen mittleren Temperatur-Zeit-Verläufe der Temperaturen welche die Bauteile beanspruchen gesondert ermittelt werden. Dieses können die an den Bauteilgrenzen im Heißgas berechneten Temperaturen sein aus denen die gesuchte Temperatur-Zeit-Funktion zu berechnen ist.

Alternativ darf bei CFD-Modellen für globale Betrachtungen die Berechnung einer zeitabhängigen mittleren Brandraumtemperatur, welche aus allen Temperaturen in dem betrachteten Bereich oberhalb der Wendepunkte aller Rauchgastemperaturen unterhalb Decke berechnet wird erfolgen. Die so berechnete mittlere Temperatur-Zeit-Funktion ist nur für die globale Bauteilbeanspruchung zu Grunde zu legen.

Bei der Brandsimulation sind nachstehend angegebene Kennwerte für den Wärmeübergang auf Bauteile zu verwenden:

Konvektion (heiße Seite):	$\alpha_i = 25\ W/m^2K$
Konvektion (kalte Seite):	$\alpha_a = 5\ W/m^2K$
Emissionszahl Brandrauch:	$\varepsilon_{f,g} = 0{,}7$
Emissionszahl Flamme:	$\varepsilon_{fl} = 1{,}0$
Emissionszahl Baustoffe:	$\varepsilon = 0{,}9$
Einstrahlzahl:	$\varphi = 1{,}0$ (im Einzelfall nach genauerer Berechnung, siehe [3], [4] und [5])

CFD-Modelle welche die Strahlung von Brandgasen nicht berücksichtigen dürfen für die Berechnungen von $t_{ä}$ in Industriebauten nicht angewendet werden, weil der Strahlungsanteil bei Bränden bis zu 50 %. der gesamten Brandleistung betragen kann (Regelfall 30 %) und somit maßgebend die Bauteiltemperaturen beeinflusst (Wärmeabzug durch Leitung).

Aus dem berechneten Temperaturverlauf in dem gewählten Referenzbauteil ergibt sich die erreichte maximale Brandwirkung (T_{max}) für den betrachteten Bereich bzw. Industriebau. Die äquivalente Normbranddauer lässt sich daraus unmittelbar aus den in DIN 18230-4 angegebenen Tabellen ablesen.

Die normativen Festlegungen für die Durchführung von Brandsimulationen zur Berechnung der repräsentativen Temperaturverläufe in Industriebauten werden im Folgenden in verkürzter Form anhand der grundlegenden Einzelschritte dargestellt. Die Vorgehensweise ist abgestimmt auf die allgemeinen Vorgaben der M IndBauRL, Anhang 1, und die darin im Einzelnen genannten physikalischen Parameter und Kennwerte.

Bei der Brandsimulation mit Zonenmodellen erfolgt die Modellierung von Industriebauten bei ungleichmäßig verteilten Brandbelastungen und/oder Wärmeabzügen sowie bei großen BA oder BBA auf der Basis definierter Teilflächen, welche bei der Simulation durch vorgegebene Zonen (geometrisch ausgebildete oder virtuell festgelegte Räume) dargestellt werden. Die Summe aller Zonen umfasst den gesamten Brandabschnitt oder Brandbekämpfungsabschnitt hinsichtlich der Grundflächen, Decken- und Ebenenabstände sowie allen Öffnungen bzw. öffenbaren Dach- und Wandflächen im Maßstab 1:1. Die Modellierung erfolgt in kartesischen Koordinaten. Bei der Nachbildung runder Raumbereiche dürfen volumen- und höhengleiche Nachbildungen der Geometrie verwendet werden. Die bei der Festlegung einzelner Zonen einzuhaltenden Grundsätze werden hier nicht behandelt.

Bei Brandsimulationen mit CFD-Modellen erfolgt die Modellierung von Industriebauten auf der Basis finiter Volumenelemente welche in kartesische Koordinaten oder als freie Volumengeometrien abgebildet werden und in ihrer Gesamtheit das Gebäude im Maßstab 1:1 abbilden. Bei der Verwendung kartesischer Volumengeometrien dürfen die Schrägen von Wänden oder Decken durch stufenweise Anordnung der Volumenelemente mit < 10 cm Gitterlänge angenähert werden. Ebenso ist es zulässig volumen- und höhengleiche Nachbildungen der Geometrien zu verwenden.

Eine Zonenbildung innerhalb der Geometrie ist dann erforderlich, wenn lokale Betrachtungen und Nachweise durchgeführt werden müssen. Dieses ist unter den nachstehend angeführten Bedingungen der Fall (Anmerkung: Die nachstehenden Anforderungen gelten für Zonenmodelle gleichermaßen):

- Für Zonen mit Brandbelastungen welche, auf Teilflächen $A_T > 400\ m^2$ angeordnet sind und das 1,6 fache der mittleren Brandbelastung überschreiten muss $t_ä$ für diese Teilflächen (Zonen) durch Brandsimulation berechnet werden. Eine Brandübertragung auf angrenzende Flächen braucht nicht berücksichtigt zu werden.
- Für Teilabschnitte, welche nicht die Anforderungen nach DIN 18230-1, Anhang A, erfüllen, muss $t_ä$ für die Teilabschnitte (Zonen) berechnet werden. Dazu gehört auch der Nachweis der Verhinderung der Brandausbreitung infolge von Strahlung auf angrenzende Teilabschnitte durch entsprechend bemessene Freiflächen oder Verkehrswege.
- Für Gebäude mit unterschiedlichen Wärmeabzügen über Teilflächen ≥ 25 % der BA- oder BBA-Fläche, wenn dieser > 50% vom Mittelwert des Wärmeabzuges über dem BA oder BBA abweicht, ist $t_ä$ für diese Teilfläche gesondert

nachzuweisen. Eine Brandausbreitung auf angrenzende Flächen braucht nicht berücksichtigt zu werden.

- Für Bereiche mit konzentrierten Brandbelastungen, welche auf 100 m^2 verteilt werden dürfen und im Bereich der BA- oder BBA-Wände sowie des Haupttragwerkes für Decken angeordnet sind, ist $t_ä$ für die direkt betroffenen Bauteile (Haupttragwerk, BBA-Wände und –Decken) zu berechnen. Eine Brandausbreitung auf angrenzende Flächen braucht nicht berücksichtigt werden.

RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE VENTILATION BEI BRANDSIMULATIONEN

Die Anforderungen bei der Modellierung der Zuluft und des Wärmeabzuges sind entsprechend den nutzungsspezifischen, anlagentechnischen und geometrischen Bedingungen festzulegen. Die Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Druck sind bezogen auf Normalwerte (20°C und 101033 Pa) bei der Simulation zu berücksichtigen. Wird von diesen Randbedingungen abgewichen, dann muss in der Dokumentation der Simulationsergebnisse besonders darauf hingewiesen werden. Klimatechnische Anlagen und Geräte sind bei der Modellierung nicht zu berücksichtigen, wenn sie bei Brandalarm automatisch oder manuell abgeschaltet werden und keinen Einfluss auf die Ermittlung vom $t_ä$-Wert haben. Das Öffnen von Wärmeabzügen, Zuluftöffnungen oder Klappen ist in der Simulation entsprechend den tatsächlich vorhandenen Zeiten für den Öffnungsbeginn, -ablauf und das Öffnungsende zu berücksichtigen.

Eine maßstäbliche Verkleinerung und Modellierung der Geometrie sowie weiterer brandschutztechnischer Eingangsgrößen ist im Rechenmodell nicht zulässig.

Anrechenbar sind alle Öffnungen, welche mit der Simulationsumgebung verbunden sind. Bei der Simulation sind vertikale und horizontale Öffnungen soweit gesonderte Nachweise nicht vorliegen mit einem Kontraktionsbeiwert von 0,7 zu bewerten. Sehr große Öffnungen (> 4 m^2) und solche mit mittleren Strömungsgeschwindigkeiten ≤ 1 m/s dürfen mit 0,95, Öffnungslamellen und schrägestellte Fensterklappen oder Luken dürfen mit einem Kontraktionsbeiwert von 0,5 bewertet werden (gilt nicht für CFD-Modelle).

Für das manuelle Öffnen z. B. von Wärmeabzügen, Toren, Fensterbändern und Zuluftlamellen durch eine Werkfeuerwehr darf der Beginn des Öffnungsvorganges auf ≥ 2 Minuten festgelegt werden. Bei ständiger Anwesenheit von Personal (Betriebsangehörige) darf der Beginn des Öffnungsvorganges auf ≥ 3 Minuten festgelegt werden. Die Dauer der Öffnungsvorgänge darf mit 1 Minute (automatisches Öffnen), 5 min (Werkfeuerwehr) und 10 min (Betriebsangehörige) angesetzt werden.

Unabhängig von den Regelungen und Anforderungen nach DIN 18232-7 dürfen das Schmelzen von Materialien bei der Brandsimulation berechnet und dadurch entstehende Wärmeabzüge im Zuge der Simulation zeitabhängig berücksichtigt

werden. Soweit gesonderte Nachweise nicht vorliegen, darf ein Kontraktionsbeiwert von 0,5 verwendet werden. Derartige Berechnungen sind in der Dokumentation gesondert darzustellen

Bei der Brandsimulation mit CFD-Modellen dürfen die Wärmeabzugsflächen nach DIN 18230-1, Abschnitt 8.2, entsprechend den in der Norm angegebenen Regeln bei der Simulation berücksichtigt werden. Bei der Simulation der Durchströmung der Öffnungen in Außenbauteilen ist die Umgebung zu berücksichtigen, d. h. dass die Gitterkoordinaten der Gitterzellen oder Volumenelemente nicht am Gebäude, sondern in der Umgebung enden müssen. Der Abstand der außenliegenden Gitter von Wänden oder Dächern muss bei vertikalen Öffnungen mindestens den 1,5 fachen Wert der Öffnungsbreite und bei horizontalen Öffnungen mindestens den 2,5 fachen Wert der kleinsten Abmessung der Öffnung betragen.

Das Gitterraster in Öffnungen und davor/dahinter soll den Wert von 6 Gitterabständen in der kleinsten Öffnungslänge bzw. einen Wert von 10 cm nicht überschreiten, um die Kontraktion der Strömung zu berücksichtigen. Das Gleiche gilt für Öffnungen zwischen einzelnen Bereichen innerhalb des Industriebaus.

BRANDSZENARIEN BEI DER BRANDSIMULATION VON BRÄNDEN IN INDUSTRIEBAUTEN

In der Norm wird davon ausgegangen, dass die grundlegenden Anforderungen der M IndBauRL und der DIN 18230-1 bei der Ermittlung von tä eingehalten sind. Soweit davon auf Grund der vorliegenden brandschutztechnischen Randbedingungen abgewichen werden muss, ist dieses an Hand der grundlegenden Anforderungen in dieser Norm zu begründen und in der Dokumentation gesondert darzustellen.

Zur Festlegung des Brandszenariums sind die gesamte Brandlast (Q_{ges}) im BA bzw. BBA, der Brandentstehungsort, der Brandablauf, die maximale Brandfläche und die brandspezifischen Kennwerte (z.B. Heizwert, spezifische Abbrandrate, Verbrennungseffektivität, Verbrennungsgleichung) für jeden Einzelfall zu ermitteln und gemäß den folgenden Angaben festzulegen.

Die mit Brandlasten belegten Zonen A_B, sind bei der Simulation jeweils einzeln oder in der Summe als Brandfläche (z. B. BA, BBA) zu definieren. Die Fläche für die Brandentstehung darf mit < 10 cm^2 angesetzt werden. Die Brandausbreitung soll zweidimensional erfolgen, wobei als Regelfall eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 1 m/min anzunehmen ist.

Für die Brandausbreitung bei Bränden von Produktions- und Lagerstoffen, welche bei hinreichender Luftzufuhr nachweislich unter der Brandausbreitung von Holzprodukten mit m=1 (Holzkrippe) liegen, dürfen bei der Brandsimulation nach Tabelle 8 geringere Ausbreitungsgeschwindigkeiten bis zum Eintritt des Vollbrandes eingesetzt werden. Ab einer Brandfläche > 100 m^2 ist stets ein

Vollbrand mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von 1 m/min zu Grunde legen, wenn kein genauerer Nachweis über die Brandausbreitung erfolgt (z. B. Literaturkennwerte, Versuchsergebnisse).

*Tabelle 8 Ausbreitungsgeschwindigkeiten *) für die Brandentwicklung bis zum Vollbrand*

Brandfläche nach der Entzündung (m^2)	Brandausbreitungsgeschwindigkeit in m/min				
	Entstehungs-phase (m/min)	Ausbreitung langsam (m/min)	Ausbreitung mittel (m/min)	Ausbreitung schnell (m/min)	Ausbreitung sehr schnell (m/min)
0,001	0,06	0,15	0,24	0,45	1,0
< 1,50	0,06	0,15	0,24	0,45	1,0
< 7,50	-	0,15	0,24	0,45	1,0
< 25,00	-	-	0,24	0,45	1,0
< 100,00	-	-	-	0,45	1,0
> 100,00	-	-	-	-	1,0

*) nach [3]

Bei der Verwendung von Brandleistungskurven in der Brandsimulation ist nachzuweisen, dass die Brandausbreitungsgeschwindigkeit die in Tabelle 8 angegebenen Werte nicht unterschreitet, d.h. eine Brandfläche von 100 m2 muss spätestens nach 25 min Brandentwicklungsdauer erreicht sein (ohne Löschmaßnahmen).

Die in der Brandsimulation anzunehmenden Heizwerte und Verbrennungseffektivitäten sind der DIN 18230-3 sowie einschlägigen Standardwerken [2], [3], [7], [8], [10], [12], [16] zu entnehmen.

Die Verbrennungseffektivität ζ infolge unvollständiger Verbrennung bzw. Ruß- und Aschebildung ist für brandlastgesteuerte Brände in der Tabelle 9 festgelegt. Zwischenwerte für unvollständige Verbrennungen, Ruß- und Ascheanteile dürfen durch lineare Interpolation ermittelt werden.

Tabelle 9 Verbrennungseffektivität von Produktions-, Bau- und Lagerstoffen

Ruß- und Aschebildung, unvollständige Verbrennung	Verbrennungseffektivität ζ	
	Flüssigkeiten	Feststoffe
≤ 1 %	1	1
≤ 5 %	0,95	0,9
≤ 10 %	0,90	0,8
≤ 20 %	0,80	0,7

Die Verbrennungseffektivität wird bei der Brandsimulation durch Multiplikation mit der gesamten Brandlast Q_{ges} sowie durch Multiplikation mit den spezifischen Abbrandraten bzw. Brandleistungen berücksichtigt.

$$Q_R = \zeta \cdot Q_{ges} \tag{11}$$

Die Abbrandfaktoren m nach DIN 18 230-3 dürfen bei der Brandsimulation nicht verwendet werden. Soweit aus Brandversuchen gemessene ζ-Werte für Produktions- und Lagerstoffe bekannt und dokumentiert sind, dürfen diese verwendet werden. Der kleinste Wert von ζ ist in der Tabelle 9 ist mit 0,7 festgelegt, kleinere Werte müssen experimentell für Brände mit hinreichender Sauerstoffzufuhr nachgewiesen werden. Die spezifische Abbrandrate auf der Oberfläche von Feststoffen wird theoretisch wie folgt bestimmt:

$$\dot{R} = \frac{\dot{Q}_F - \dot{Q}_L}{L_v} \tag{12}$$

Darin sind:

$\dot{R}$ spezifische Abbrandrate in kg/m^{2}h

$\dot{Q}_F$ Wärmezufuhr auf die brennende Oberfläche aus der Umgebung (Flammenstrahlung, Konvektion) in kW/m^2

$\dot{Q}_L$ Wärmeverluste an der brennende Oberfläche (Rückstrahlung, Wärmeableitung) in kW/m^2

L_v Wärmeenergie zur Produktion brennbarer Pyrolysegase oder Dämpfe (Verdampfungswärme) in kWh/kg

Werte von $\dot{R}$ und L_v sind in vielen Standardwerken tabelliert und können zur Berechnung der Brandleistung verwendet werden ([3], [7], [8], [10], [12], [16]). Da bei Brandsimulationen $\dot{Q}_F$ und $\dot{Q}_L$ in der Regel nicht genau bestimmbar sind wird die folgende Vorgehensweise vorgeschlagen. Aus der Gl.(12) erhält man für praktische Fälle mit hinreichender Genauigkeit die spezifische Brandleistung:

$$\dot{Q}_{spez} = \dot{R} \cdot H_u \cdot \varsigma \tag{13}$$

$\dot{Q}_{spez}$ spezifische Brandleistung in kW/m^2

H_u unterer Heizwert in kWh/kg

Die Gl.(13) gilt für Brandlasten mit einer Verbrennungseffektivität ≤ 1,0 (siehe Tabelle 9). Für einen definierten Brandbereich bzw. eine Zone A_B, welche vollständig vom Brand erfasst ist, errechnet sich daraus die Brandleistung zu:

$$\dot{Q} = \dot{R} \cdot H_u \cdot \zeta \cdot A_B \tag{14}$$

In der DIN 18230-3 und in vielen Standardwerken sind spezifische Brandleistungen für brennbare Feststoffe und Flüssigkeiten tabelliert, so dass es

möglich ist auf dieser Basis Brandabläufe in Produktion- und Lagerbereichen zuverlässig zu modellieren.

Bei der Vorgabe einer zeitabhängigen Brandleistung (Heat Release Rate) als Brandszenarium muss im Zuge der Simulation im Simulationsmodell automatisch geprüft werden, ob die vorgegebene Brandleistung dem vorliegenden Brandregime entspricht und physikalisch möglich ist. Diesbezüglich sind die Abbrandraten entsprechend dem Brandregime während der Simulation im Modell automatisch so zu korrigieren, so dass sich ein brandlastgesteuerter Brand einstellt.

Entsprechend den Annahmen und Vereinbarungen zur DIN 18230-1 ist die gesamte potentielle Energiemenge aus den Brandlasten im betrachteten Bereich (i.d.R. BA, BBA, Teilfläche, lokale Teilfläche oder Teilabschnitte) freizusetzen. Es ist rechnerisch zu prüfen, ob das Flächenintegral unter der Brandleistungskurve vom Zeitpunkt der Entzündung t = 0 bis zum Brandende $t_{B,E}$ der gesamten Brandlast auf der Brandfläche unter Berücksichtigung der Verbrennungseffektivität nach Tabelle 9 entspricht, d. h. es gilt:

$$Q_R = \int_{t=0}^{t_{B,E}} \dot{Q}(t) \cdot dt \qquad (15)$$

Darin sind:

Q_R: rechnerische Brandlast auf der betrachteten Brandfläche in kWh

$\dot{Q}(t)$: zeitabhängige Brandleistung auf der Brandfläche im betrachteten Bereich in kW

$t_{B,E}$: Zeitpunkt für Brandende in h

Die Gl.(15) wird an folgendem Beispiel eines brandlastgesteuerten Brandes verdeutlicht:

Für eine konstante Brandleistung $\dot{Q}(t)$ = 50 000 kW mit der Verbrennungseffektivität $\zeta = 1{,}0$ und einer Branddauer $t_{B,E} = 2$ h ergibt sich aus Gl.(15) eine rechnerische Brandlast von 100 000 kWh.

Ein brandlastgesteuerter Brand im Sinne der Norm liegt dann vor, wenn der Rest-Sauerstoffgehalt der Rauchgase ≥ 3 Vol% beträgt (dieses entspricht der genormten Regelung in DIN 18230-2). Die maximale Höhe der spezifischen Brandleistung ergibt sich. aus den Stoffdaten der Produktion- und Lagerstoffe (DIN 18230-3, [3], [7], [8], [10], [12], [16]) und den aus der Brandsimulation resultierenden Ventilationsdaten.

In der Simulation muss in dem Bereich des Brandes zeitabhängig geprüft werden, dass für die Verbrennung eine hinreichende Luftmenge zur Verfügung

steht. Der Grenzfall der stöchiometrischen Verbrennung ist durch die Bedingung

$$\frac{\dot{R} \cdot r}{\dot{m}_I} = \Phi \quad \begin{matrix} < 1{,}0 & \text{brandlastgesteuert} \\ \geq 1{,}0 & \text{ventilationsgesteuert} \end{matrix} \tag{16}$$

gegeben. Darin sind:

r stöchiometrischer Luftbedarf in kg Luft /kg Brennstoff

$\dot{m}_I$ (Zu-)Luftmassenstrom in kg/h

Nur bei hinreichender Luftzufuhr (Φ < 1 und ζ= 1,0) kann eine spezifische Brandleistung nach Gl.(17) erreicht werden.

$$\dot{Q}_{spez}(t) = \dot{R} \cdot H_u \tag{17}$$

Solange der Brand ventilationsgesteuert ist (Φ ≥ 1,0), ist für die Brandleistung der Ausdruck H_u/r maßgebend. Dieser Wert ist nach Tabelle 10 für viele Brennstoffe annähernd konstant, d. h., die pro kg Luft umgesetzte Energie ist nahezu unabhängig von der Vollständigkeit der Verbrennung und der Art des Brennstoffes.

Tabelle 10 Luftbedarf und Heizwerte von Brennstoffen, heizwertbezogener Luftbedarf und Verbrennungseffektivität verschiedener Brennstoffe nach [3] und [8]

Brennstoff	Stöchiometr. Luftbedarf r kg L/kg Br	Heizwert kWh/kg	H_u/r kWh/kg Luft	Verbrennungseffektivität Lit.-Werte
Holz	5,161	4,8	0,93	0,75
Papier	4,176	3,8	0,91	0,75
Aktivkohle	11,179	9,1	0,814	1,0
PVC-Kabel	6,039	5,0	0,828	0,5
Polyethylen (Granulat)	14,742	12,0	0,814	0,8
Polystyrol	13,038	10,9	0,836	0,65
Benzin	13,462	11,9	0,884	1,0
Heizöl	13,029	11,7	0,898	1,0
Methanol	6,788	5,6	0,825	0,95
Heptan	14,139	12,4	0,877	0,95

Für die Berechnung des stöchiometrischen Luftbedarfes gilt die Beziehung

$$r = c_{stöch} \cdot H_u \tag{18}$$

mit

$c_{stöch}$ stöchiometrischer Luftbedarf pro kWh Verbrennungsenergie
(Normwert: $c_{stöch}$= 1,13 kg L/kWh)

Die spezifische Abbrandrate $\dot{R}$ wird experimentell in der Regel für brandlastgesteuerte Brände ermittelt. Bei Bränden in der Praxis ist dieser Fall dann gegeben, wenn eine hinreichende Luftzufuhr und entsprechende Wärmeabzüge zur Verfügung stehen. Der erforderliche Luftbedarf für brandlastgesteuerte Brandszenarien muss in der Simulation daher so festgelegt werden, dass im Bereich des Brandvolumens mindestens eine Restsauerstoffmenge von ≥ 3 Vol % verfügbar ist. Dieser Wert ist über den Simulationszeitraum zu kontrollieren und in der Ausgabedatei anzugeben.

Als spezifische Mindestbrandleistung sind nach DIN 18230-1 75 kW/m^2 anzusetzen.

Bei der Simulation dürfen die folgenden Arten von Brandszenarien verwendet werden:

- Vorgabe einer zeitabhängigen Brandleistungsfunktion oder Abbrandrate (Brandleistungskurven, Designfire), unter Berücksichtigung eines Brennstoffes.
- Ausbreitungsmodell (linear oder kreisförmig) unter Verwendung der Brandbelastung, der Brandausbreitungsgeschwindigkeit, der Heizwerte, der Verbrennungseffektivitäten unter Verwendung reduzierter spezifischer Brandleistungen unter Berücksichtigung eines Brennstoffes, der lokalen Branddauer.
- Die freie Berechnung der Abbrandraten mittels validierter Submodelle aus der Verbrennungslehre anhand der vorhandenen Stoffe und einer vollständigen chemischen und reaktionskinetischen Beschreibung dieser Stoffe ist zulässig.

Nicht zulässig ist die Verwendung von:

- Volumenquellen: Wobei in einem bestimmten Volumenbereich pro Zeiteinheit so viel Energie freigesetzt wird, dass die durch den Bemessungsbrand vorgegebene (konvektive) Brandleistung $\dot{Q}_c(t)$ (gesamte Wärmefreisetzung $\dot{Q}(t)$ abzüglich Strahlungsanteil) exakt erreicht wird.
- Thermikstrahlen: im Bereich der Brandquelle wird ein heißes Gas mit einem bestimmten Volumen- bzw. Massenstrom zugeführt.

Anmerkung: Um die thermischen und geometrischen Strahlparameter in Abhängigkeit von der gewünschten Wärmefreisetzungsrate $\dot{Q}(t)$ bzw. $\dot{Q}_c(t)$ festzulegen, ist die Anwendung eines empirischen Modells (Plumemodell) notwendig, was naturgemäß nicht mit dem fundamentalen Ansatz einer CFD-Modellierung

im Einklang steht. Thermikstrahlen werden daher eher bei der physikalischen Modellierung eingesetzt, sie sind für die Berechnung mit Brandsimulationsmodellen nicht typisch [2].

Die zeitabhängige Brandleistung auf einer mit der Zeit veränderlichen Fläche A (t) berechnet sich im brandlastgesteuerten Fall aus:

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}_{spez} \cdot A(t) \tag{19}$$

Darin sind:

$\dot{Q}(t)$: Brandleistung zur Zeit t in kW

$\dot{Q}_{spez}$: spezifische Brandleistung in kW/m²

$A(t)$: aktuelle Brandfläche zur Zeit t in m²

Für die maximale Brandfläche A_B in m² ergibt sich eine maximal mögliche Brandleistung $\dot{Q}_{max}$ aus:

$$\dot{Q}_{max} = \dot{Q}_{spez} \cdot A_B \tag{20}$$

Im Falle von Bränden brennbarer Flüssigkeiten sind die maximalen Brandflächen gemäß den betrieblichen Maßnahmen für brennbare Flüssigkeiten festzulegen. Die Größe von A_B ergibt sich in der Regel aus den Abmessungen von Auffangtassen oder Flüssigkeitssperren um die Lagerbehälter herum. In diesen Fällen darf für die Fläche A_B < 100 m² angenommen werden, wenn dieses den realen Gegebenheiten entspricht.

Die Größe der Brandfläche A(t) ist in der Regel zeitabhängig und errechnet sich aus den Brandausbreitungsgeschwindigkeiten v_x und v_y in m/min (s. Tabelle 8, [3], [7], [8], [10] und [12]), d. h. die Brandfläche errechnet sich in der Ausbreitungsphase wie folgt:

$$A(t) = A_0 + v_x \cdot v_y \cdot t^2 \tag{21}$$

Darin sind:

v_x, v_y: horizontale Brandausbreitungsgeschwindigkeiten in x- und y-Richtung in m/min

t: Branddauer ab der Zeit der Entzündung

A_0: Zündfläche mit A_0 < 0,001 m² (darf in der Simulation vernachlässigt werden)

Es dürfen auch kreisförmige Brandflächen zeitabhängig simuliert werden (vergl. [2], [3]). Allerdings gestaltet sich die zeitabhängige Berechnung von A(t) in diesen Fällen als sehr aufwendig, weil die Produktions- und Lagerflächen in Industriebauten in der Regel rechteckig angeordnet sind. In Bezug auf die Berechnung von $t_{ä}$ ergeben sich praktisch keine Unterschiede bei der Berechnung von Bränden auf flächengleichen rechteckigen oder kreisförmigen Brandflächen.

In den Brandszenarien muss der Beginn des selbstständigen Verlöschens am jeweiligen Entzündungsort definiert werden. Der Zeitpunkt des Verlöschens (die Brandlast ist am Zündort verbrannt) errechnet sich lokal aus der folgenden Beziehung:

$$t_{B,aus} = \frac{Q_R}{\dot{Q}_{spez}} \tag{22}$$

DOKUMENTATION VON ERGEBNISSEN AUS BRANDSIMULATIONEN

Die Dokumentation zur Ermittlung der äquivalenten Branddauer und des Wärmeabzugs durch Brandsimulation muss vollständig, nachvollziehbar und überprüfbar sein. Die Dokumentation von Ergebnissen aus Brandsimulationen sollte die folgenden Hauptpunkte umfassen:

- Allgemeine bauliche Angaben
- Angaben zu den verwendeten Rechenmodellen
- Angaben zur Brandsimulation
- Ergebnisse äquivalente Branddauer ($t_{ä}$)

Eine detaillierte Unterteilung der obigen Punkte ist in Tabelle 11 angegeben.

Tabelle 11: Gliederung für die Dokumentation von Brandsimulationen

1.	Allgemeine bauliche Angaben
1.1	Bauwerks- und Nutzungsbeschreibung
1.2	Brandlastaufstellung, thermodynamische Stoffdaten, Unsicherheiten bzw. die Variabilität (statistische Verteilung)
1.3	Dokumentation Nachweisbereiche: BA, BBA, TA, TF
2.	Angaben zu den verwendeten Rechenmodellen
2.1	Beschreibung der verwendeten Rechenmodells für die Brandsimulation
2.2	Beschreibung der verwendeten Rechenmodells für die Bauteilberechnung
3.	Angaben zur Brandsimulation
3.1	Geometrische Modellierung: • CFD Modelle: Nodalisierung, Diskretisierung • Zonen Modelle: Zonenunterteilung, virtuelle Räume
3.2	Umfassungsbauteile
3.3	Ventilation
3.4	Brandszenarium
3.5	Submodelle CFD Modelle: Verwendete Submodelle für Strahlung, Turbulenzen etc. Zonen Modelle: verwendetet Plumemodelle
3.6	Ergebnisse aus der Brandsimulation: Darstellung von Temperatur - Zeit - Verläufen für lokale bzw. integrale Gastemperaturen, Gaskonzentrationen, Brandleistungen, Brandlasten, Brandflächen, Ventilation, Brandregime
4.	Angaben zur äquivalenten Branddauer $t_ä$
4.2	Ergebnisse Bauteilsimulation: Temperatur - Zeit - Verläufe im Referenzbauteil
4.3	Maximale Temperatur im Referenzbauteil unter Naturbrand
4.3	Ermittelter $t_ä$-Wert und Wärmeabzugsfaktor w

In Bild 2 sind einzelne wesentliche Gesichtspunkte für die Erstellung einer Dokumentation in Form eines Ablaufdiagrammes zusammengestellt.

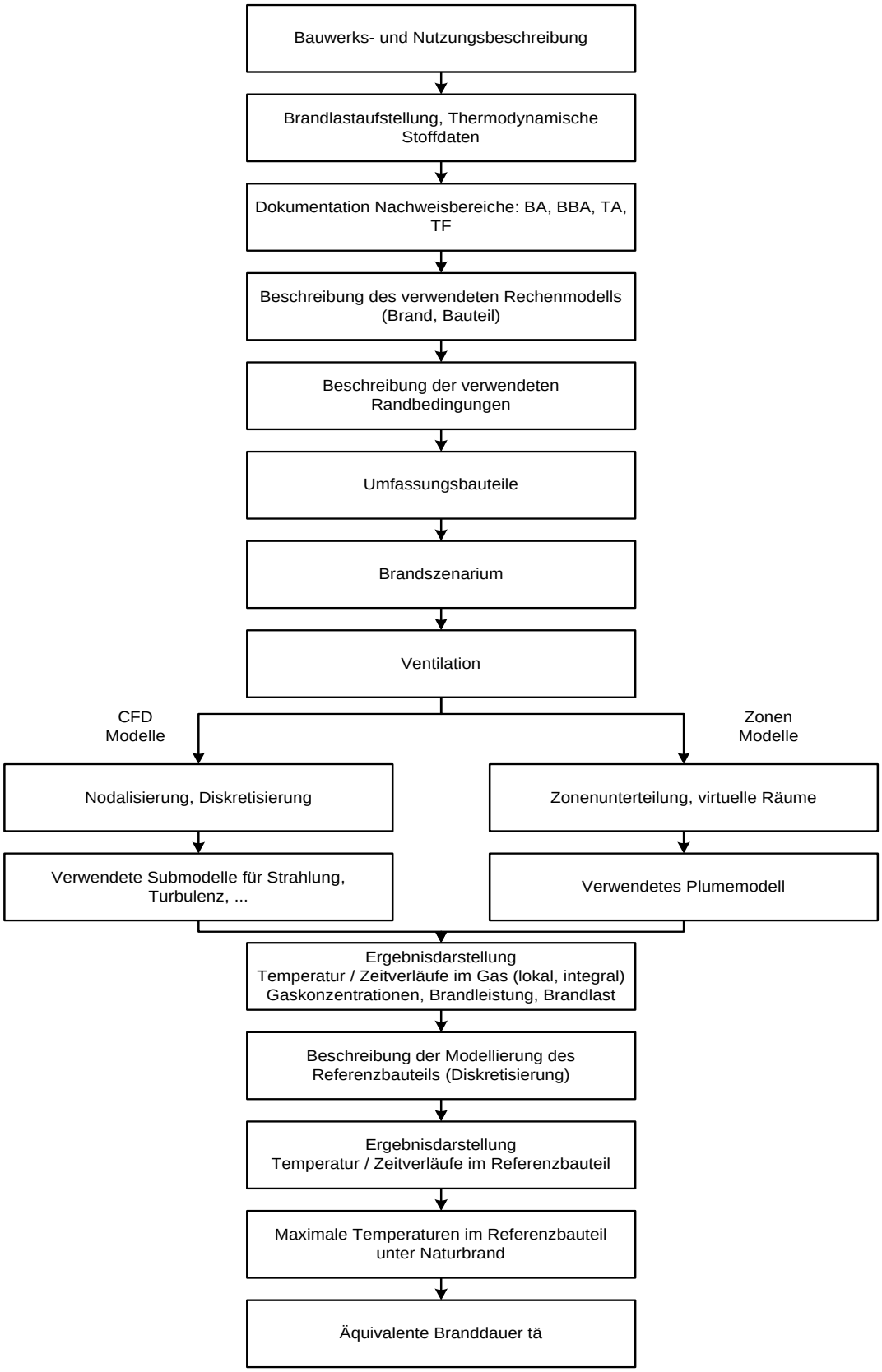


Bild 2 Darstellung des Ablaufes der Erstellung einer Dokumentation für Brandsimulationen

In Tabelle 12 sind Kriterien zur Prüfung der Schlüssigkeit und Plausibilität von Brandsimulationsberechnungen angegeben (s. [2] [3] u. [17]).

Tabelle 12 Kriterien zur Prüfung von Brandsimulationsberechnungen

Schritt	Prüfkriterium	Prüfergebnis (ja/nein)
1	Liegt für das betrachtete Objekt ein Brandschutzkonzept vor? (Hinweis: Dieses Prüfkriterium ist nur für den Fall relevant in dem die Berechnungen nicht Teil eines Brandschutzkonzeptes sind.)	
2	Liegt eine verständliche, nachvollziehbare und überprüfbare Dokumentation vor?	
3	Sind die Eingabedaten (z. B. zur Festlegung von Anfangs- und Randbedingungen) für das Gebäude, seine Nutzung und die spezielle Aufgabenstellung in sich schlüssig und vollständig dokumentiert?	
4	Ist die Dokumentation der Brandlasten vollständig und stimmt diese mit der Nutzungsbeschreibung überein?	
5	Sind die festgestellten Brandlasten hinsichtlich ihrer Stoffdaten richtig beschrieben und sind die Brandlastmengen in Hinblick auf die Nutzung plausibel?	
6	Liegen Aussagen in Hinblick auf die Unsicherheiten bei den Brandlasten bzw. die Unsicherheiten der Eingangsdaten vor und wurden Sicherheitszuschläge gemacht?	
7	Sind die Eingangsdaten durch entsprechende Belege, Quellen nachvollziehbar und schlüssig dokumentiert? Dies gilt insbesondere für die thermodynamischen Daten zur Beschreibung der Brandszenarien.	
8	Liegt eine vollständige Beschreibung der verwendeten Rechenprogramme (Simulationsprogramme) vor. (Ggf. reicht hier auch der Hinweis auf einschlägige Veröffentlichungen aus).	
9	Liegt ein Beleg für die Verwendbarkeit und Eignung des gewählten Simulationsmodelles vor? Es reichen als Beleg für die Verifizierung und Validierung Hinweise auf einschlägige Dokumentationen von Anwendungen bei gleichartigen Fällen, Nachrechnungen von Realbrandversuchen und einschlägigen Veröffentlichungen in der wissenschaftlichen Literatur, aber auch in der Fachpresse aus.	
10	Sind die Anfangs- und Randbedingungen in die Berechnung richtig übertragen und in den Berechnungen berücksichtigt worden? Ist z. B. der Zeitpunkt der Aktivierung von Brandschutzmaßnahmen oder von Öffnungen; ggf. durch die Erläuterung spezieller Ergebnisdarstellungen dokumentiert	
11	Sind die Ergebnisse der Ermittlung der Temperaturzeitkurven der Brandbelastung (aus der Brandsimulation) und die Temperatur-Zeitkurven aus der Bauteilbetrachtung am Referenzbauteil dokumentiert und plausibel.	

Erläuterungen zur Tabelle 12:

a) Die Brandlasten in industriellen Nutzungen können im Betrieb sehr stark schwanken. Deshalb ist es erforderlich diese Brandlasten statistisch korrekt zu erfassen und die nutzungsbedingte Schwankungsbreite zu ermitteln. Aus der daraus resultierenden Verteilung (i.d.R. eine lognormal Verteilung) ist die 90% Fraktile der Berechnung zu Grunde zu legen.

b) Eine Prüfung auf Schlüssigkeit und Plausibilität der Brandlastdaten kann auf Basis eines Vergleiches mit bekannten Verteilungen aus Norm- bzw. Literaturangaben beruhen. Weichen diese Angaben deutlich von den bisher bekannten Daten ab (vor allem in Richtung niedriger Brandlasten) sollte die Brandlastaufstellung im Detail überprüft werden.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Mit der Norm DIN 18230-4, Brandsimulation wird das Ziel verfolgt, die in der MIndBauRL seit dem Jahre 2000 vorhandene Möglichkeit die Brandsicherheit im Industriebau, durch Brandsimulation (Wärmebilanzrechnung) nachzuweisen, auf eine nachvollziehbare normative Basis zu stellen. Die Norm baut grundsätzlich auf der DIN 18230-1, Baulicher Brandschutz im Industriebau, Entwurf Juni 2008, auf und wird langfristig dazu beitragen, dass vereinfachte Rechenverfahren durch genauere Brandsimulationen zu ersetzen.

Diese Entwicklung ist vergleichbar mit den zurückliegenden Entwicklungen in der Baustatik, welche derzeit bereits ein sehr hohes Niveau im Bereich der rechnerischen Nachweise erreicht hat. Im Vergleich dazu hinkt der Brandschutz deutlich hinterher, weil diesbezüglich in der Lehre und Forschung im deutschsprachigen Raum keine entsprechenden Kapazitäten vorhanden sind, um mit den vorhandenen wissenschaftlichen Aktivitäten des nahen und fernen Auslandes mithalten zu können.

Derzeitige Anstrengungen in diesem Bereich sind vor allem in der sekundären (praxisbezogenen) Brandschutzausbildung zu finden, was für die weltweit wirkende Industrienation Deutschland sicherlich nicht das Maß aller Dinge sein kann. Es ist somit sehr zu begrüßen, dass diese Normung im DIN ermöglicht und somit der Anschluss im internationalen Bereich nicht vollkommen verpasst wird.

Die Norm DIN 18230-4 stützt sich ab auf dem technischen Stand von Wissenschaften und Experten, welche in der Vergangenheit auf dem Gebiet der Brandsimulation geforscht und in der Praxis gearbeitet haben. Diesbezüglich liegt in Deutschland ein erhebliches Potential an Erkenntnissen vor, unterstützt von Berichten aus der wissenschaftlichen Forschung und neuester Brandschutzliteratur. Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die ursprünglichen Ideen bezüglich der Brandsimulation in Industriehallen und auch das Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Normbranddauer in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts in Braunschweig geboren wurde und diese auch in den Braun-

schweiger Brandschutztagen regelmäßig Teil der Diskussionen über die DIN 18230-1 waren.

Es bleibt zu hoffen, dass diese (erste) Norm auf dem Gebiet der Brandsimulation in einem überschaubaren Zeitraum abgeschlossen wird und in der Praxis zur Anwendung gelangt. Damit wäre der Einstieg für einen möglichen Ersatz von DIN 18230-1 geschafft und die Arbeiten an umfassenden Normen im Bereich der Brandschutzingenieurmethoden könnten beginnen. Die laufenden Anwendungen der DIN 18230-4 wird zusätzliche Erfahrungen und weiterführende Möglichkeiten für die allgemeine Anwendung von Brandsimulationen in Sonderbauten liefern, so dass ein umfassendes Normenwerk auf diesem Gebiet erstellt werden könnte.

LITERATUR

[1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Brandschutzleitfaden für Gebäude des Bundes; Baulicher Brandschutz für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von Gebäuden des Bundes; 3. Auflage, Stand Juli 2006.

[2] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04-01 Mai 2009, 2. Auflage. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), 2009.

[3] Schneider, U.: Ingenieurmethoden im Brandschutz, 2. Auflage. ISBN 978-3-8041-5238-0, 499 S. Werner Verlag GmbH & Co KG, Köln, 2008.

[4] Schneider, U.: Strahlungsberechnung in Brandräumen: Entzündung brennbarer Objekte durch Rauchgas- und Flammenstrahlung, Teil 1. vfdb-Zeitschrift, 57. Jahrgang, Heft 3/2008, S.129-144, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2008.

[5] Schneider, U.: Strahlungsberechnung in Brandräumen: Entzündung brennbarer Objekte durch Rauchgas- und Flammenstrahlung, Teil 2. vfdb-Zeitschrift, 57. Jahrgang, Heft 4/2008, S.159-173, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2008.

[6] Schneider, U.; Kersken-Bradley, M.; Kirchberger, H.: Brandschutz – Dokumentation einer Entwicklung.

Bauphysik, Heft 6, 30. Jahrgang, S. 405-416, ISSN 0171-5445, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2008.

[7] Schneider, U.; Franssen J. M.; Lebeda, C.: Baulicher Brandschutz. 2. Auflage, ISBN 978-3-89932-086-2, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin, 2008.

[8] Schneider, U.: Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz. 5. Auflage, Serie Kontakt und Studium, Band 531, ISBN 978-3-8189-2781-5, expert verlag, Renningen, 2007.

[9] Schneider, U.; Max, U.: Brandsimulation unter Berücksichtigung der Sprinklerwirkung. Vfdb-Zeitschrift, 56. Jahrgang, Heft 3/2007, S. 101-121, ISSN 0042-1804, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2007.

[10] Schneider, U.: Ingenieurmethoden im Brandschutz. Bauphysik-Kalender 2006, S. 237-300, ISBN 3-433-01820-0, Herausgeber: Nabil A. Fouad, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2006.

[11] Schneider, U.; Oswald, M.; Lebeda, C.: Brandschutzsimulationsberechnungen im Rahmen von Ingenieurmethoden. VdS Fachtagung, 2. Kolloqium Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Brandschutz für Gebäude besonderer Art und Nutzung. S. 249-286, Köln, 2004.

[12] Schneider, U.; Max, U.: Baulicher Brandschutz im Industriebau. Beuth Kommentare, 3. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003.

[13] Schneider, U.: Grundlagen der Ingenieurmethoden im Brandschutz. 1. Auflage, Werner Verlag, Neuwied, 2002.

[14] Schneider, U.: Über die Möglichkeit der Umrechnung von natürlichen Bränden auf die Brandbeanspruchung nach DIN 4102-2. Zentralblatt für Industriebau, 19. Jahrgang, Heft 1,S. 24-29, C.R. Vincentz Verlag, Hannover, Jan. 1973

[15] Schneider, U.: Bewertung des unterschiedlichen Brandverhaltens von Baustoffen bei natürlichen Bränden. (Beitrag zum Berechnungsverfahren nach DIN 18 230 E), Betonwerk und Fertigteil-Technik, 38. Jahrgang, Heft 9, S. 653-658, Bauverlag GmbH Wiesbaden, Sept. 1972

[16] SFPE: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fourth Edition, National Fire Protection Association, 2008.

[17] vfdb-Richtlinien vfdb 01/01:2008-04 (02): Brandschutzkonzept, vfdb Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes, 2008.

[18] SFPE; Engineering Guide, Fire Risk Assessment; Society of Fire Protection Engineers; November 2006.

BAUAUFSICHTLICHE SCHUTZZIELVORGABEN ZUR RAUCHABLEITUNG AUS RÄUMEN ODER GEBÄUDEN

Friedrich Mehl
Landesstelle für Bautechnik in der Landesdirektion Leipzig, Leipzig

EINLEITUNG UND REZENSION

Die Erstellung von Brandschutzkonzepten zu Sonderbauten im Sinne der Definition nach § 2 Abs. 4 Musterbauordnung (MBO) [1] zu Bauvorhaben mit nutzungsbedingtem komplexen Charakter, erheblichen räumlichen Ausdehnungen und/oder größeren Menschenansammlungen hat in den letzten Jahren häufig zu der Frage nach den den bauordnungsrechtlichen Vorschriften zu Grunde liegenden Schutzzielen geführt.

Im Jahre 2007 wurden an gleicher Stelle die bauordnungsrechtlichen Schutzziele des baulichen Brandschutzes [2] in Ausfüllung der diesbezüglichen Aussage in § 14 MBO bezogen auf

- Sicherheit (oder „Risiko“) zu Entfluchtung (Evakuierung) und Personenrettung (Fremdrettung),
- Behinderung der Brandentstehung und
- Gewährleistung wirksamer Maßnahmen der Brandbekämpfung

unter Einbeziehung semi-probabilistischer Ansätze behandelt.

Die Eckpunkte und Grundlagen einer numerisch gestützten brandschutztechnischen Entwurfslehre und Nachweisführung waren Gegenstand der Ausführungen im Jahre 2004 [3].

Unter dem Gesichtspunkt der Erstellung so genannter leistungsorientierter Brandschutzkonzepte in den Abweichungsfällen nach § 3 Satz 3 MBO - Abweichungen von bauaufsichtlich eingeführten Technischen Baubestimmungen – oder nach § 67 Abs. 1 MBO - Abweichungen von Anforderungen nach Rechtsnormen, wie der jeweiligen Landesbauordnung oder von einer der zugehörigen Verordnung über den Bau und Betrieb eines Sonderbaus – wurde der vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes [4] erstellt. Derselbe basiert gleichsam auf einer Interpretation der öffentlich-rechtlichen Schutzziele und den daraus abgeleiteten materiellen Anforderungen, jedoch in besonderer Weise darauf abgestellt

- die bauordnungsrechtlichen Anforderungen zum baulichen Brandschutz adäquat zu den starren Einzelvorgaben und/ oder
- entsprechend den tatsächlich im Einzelfall möglichen Einwirkungen und vorhandenen Risiken

die Zielstellungen optimal erfüllen zu wollen bei ggf. gleichzeitiger Einbeziehung kompensatorischer Maßnahmen, wie beispielsweise solche des anlagentechnischen Brandschutzes.

Für den „geübten Praktiker“, wird es deshalb nicht leicht sein, aus dem „reichhaltigen Angebot“ des Leitfadens [4] das für ihn notwendige und in Abstellung auf den Einzelfall maßgebende Modell zu finden. Wie es umgekehrt dem Wissenschaftler wohl zunehmend schwer fällt, aus der Vielzahl der Einzelregelungen zum Brandschutz den Kern der Sache in Abstellung auf das öffentlich-rechtlich geforderte Sicherheitsniveau als numerischen Parameter in allgemeingültiger Form zu erkennen. Gerade in Abstellung auf die Schutzzielvorgabe zu einer notwendigen Rauchableitung aus Sonderbauten im Sinne der Begriffsbestimmung derselben nach § 2 Abs. 4 MBO hat dies seinen Niederschlag in den zugeordneten Veröffentlichungen in der Fachliteratur geführt, exemplarisch beispielhaft sei verwiesen auf [5], [6], [7] und die Fachbeiträge in [8].

Dabei wurde die Diskussion teils auch relativ kontrovers geführt [6], [7], [8], [9], da eingeräumt sei, dass aus den bauaufsichtlichen Vorschriften nicht unmittelbar die zugeordnete Schutzzielvorgabe immer „ohne Umstände“ ablesbar ist und damit aus ingenieurmäßiger Sicht „schon gleich überhaupt nicht“ ein definitiv den Vorstellungen adäquat ablesbares Bemessungsbrandszenario (Brandmodell) sich ergibt, soweit es sich nicht um eine Bauteilbemessung handelt, die zunächst ohne Inanspruchnahme des Abweichungsfalles nach § 67 MBO auf die Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2 bzw. nach DIN EN 1369-1 in Ausfüllung der Anforderungen zur Klassifizierung nach DIN EN 13501-2 abzustellen ist. Ferner andererseits das Normungsvorhaben DIN 18232-2:2007-11 zur Bemessung und zum Einbau von Natürlichen Rauchabzugsanlagen (NRA) nicht im Konsens zum Abschluss gebracht worden ist und die Norm für sich damit nicht im Gegensatz zu sonstigen Fällen der Normung in Anspruch nehmen kann, eine allgemein anerkannte Regel der Technik dahingehend zu sein, für alle Fälle zwingend geboten eine Anwendungsregel darzustellen, so dass der planende Ingenieur nun ohnehin kaum noch die Differenzierung zwischen öffentlich-rechtlichen Anforderungen, ggf. möglichen und ggf. lobbyistisch-geprägten Idealvorstellungen zur Vermeidung möglichst jeglicher hinnehmbarer Restrisiken erkennen konnte. Mit der „neuen Norm“ konnten auch die Kritikpunkte nach [10] nicht ausgeräumt werden.

Davon ausgehend und mittelbar u.a. auch ausgelöst durch [11] hat die Fachkommission (FK) Bauaufsicht der Bauministerkonferenz (ARGEBAU) die Projektgruppe (PG) Brandschutz der FK beauftragt, eine entsprechende inhaltliche Klarstellung zu erarbeiten. Im Ergebnis ist das zwischenzeitlich veröffentlichte „Grundsatzpapier“ [12] zur Frage der „Rettung von Personen“ und zu „wirksamen Löscharbeiten“ entstanden.

Das „Grundsatzpapier“ [12] wurde im Oktober 2008 von der FK Bauaufsicht und nach einer ausführlichen Diskussion von der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in Deutschland (AGBF) einstimmig und ohne Änderungen angenommen.

Im Folgenden soll in Ergänzung und in Erläuterung des Grundsatzpapiers und der zugeordneten Veröffentlichung [12] einige zusätzliche Anmerkungen getroffen werden sowie auf Folgerungen aufmerksam gemacht werden.

NOTWENDIGE DIFFERENZIERUNG IN AUSLEGUNG DER ALLGEMEINEN SCHUTZZIELAUFFORDERUNG NACH § 14 MBO

Aus bauordnungsrechtlicher Sicht ist grundsätzlich gedanklich und inhaltlich zu differenzieren zwischen

- „Sonderbauten“ und dem hier eingeführten Begriff
- der „Standardbauten“.

Sonderbauten sind dabei solche Gebäude (bauliche Anlagen), die begrifflich durch § 2 Abs. 4 MBO durch direkte Benennung und Aufzählung bestimmt sind und für die nach § 33 Abs. 1 MBO grundsätzlich zwei oder mehr – und somit mindestens zwei – voneinander unabhängige bauliche Rettungswege auszubilden sind. Damit ergibt sich für ein *mehrgeschossiges Gebäude als Sonderbau die Anforderung zur Errichtung von im Regelfall mindestens zwei (oder mehr) entgegengesetzt anzuordnender notwendiger Treppenräume* (vgl. § 35 Abs. 2 MBO), gleichwohl auch hier die Erleichterungen gelten, dass die Wege innerhalb eines Geschosses über den selben notwendigen Flur führen dürfen und trotzdem als unabhängig gelten, sowie Stichflure nicht länger als 15 m sein dürfen (vgl. § 36 Abs. 3 MBO). Die zugeordneten brandschutztechnischen Entwurfsgrundlagen werden ausführlich in [13] behandelt; sie stellen eine Untersetzung der in Ziffer 3 des Grundsatzpapiers wiedergegebenen Aussage dar, dass die bauordnungsrechtlichen Anforderungen zur Sicherung der Selbstrettung (Entfluchtung bzw. Evakuierung) von Personen sich vordergründig beziehen auf

- die innere Abschottung von Gebäuden,
- die Führung, Bemessung und bauliche Ausbildung der „Rettungswege“ selbst und
- im „Bedarfsfall“ auf betriebliche/ organisatorische und ggf. anlagentechnische Maßnahmen zur Alarmierung.

Für hallenartige raumbildende Gebäude oder mit Räumen mit mehr als 200 m² oder für mehr als 100 Personen muss man zudem erkennen, dass solche Räume stets über mindestens zwei voneinander unabhängige entgegengesetzt angeordnete Ausgänge müssen verlassen werden können (vgl. Ziffer 5.5.2 M IndBauRL, Fassung März 2000, und § 6 Abs. 5 MVStättV, Fassung Juni 2005). Die Entfernung von jedem Punkt eines solchen Raumes bis zum nächsten (ersten) Ausgang darf je nach Sonderbau im Regelfall nicht mehr als 25 bis 30 m betragen (vgl. hierzu z.B. § 7 Abs. 1 MVStättV und § 10 Abs. 2 MVkVO). Diese Weglänge versteht sich *ohne* gesonderte zusätzliche Forderung zu einer Rauchableitung aus den hier in Rede stehenden Räumen aus öffentlich-

rechtlicher Sicht zur Sicherung der Evakuierung. Allerdings muss eben auch die Regel bekannt sein, dass im Fall von mehr als 500 Personen pro Gebäude und nicht mehr als zwei baulichen Rettungswegen oder bei mehr als 300 Personen, die auf einen Rettungsweg (Fluchtweg) angewiesen sind, eine Evakuierungsberechnung vorzunehmen ist, in der nicht nur hinnehmbar rechnerische Evakuierungszeiten nachgewiesen werden, sondern insbesondere nachgewiesen wird, dass zur Verhinderung von Panik auftretende Stau- oder Verzögerungszeiten ihrerseits hinnehmbar klein sind (siehe hierzu [13]).

Im Abweichungsfall von Weglängen müssen gerade bei Sonderbauten mit größeren Personenansammlungen (wie Versammlungsstätten, Verkaufsstätten aber auch bei Schulen) solche Evakuierungsnachweise zur Optimierung der Wege (hier insbesondere der Durchgangsbreiten oder Ausgangsbreiten) *vor* Betrachtungen zur Rauchableitung oder gar einer Rauchfreihaltung im Regelfall stehen.

Aus dem Gesamtumfang möglicher Gebäudenutzungen verbleiben bei „Herausnahme“ der Sonderbauten nach § 2 Abs. 4 MBO die so genannten „Standardbauten“, die wohl die Mehrzahl der Gebäude darstellen und auf die sich vordergründig die materiellen Anforderungen der Bauordnungen der Länder (Landesbauordnungen - LBO) bzw. der Musterbauordnung (MBO) beziehen.

Standardbauten zeichnen sich dadurch aus, dass der zweite Rettungsweg über Rettungsgeräte der Feuerwehr führen darf (§ 33 Abs. 2 Satz 2 MBO). Da die Feuerwehr im Brandfall klarstellend in der Regel nur eine sehr begrenzte Anzahl von Personen – in der Regel keinesfalls mehr als 10 Personen – retten kann, ist neben dieser Randbedingung zu beachten, dass das o.g. Prinzip der inneren (brandschutztechnisch wirksamen) Abschottung durch Bildung entsprechend kleiner Nutzungseinheiten (≤ 400 m²) und feuerwiderstandsfähiger (einschließlich hinreichend sicherer rauchdichter) Geschosse strikt befolgt wird. Analoges gilt für die Rettungswegführung und Ausbildung ([2] und siehe hierzu insbesondere Ziffer 2 in [13]).

Vom Grundsatz her werden die Standardbauten hinsichtlich der zum baulichen Brandschutz zu erfüllenden Anforderungen durch die Landesbauordnungen abschließend geregelt, soweit nicht Regelungen zur Technischen Gebäudeausrüstung (§ 38 bis § 42 MBO) nach den Vorgaben der eingeführten Technischen Baubestimmungen sich bestimmen (siehe hierzu u.a. M-LüAR und MLAR gemäß Kenn-Nr. 3.6 und 3.7 der M-LTB, Fassung Februar 2009).

Im engeren „klassischen“ Sinn sind damit „Standardbauten“ Wohngebäude mit Wohnungen (bzw. brandschutztechnisch abgegrenzten Nutzungseinheiten) bis 200 m² oder Bürogebäude mit diesbezüglichen Nutzungseinheiten bis 400 m² (siehe hier vergleichsweise § 2 Abs. 3 MBO und insbesondere § 36 Abs. 1 Nr. 1 und 2 MBO), die in so genannter „Zellenbauweise“ – gelegentlich auch als so genannte „Schachtelbauweise“ bezeichnet – errichtet werden und deren Grundfläche des Geschosses mit der größten Ausdehnung 1600 m² nicht übersteigt.

Die Einschränkung auf 1600 m² Grundfläche je Geschoss gilt allerdings nicht für „reine Wohngebäude“ (vgl. § 2 Abs. 4 Nr. 3 MBO).

Es sei an dieser Stelle vorweggenommen:

Für diese Standardbauten bedarf es aus Räumen oder Nutzungseinheiten keinerlei Anlagen zur Rauchableitung. Einrichtungen zur Rauchableitung bedarf es in solchen Standardbauten nur in notwendigen Treppenräumen, soweit dies nach § 35 Abs. 8 MBO gefordert wird. Danach wird eine Öffnung zur Rauchableitung (im Sinne von Nr. 3.10 der Liste C zu den Bauregellisten) „nur“ in notwendigen Treppenräumen von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5 gefordert bzw. zu solchen mit einer Höhe nach § 2 Abs. 3 Satz 2 MBO von mehr als 13 m sowie bei innenliegenden Treppenräumen auch bei Gebäuden der Gebäudeklasse 3.

Im Umkehrschluss aus § 33 Abs. 3 Satz 2 MBO bedarf es formal bei Standardbauten nicht der Prüfung, ob zu einer Rettung von Personen über Rettungsgeräte der Feuerwehr Bedenken wegen der Anzahl der aus einem Gebäude zu rettenden Personen bestehen. Die Flächenbegrenzung auf maximal 400 m² einer brandschutztechnisch abgegrenzten raumbildenden Nutzungseinheit gibt jedoch nicht die absolute Gewähr dafür, dass auch die Anzahl der nötigenfalls zu rettenden Personen auf ein für die praktische Durchführung der Rettung durch die Feuerwehr hinnehmbar Größe beschränkt bleibt. Dieser sachliche Widerspruch ist lösbar, in dem in Satz 2 von § 33 Abs. 3 MBO die Einschränkung auf Sonderbauten entfällt *oder* in Nr. 6 von § 2 Abs. 4 MBO zur Bestimmung von Sonderbauten die Anzahl der Personen pro Raum und/oder Nutzungseinheit auf eine für die Rettung von Personen über Rettungsgeräte der Feuerwehr akzeptable Größe abgestellt wird. Favorisiert wird hier eine diesbezügliche Änderung von §§ 33 Abs. 3 Satz 2 MBO (siehe hierzu vergleichsweise § 33 Abs. 3 Satz 2 SächsBO), da in diesem Fall der entwurfstechnische Gestaltungsspielraum für den bauvorlageberechtigten Entwurfsverfasser am größten ist, gleichwohl aus logischer Sicht beide hier angesprochenen Punkte zueinander kompatibel geändert werden müssten.

Gedanklich ist ferner zu differenzieren zwischen „*geregelten Sonderbauten*“ bzw. „*geregelten Standardbauten*“ und „*nicht geregelten Sonderbauten*“ bzw. „*nicht geregelten Standardbauten*“.

„*Geregelte Sonderbauten*“ liegen dann vor, wenn ein Gebäude entsprechend seiner Nutzung und/oder baulicher Ausbildung in den Geltungsbereich einer Sonderbauvorschrift (z.B. Garagenverordnung, Hochhausbau-Richtlinie) fällt und den Anforderungen danach gefolgt wird. Die Sonderbauvorschrift stellt damit in Ausfüllung der Bauordnung das *Brandschutzkonzept* dar; im Einzelfall ist „lediglich“ im *Brandschutznachweis* der Nachweis zu führen, dass die Anforderungen auch eingehalten sind, soweit es wegen der Komplexität der Problemstellung einer solchen Nachweisführung bedarf.

Damit gilt für die Praxis:

- Im Falle eines geregelten Sonderbaus ist „lediglich“ ein Brandschutznachweis in Gegenüberstellung zum Brandschutzkonzept nach der Sonderbauvorschrift zu führen.
- Im Falle eines ungeregelten Sonderbaus ist ein Brandschutzkonzept zu erstellen und gleichzeitig nachzuweisen (… im Brandschutznachweis), dass die Anforderungen nach dem erstellten (ganzheitlichen) Brandschutzkonzept eingehalten werden.

KLARSTELLUNG DURCH [12]

Das Positionspapier [12] stellt nun klar, dass es für „*geregelte Sonderbauten*“ und „*geregelte Standardbauten*“ *zur Sicherung von Flucht und Rettung für Personen keiner gesonderten Maßnahmen zur Rauchableitung bedarf*, soweit nicht Wegstrecken über Treppen in notwendigen Treppenräumen betroffen sind. Dabei wird unterstellt, dass dem vorstehenden Prinzip ausreichend sicher Rechnung getragen worden ist, dass insbesondere die Fluchtwege kurz sind und die Wege selbst durch Einhaltung der Anforderungen an die Baustoffe, an die raumabschließenden Bauteile, die direkt oder indirekt dem Schutz der Wege vor Rauch und Feuer dienen, und durch die ggf. notwendige Unterteilung der Wege in Abschnitte (z.B. auch Rauchabschnitte) hinreichend sicher sind.

Die Abstellung auf „kurze Wegstrecken“ versteht sich dabei vereinfachend als adäquate Anforderung zu kurzen Entfluchtungszeiten bzw. im Falle größerer Menschenansammlungen zu kurzen Evakuierungszeiten (hier im Sinne der Zeit der Entfluchtung aus Räumen innerhalb von maximal 3 Minuten und aus Gebäuden innerhalb von maximal 9 Minuten von der Brandentstehung bis zum Verlassen in Abstellung auf die letzte Person und in Abstellung darauf, dass es sich um mindestens eine Möglichkeit handelt). Ferner wird mittelbar unterstellt, dass innerhalb der genannten Entfluchtungszeiten es zu keinen erheblichen Verzögerungen infolge Staubildung kommt. Für die Praxis bedeutet dies, die Verzögerung in Abstellung auf die letzte Person darf in keinem Einzelfall größer als beispielsweise 1 Minute sein, so dass ausreichend einer Panik vorgebeugt ist.

Es sei nun nicht in Abrede gestellt, dass

a) eine nach dem genannten Prinzip nicht geforderte und dennoch vorgesehene Rauchableitung nicht auch einen Beitrag zur Sicherung der Personenrettung (Selbst- wie Fremdrettung) leisten *könnte*, dies wird nur öffentlichrechtlich so zurzeit für die o.g. *geregelten Fälle eben nicht gefordert* und

b) einzelne bauordnungsrechtliche Regelungen zu Sonderbauten derzeitig missverständlich sein *könnten* (vgl. § 7 Abs. 1 MVStättV und Ziffer 3.2 MSchulBauR; an entsprechenden textlichen Klarstellungen wird zurzeit ge-

arbeitet; siehe dazu die Ausführungen in dem folgenden Abschnitt „Neuregelungen“).

Gleichwohl wird in [12] quasi abschließend festgestellt:

„Die MBO sieht für die Personenrettung keine Maßnahmen zur Rauchableitung *vor.“*

Diese Aussage ist als öffentlich-rechtliche Mindestanforderung in Abstellung auf die gesellschaftlich akzeptierte Versagenswahrscheinlichkeit (siehe hierzu Anlage 1) postuliert.

Damit wird auch klar:

Ist einem Bauherrn dieses Sicherheitsniveau zu gering oder erkennt ein bauvorlageberechtigter Entwurfsverfasser oder Fachplaner zum Brandschutz aus seiner Verantwortung heraus, dass ein höheres Sicherheitsniveau anzunehmen ist, so ist es ihm unbenommen, höhere Anforderungen zur Erzielung eines Optimums in Ansatz zu bringen.

Mit Blick auf im Einzelfall mögliche Abweichungsfälle wird allerdings auch festgestellt (vgl. [12], Nr. 5):

„… Maßnahmen (bei denen z.B. die rechtzeitige und sichere Funktion der Rauchabzugsanlagen Voraussetzung für die Benutzbarkeit der Rettungswege ist) können allenfalls im Einzelfall zur Kompensation für Abweichungen von bauordnungsrechtlichen Anforderungen in Betracht kommen.“

Die Aussage stellt dabei auf die sichere Funktion einer Rauchabzugsanlage ab.

Dies bedeutet im „Klartext“ ferner:

Die Bemessung einer solchen „Anlage“ muss nicht nur mit einem anerkannten Verfahren erfolgen, es muss vielmehr auch die Anlage gesichert wirken, d.h. die Versagenswahrscheinlichkeit p_i der Anlage muss bekannt und hinnehmbar klein sein. Dies bedeutet wiederum, dass an sich eine Nachweisführung nur im Zusammenhang mit einem ganzheitlichen Sicherheitskonzept geführt werden kann, wie es sich z.B. nach [14] als Verfahren zur Nachweisführung in Abstellung auf die Bauteilbemessung darstellt. Die Entfluchtung (Evakuierung) wird allerdings auch hier ohne Zusatzmaßnahmen als abgeschlossen stillschweigend unterstellt, so dass dieselbe nicht Gegenstand der Betrachtung sein muss.

DIFFERENZIERUNG ZWISCHEN RAUCHABLEITUNG UND RAUCHFREIHALTUNG

Wird bauaufsichtlich gefordert, dass in *bestimmte Räume* kein Rauch eindringen darf, dann handelt es sich um eine Maßnahme zur *Rauchfreihaltung*. Rauch darf aus anderen Räumen in solch einen Raum auch bei offen stehen-

den (gleichwohl in aller Regel selbstschließenden) Türen nicht eindringen können bzw. es ist hinreichend sicher dafür Sorge zu tragen, dass Rauch in solche Räume nicht eindringen darf.

Eine Rauchfreihaltung von Räumen ist strikt zu trennen von *Maßnahmen zur Ableitung von in einem Raum im Zuge eines Brandes entstandenen Rauches (Rauchableitung)*. Diese Rauchableitung ist im „Standardfall“ aus bauordnungsrechtlicher Sicht dem *Schutzziel der Sicherung der Brandbekämpfung* zugeordnet (s.o.), soweit nach den bauaufsichtlichen Vorschriften oder Richtlinien gefordert.

Dies gilt auch für die bereits genannten und zurzeit teilweise missverständlichen Formulierungen (s.o.) nach

- § 7 Abs. 1 MVStättV [27], danach die einzuhaltende Rettungsweglänge von 30 m in einem Versammlungsraum bei mehr als 5 m lichter Höhe um 5 m je 2,5 m zusätzlicher lichter Höhe verlängert werden darf; die Entfernung von 60 m zum nächsten Ausgang darf allerdings nicht überschritten werden. (Aus der Begründung zu [27] wird ersichtlich, dass die Maßangabe zu „Entfernung“ im engeren Sinn abgestellt ist auf die „Weglänge“, d.h. nicht die „Luftlinie“ als Entfernung hier maßgebend ist!),
- Ziffer 3.2 MSchulBauR [24], danach einer der geforderten baulichen Rettungswege durch eine Halle (Atrium) führen darf, wenn die Halle eine Rauchabzugsanlage hat, und
- Ziffer 5.5.5 M IndBauRL [21], danach für Räume mit einer mittleren lichten Raumhöhe von mindestens 10 m ein Ausgang aus dem Raum in höchstens 50 m erreicht werden muss.

In der Diskussion zu diesen Punkten muss man sich daran erinnern, das der Begriff Rettungsweg auch den Inhalt von „Angriffsweg der oder für die Feuerwehr“ subsumiert. In diesem Sinn müssen die Regelungen interpretiert werden. Damit sind auch diese Maßnahmen dem Schutzziel zur Sicherung der Aufgaben der Feuerwehr zuzuordnen. An einer Klarstellung in Abstellung auf eine neu zu treffende Wortwahl wird zurzeit gearbeitet.

Im Übrigen sei erwähnt, dass lediglich in Ziffer 3.2 M SchulBauR der Ausdruck „Rauchabzugsanlage“ im Text der Richtlinie enthalten ist, in § 7 Abs. 1 MVStättV „lediglich“ dahingehend, dass die Erleichterung abgestellt wird auf „die lichte Höhe der zu entrauchenden Ebene“. Eine definitive Schutzzielzuordnung ist damit nicht getroffen; die Klarstellung erfolgte nunmehr durch [12], siehe oben.

Bei einer Abstellung der Personensicherheit auf Grenzwerte für Personen zur Erträglichkeit von Wärmestrahlung und Konvektion in [kW/m²], auf toxische Konzentrationen von CO, CO_2 und HCN in Rauchgasen bzw. Rauchgasschichten in [Vol. %] oder in (ppm = part per Million = 1 cm³ pro m³] für Personen und/ oder auf „Erkennungsweiten“ in [m] bestimmt aus der optischen Dichte D_L oder

dem so genannten Extinktionskoeffizienten K, wie in Kapitel 8 von [4] vorgenommen, wird die für die Praxis relevante bauordnungsrechtliche Bezugsbasis völlig verlassen, soweit unter Personen die Nutzer eines Gebäudes oder einer baulichen Anlage verstanden werden. Solche Ansätze sind denkbar in Abstellung auf die Sicherheit von Rettungsmannschaften. Bezieht man dies jedoch auf die Feuerwehr, so sind auf Grund deren Ausrüstung und Erfahrung dann wohl andere Grenzwerte zu den o.g. Parametern zu postulieren. Ebenso wäre das Kapitel 5.4 in [4] von einer Fiktion auf eine akzeptable Basis unter Einbeziehung u.a. der Hinweise nach [15] zu stellen. Dies gilt insbesondere, soweit es sich um Modelle in geometrisch verkleinerten Maßstab handelt und/oder die tatsächliche Energiefreisetzungsrate unbeachtlich bleibt.

In [15] wird ausführlich abgeleitet, dass die physikalischen Vorgänge bei einem Brand unmöglich durch eine einzige dimensionslose Kennzahl repräsentiert werden können. Insofern sind in [15] und [17] bzw. [18][19] Aussagen zur Modellbildung in verkleinerten Maßstab *nicht* Gegenstand zur Thematik „Grundlagen zu den Ingenieurmethoden im Brandschutz.

Ferner wird an dieser Stelle ausdrücklich kritisch und bedauernd vermerkt, dass auch in [4] die Personensicherheit und „eine Personenstromanalyse“ zur Entfluchtung/ Evakuierung erst in den Kapiteln 8 und 9 behandelt werden. Gleichwohl gerade diese Punkte von primärer Bedeutung auch aus bauordnungsrechtlicher Sicht sind. Hierzu kann man jedoch erwidern, dass auch in der MBO (respektive damit in den Landesbauordnungen) zunächst in §§ 26 bis 32 die Bauteilanforderungen „behandelt“ werden und anschließend mit § 33 bis 37 erst die „Rettungswegführung“. Soweit es zur Novellierung der MBO in einem weiteren Schritt oder des Leitfadens [4] kommt, sollte diese Reihenfolge jeweils vertauscht werden. Damit würde es mit Sicherheit auch leichter, dem hier in Rede stehenden Problemkreis von Rauchableitung und Rauchfreihaltung den jeweils gebührenden Platz als Maßnahme zum Schutzziel entsprechend klarstellend zuzuordnen.

Die Fälle von *Anlagen* (Geräten) zur Rauchableitung (und im Realfall mit Bauprodukten nach DIN EN 12101-2:2003-06 bzw. nach DIN EN 12101-3:2002-06, vgl. Bauregelliste B Teil 1 – Ausgabe 2009/1 – lfd. Nr. 1.17.1 und lfd. Nr. 1.17.2) sind – wie bereits festgestellt – strikt zu trennen von Anlagen zur Rauchfreihaltung (z.B. solche als Differenzdrucksysteme nach DIN EN 12101-6:2005-09; vgl. BRL B Teil 1 lfd. Nr. 1.17.4).

Maßnahmen *zur Rauchfreihaltung* und damit in Abstellung auf das Schutzziel zur Sicherung von Flucht bzw. der Evakuierung und/ oder Fremdrettung werden bauordnungsrechtlich gefordert bei:

- Innenliegenden Sicherheitstreppenräumen
  (vgl. Ziffer 4.2 und insbesondere Ziffer 4.2.8 in Verbindung mit Ziffer 6.2 MHHR [20] und der Schutzzielvorgabe nach § 33 Abs. 2 Satz 3 MBO [1] bzw. Ziffer 6.2.1 MHHR)

- Feuerwehraufzügen und zugeordneten Vorräumen
  (vgl. Ziffer 6.1.1.3 und Ziffer 6.1.1.4 MHHR [20] in Verbindung mit Ziffer 6.2 MHHR)

Solche Anlagen (so genannte „Differenzdruckanlagen“, die in [20] mit „Druckbelüftungsanlagen“ bezeichnet werden) müssen so bemessen werden, dass Luft auch bei im Brandfall geöffneten Türen zu dem vom Brand betroffenen Geschoss strömt, so dass gesichert kein Rauch in innenliegende Sicherheitstreppenräume und zugeordnete Vorräume eindringen kann. Analoges gilt für Feuerwehraufzugsschächte und zugeordnete Vorräume. In welchem Umfang die derzeitige Norm DIN EN 12101-1: 2005-06 als allgemeine anerkannte Regel der Technik zur Bemessung einer solchen Anlage herangezogen werden kann, erscheint im Einzelfall strittig. Gleichwohl können aus der Norm wohl die wesentlichen Grundlagen bei kritischer Interpretation der einzelnen Aussagen gewonnen werden. Ferner wäre nach BRL B 1 Teil 1 lfd. Nr. 1.17.4 auch in Deutschland ein Differenzdrucksystem als Bausatz mit einer CE-Kennzeichnung zu versehen! Da mit der CE-Kennzeichnung auch die Leistungsmerkmale nach der Norm deklariert werden müssen, kann zumindest ein Fachplaner darauf aufbauend seine Planungen vornehmen. Wünschenswert wäre jedoch gerade hier das Erfordernis zur Vorlage eines zusätzlichen Verwendbarkeitsnachweises nach § 21 Abs. 1 Satz 1 MBO.

ZU DEM PROBLEMKREIS „WIRKSAME LÖSCHARBEITEN ERMÖGLICHEN“

In Abschnitt II aus [12] wird unmissverständlich festgestellt:

Durch die zu gewährleistende Standsicherheit eines Gebäudes im Brandfall, die wehr, die Schaffung von Brandabschnitten, Brandbekämpfungsabschnitten/ Geschossen und Nutzungseinheiten sowie der Zuordnung eines Gebäudes mit Zufahrten/ Zugänge/ Aufstell- und Bewegungsflächen für die Feuerwehr auf einem Grundstück wird nach Bauordnungsrecht in Verbindung mit der Bereitstellung einer ausreichenden Löschmittelmenge eine wirksame Löscharbeit aus grundsätzlicher Sicht ermöglicht.

„Müssen aufgrund der Brandentwicklung … einzelne brandschutztechnisch abgetrennte Bereiche … oder das Gebäude aufgegeben werden, handelt es sich gleichwohl im bauordnungsrechtlichen Sinn um wirksame Löscharbeiten. Das bauordnungsrechtlich in bestimmten Fällen Öffnungen zur Rauchableitung oder Rauchabzugsanlagen verlangt werden, trägt der Erfahrung Rechnung, dass solche Öffnungen oder Anlagen – selbst wenn keine quantifizierten Größen dazu vorgegeben sind – die Feuerwehr bei ihrer Arbeit unterstützen.“

BEABSICHTIGTE NEUREGELUNGEN ZUR RAUCHABLEITUNG

Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL)

Im Zusammenhang mit der Überarbeitung der M IndBauRL [21] in Anpassung an die gleichzeitig in Überarbeitung befindliche Fassung der DIN 18230-1 [22] ist auch geplant, Ziffer 5.6 (Rauchableitung) in der M IndBauRL [21] zu überarbeiten. In Ziffer 5.6.2.1 [21] wurde seinerzeit auf das Erfordernis zu einer raucharmen Schicht von mindestens 2,5 m Höhe in der Hoffnung abgestellt, dass der Duktus durch DIN 18232-2 [23][*)] aufgenommen würde. Da dies nicht erfolgt ist, wird nunmehr „zwangsweise“ für größere Räume ein Bezug auf eine zur Schutzzielvorgabe „Sicherung der Brandbekämpfung“ vorgegebene Bemessungsregel abgestellt.

Aus der Erkenntnis heraus, dass im Bereich üblicher Brandleistungen ($\dot{Q}$ = 1,0 … 8 MW) die daraus resultierende Rauchentwicklung ($\dot{m}_{pl}$ in kg/s) einerseits erheblich zunimmt, andererseits jedoch auch die Rauchgasschicht zunehmend erwärmt wird, so dass infolge zunehmenden thermischen Auftriebes die Rauchgase beschleunigt entweichen (soweit in allen Fällen entsprechende Zuluftöffnungen vorhanden sind) und dies damit dazu führt, dass in Abstellung auf das Schutzziel der Sicherung der Brandbekämpfung und damit gleichbedeutend mit einer relativ gering nötig großen und konstanten raucharmen Schicht die nötige aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche (A_w) auch in üblicherweise relativ großen Räumen der Industrie nur relativ geringen „Schwankungen“ bzw. eines nur relativ geringen Zuwachses trotz der genannten Einflussgrößen unterworfen ist (siehe hierzu vergleichsweise auch Bild 1 in [15]), ergeben sich Rauchabzugsflächen in Zuordnung zu solch einen (quasi kontrollierten) Brand in der Größenordnung einer erforderlich aerodynamisch wirksamen Fläche A_w von 4,0 bis 6,0 m².

Die Anforderung erf A_W = 4 … 6 m² in Abstellung auf eine Bezugsfläche bis 2600 m² basiert auf eigenen Vergleichsrechnungen. Das Ergebnis korrespondiert nicht nur gut mit Bild 1 in [15], sondern auch mit dem Vergleichsrechnungsbeispiel unter 5.5.2.2 in [4] (Halle/Atrium 30 m x 24 m x 26,3 m; $\dot{Q}$ = 1,3 MW; A_{zu} = 3,2 m²) und dem „Standardbeispiel“ unter 5.8.1 in [17] (Industriehalle 30 m x 40 m x 10 m; $\dot{Q}$ = 1,5 MW; A_{zu} = 4 x 4 m² = 16 m²; erf A_W = 2,8 m²).

In sehr großen Räumen (Grundfläche A > 1600 … 2000 m² und ggf. insbesondere auch in solchen geringer lichter Höhe H von weniger als 6 m) soll nun andererseits der entstehende Rauch im Raum selbst nicht verschleppt werden. Insofern ist die „Grundregel“ zur Erzielung von „erf A_w = 4 … 6 m²“ zu überlagern (zu „Superpositionieren“) mit dem Erfordernis einer möglicht gleichmäßigen Verteilung der Rauchabzugsflächen im Raum im Falle der Wahl einer natürlich (thermisch) wirkenden Rauchabzugseinrichtung (NRA).

[*)] Für die „Bauprodukte“ gelten „ohnehin“ die Anforderungen nach DIN EN 12101-2:2003-09; vgl. hierzu BRL B Teil 1, lfd. Nr. 1.17.1

Unter der Erzielung einer hinreichend kleinen Fehlerquote und der Bestimmung einer möglichst einfachen Rechenregel bei höchstmöglicher Beibehaltung der bisherigen Regelungen nach Ziffer 5.6 M IndBauRL als *Grundregel für alle Gebäudekategorien* in Abstellung auf das Schutzziel zur Sicherung der Brandbekämpfung wurde auf der Grundlage eines durch die PG Brandschutz der FK Bauaufsicht erstellten Beschlussvorschlages auf der 271. Sitzung der Fachkommission Bauaufsicht am 16./17. Oktober 2008 folgende Regelung als Grundsatzentscheidung getroffen:

1. *In Räumen mit einer Fläche A von mehr als 200 m² bis 1600 m² gilt die Anforderung, dass eine Rauchableitung zur Unterstützung wirksamer Löscharbeiten vorhanden sein muss, als erfüllt, wenn Wand- und/ oder Deckenöffnungen im oberen Raumdrittel angeordnet werden, deren geometrische Größe insgesamt mindestens 1 % der Fläche des Raumes beträgt. Zuluftflächen in insgesamt gleicher Größe sollten im unteren Raumdrittel vorhanden sein.*
2. *In Räumen mit einer Fläche A von mehr als 1600 m² gilt die Anforderung, dass eine Rauchableitung zur Unterstützung wirksamer Löscharbeiten vorhanden sein muss, als erfüllt, wenn je höchstens 400 m² Fläche A mindestens 1,5 m² aerodynamisch wirksame Fläche A_w im oberen Raumdrittel angeordnet wird. Je 1600 m² Fläche des Raumes sind Auslösegruppen für die Rauchabzugsgeräte zu bilden. Es müssen aerodynamisch wirksame Zuluftflächen im unteren Raumdrittel von mindestens 6 m² vorhanden sein.*
3. *„Zuluftflächen müssen leicht geöffnet werden können.*

Ergänzend sei auf Folgendes verwiesen:

- Für A = 1600 m² würde nach Nr. 2: erf $A_w = \frac{1600\text{m}^2}{400\text{m}^2} . 1{,}5\text{m}^2 = 6\text{m}^2$
- Je nach vorhandenen Ausströmkoeffizienten c (z.B. c = 0,7) ergibt sich in Handhabung der Regel nach Nr. 2) in Abstellung auf Nr. 1.) (bzw. umgekehrt) ein „Unstetigkeitsbereich“, der jedoch in Anpassung an die bisherige Regelung hinnehmbar erscheint!
  (A = 1200 m² → erf $A_{w,1}$ = 0,01 · 1200 · 0,7 = 8,4 m²;
  A = 2200 m² → erf $A_{w,2} = \frac{2200\text{m}^2}{400\text{m}^2} \cdot 1{,}5\ \text{m}^2 = 8{,}25\ \text{m}^2$)
- Als Zuluftflächen verstehen sich insbesondere solche Türen und Tore, die von außen (!) leicht geöffnet werden können <u>und</u> eine Feststelleinrichtung (z.B. einen „Sturmhaken“) besitzen (nicht autorisierte Ergänzung!).
- Von den vorstehenden Regelungen kann mit sofortiger Wirkung Gebrauch gemacht werden. Dies bedeutet auch, dass für Räume ≤ 200 m² Fläche in Abstellung auf die Sicherung zur Brandbekämpfung im Regelfall es keiner besonderen Einrichtung zur Rauchableitung bedarf, soweit dies nicht ausdrücklich in einer technischen Bestimmung expressis verbis verlangt wird

(z.B. für Lüftungszentralen nach Ziffer 6.4.4 M LüAR, soweit die Lüftungsleitungen in solchen Lüftungszentralen aus schwerentflammbaren Baustoffen bestehen).

Muster – Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen (MSchulbauR)

Auf der 274. Sitzung der Fachkommission Bauaufsicht am 16./ 17. April 2009 in Wiesbaden wurde in Anpassung der MSchulbauR an die MBO [4] die Muster-Schulbau-Richtlinie in der Fassung April 2009 beschlossen (Anmerkung: Nach Notifizierung erfolgt die Einstellung ins Internet unter www.is-argebau.de). Unter Ziffer 3.2 dieser Fassung wird wie bisher die Aussage getroffen, dass einer der mindestens zwei erforderlichen Rettungswege durch eine Halle führen darf, soweit die Halle nicht als Raum zwischen einem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie dient.

Bezogen auf die geforderte Rauchableitung aus solchen Hallen in Abstellung auf das hier in der Abhandlung in Rede stehende Schutzziel wird nunmehr unter Ziffer 6 der o.g. Fassung vom April 2009 klargestellt:

MSchulbauR – Fassung April 2009:

„6 Rauchableitung

Hallen müssen zur Unterstützung der Brandbekämpfung entraucht werden können. Dies gilt als erfüllt, wenn sie entweder an der höchsten Stelle Rauchableitungsöffnungen mit einer freien Öffnungsfläche von insgesamt 1 Prozent der Grundfläche oder im oberen Drittel der Außenwände Fenster oder Türen mit einer freien Öffnungsfläche von insgesamt 2 Prozent der Grundfläche haben.“

FAZIT

Mit den relativ einfach handhabbaren Regelungen zur Rauchableitung gemäß den Beschlüssen der Fachkommission Bauaufsicht zur MIndBauRL und zur MSchulbauR dürfte nun auch dem Anspruch nach [25] gerecht geworden sein, eine Nachweisführung ohne Aufwand durch eine bauvorlageberechtigten Entwurfsverfasser (oder im „Gegenzug“ durch die Bauaufsichtsbehörde) führen zu können.

Bezüglich des häufig aufgestellten „Gegenargumentes“ (siehe vergleichsweise [26]), wie Rettungswege gemäß § 33 Abs. 1 MBO über einen gemeinsamen notwendigen Flur führen dürfen, gleichwohl dann die Rettungswege gegenüber dem Eindringen von Rauch und Feuer doch nicht sicher sind und eben im Fall dieser Abstellung gleich zwei an sich von einander unabhängige Wege betroffen sein können, sei angemerkt: Nach § 30 Abs. 3 MBO sind entsprechende Rauchabschnitte zu bilden, so dass die Weglänge maximal 15 m beträgt. Es sei eingeräumt, dass diese Regelung derzeitig eine der Schwachstellen bzgl. der bauordnungsrechtlichen Anforderungen darstellt, die in ihrer Tragweite das der-

zeitig akzeptierte Sicherheitsniveau wesentlich bestimmt. Mit Sicherheit ist dieses Niveau nicht hinnehmbar, soweit eine erheblich große Anzahl von Personen zur Selbstrettung darauf angewiesen ist. Für größere Personenströme ist die Regelung wohl nur im Fall des Vorhandenseins eines weiteren baulich völlig unabhängigen Rettungsweges akzeptabel. In der Praxis werden solche Fälle von Sonderbauten für größere Personenansammlungen in der Regel intuitiv richtig behandelt, gleichwohl bedürfte es einer Grenzwertbestimmung, oberhalb der auch tatsächliche baulich unabhängige Evakuierungswege auszubilden sind. Mit der Regelung nach § 6 Abs. 3 der Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättV) [27] und dgl. in Ziffer 3.2 der Muster-Schulbau-Richtlinie (SchulbauR) [24] wird dem bereits derzeitig in Abstellung auf „Rettungswege durch Hallen“ Rechnung getragen.

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von den Begriffsinhalten von „Rauchfreihaltung“ und „Rauchableitung“ in ihrer jeweiligen Abstellung auf Räume (und nicht auf virtuelle, ingenieurmäßig gedachte „Räume“ oder „Zonen“) wurde versucht klarzustellen, dass auch aus logischer Sicht eine Rauchableitung „nur“ primär im Regelfall dem Schutzziel zur Sicherung der Brandbekämpfung zugeordnet werden kann.

Aufbauend auf diesen Grundsatz werden die damit im Zusammenhang stehenden Klarstellungen vorgestellt, die seitens der Fachkommission Bauaufsicht im Zuge der Anpassung einzelner Mustervorschriften beschlossen worden sind.

Die Notwendigkeit zur Sicherung von Fluchtwegen kann nur im Zusammenhang mit einer rechnerischen Nachweisführung zur Evakuierung in Abstellung auf größere Personenströme zur Vermeidung von Stau und Panik diskutiert werden.

LITERATUR

[1] Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002, zuletzt geändert im Oktober 2008 (www.is-argebau.de).

[2] Mehl, F.: Bauordnungsrechtliche Schutzziele des vorbeugenden baulichen Brandschutzes. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ’07, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 199, Braunschweig 2007, ISBN-978-3-89288-181-0.

[3] Mehl, F.: Richtlinien für die Erstellung und Prüfung von Brandschutzkonzepten. In: Praxisseminar 2004 - Brandschutz bei Sonderbauten, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 178, Braunschweig 2004, ISBN-978-3-89288-159-6.

[4] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009; Altenberge/ Braunschweig: Vereini-

gung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), 2009

[5] Schneider, U.; Oswald, M.; Max, U.: Grundlagen für die Dimensionierung der Rauchableitung
Teil 1 in VFDB-Zeitschrift Heft 3/ 2001, S. 105 bis 110
Teil 2 in VFDB-Zeitschrift Heft 4/ 2001, S. 155 bis 164.

[6] Detzer, R.; Lehnhäuser, F.; Klingsch, W.: Rauchausbreitung in Räumen während der Initialbrandphase; vfdb-Zeitschrift Heft 3/ 2004, S. 149 bis 154.

[7] Winkler, T.: Ingenieurverfahren zur Rauchableitung. vfdb-Zeitschrift Heft 4/2007, S. 189 bis 197.

[8] Fachbeiträge in der Monographie des Fachverbandes Tageslicht und Rauchschutz e.V. (FVTR), Ausgabe Nr. 26/2009.

[9] Detzer, R.; Motzke, G.: Zweifel am Baurecht; Deutsches Ingenieurblatt (DiB), DiB-Spezial, Heft 1/ 2005.

[10] Schaumann, P.: Nullrisiko gibt es nicht. Deutsches Ingenieurblatt (DiB), DiB-Spezial, Heft 1/ 2005.

[11] Gerhardt, H. J.; Schönwald, J.; Kunath, B.: Verwendung von Leichtgas bei Brandsimulationen – unzulässig oder sinnvoll? VFDB-Zeitschrift, Heft 1/2007, S. 029 bis 031.

[12] Grundsatzpapier der Fachkommission (FK Bauaufsicht) der ARGEBAU (Bauministerkonferenz) „Grundsätze zur Auslegung des § 14 MBO“, u.a. veröffentlicht in Fachbeitrag:
Famers, G.; Messerer, J.: „Rettung von Personen“ und „Wirksame Löscharbeiten“ – Bauordnungsrechtliche Schutzziele mit Blick auf die Entrauchung; DIBT-Mitteilungen 40 (2009) 1, S. 10 bis 12.

[13] Ziffer 2 „Grundsätze zur Sicherung von Flucht und Rettung von Personen“ in Fachbeitrag:
Mehl, F.: Bautechnische Nachweise zum Brandschutz nach Bauordnungsrecht der Länder. Bauphysik Kalender 2006, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2006.

[14] Hosser, D. et al.: Erarbeitung eines Sicherheitskonzeptes für die brandschutztechnische Bemessung unter Anwendung von Ingenieurmethoden gemäß Eurocode 1 Teil 1-2, Abschlussbericht zum DIBt-Forschungsvorhaben. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Braunschweig November 2008.

[15] Schneider, U.: Seifert, U.: Aspekte der experimentellen Brandmodellierung. vfdb-Zeitschrift (2003), Heft 2, S. 43 bis 58 (Anmerkung: Siehe hier Bild 1.).

[16] Mehl, F.: Bautechnische Nachweise zum Brandschutz nach Bauordnungsrecht der Länder; Fachbeitrag in Bauphysik Kalender 2006, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 2006.

[17] Schneider, U.: Ingenieurmethoden im Brandschutz. Fachbeitrag in Bauphysik Kalender 2006, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 2006.

[18] Fouad, N. A.: Bauphysik Kalender, 6. Jahrgang (2006). Verlag Ernst und Sohn, Berlin 2006.

[19] Schneider, U.: Ingenieurmethoden im Brandschutz; Werner-Verlag, Wolters Kluwer Deutschland GmbH, Köln 2009,
2. Auflage zu Grundlagen der Ingenieurmethoden im Brandschutz, Werner-Verlag, Düsseldorf 2002).

[20] Muster-Hochhaus-Richtlinie (MHHR), Fassung April 2008 (www.is-argebau.de).

[21] Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL), Fassung März 2000 (www.is-argebau.de).

[22] DIN 18230-1: 1998-05, Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer
(zurzeit liegt „Neufassung im Entwurf Juni 2008 als Druckfassung vor).

[23] DIN 18232-2: 2007-11 - Rauch- und Wärmefreihaltung – Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderung und Einbau.

[24] Muster-Schulbau-Richtlinie (MSchulBauR), Fassung Juli 1998 (www.is-argebau.de); Anmerkung: Es erscheint demnächst Neufassung!

[25] Rübel, J.: Aktuelle Brandschutzthemen aus dem Bauordnungsrecht; Fachbeitrag veröffentlicht in: Monographie/ Tagungsband zur Brandschutz-Tagung 2008 der Ingenieurkammer-Bau NRW, 17. Juni 2008, Düsseldorf.

[26] Stein, J.: Grundsatzpapier Brandschutz der ARGEBAU – Eine Interpretation; Fachbeitrag, veröffentlicht in: Monographie/Tagungsband zur Brandschutz-Tagung 2009 der Ingenieurkammer-Bau NRW, 23. Juni 2009, Düsseldorf.

[27] Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättV), Fassung Juni 2005 (www.is-argebau.de).

[28] DIN EN 1990: 2002-10, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

[29] Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1991-2-2:1997-05.

[30] DIN EN 1991-1-2/NA - Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2/NA: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Entwurf Juni 2009.

ANHANG 1

„BAUORDNUNGSRECHTLICHES BEZUGSGEBÄUDE“ IN NUTZUNG MIT AKZEPTIERTER VERSAGENSWAHRSCHEINLICHKEIT $p_{f,fi} = 1{,}0 \cdot 10^{-5}$

Grundparameter, die sich derzeitig einer ingenieurmäßigen Verifikation noch entziehen und im Regelfall als bauordnungsrechtliche Anforderung ohne Abweichung einzuhalten sind:

- Führung der Rettungswege

  Mindestens zwei voneinander unabhängige bauliche Rettungswege <u>oder</u> für eine Personenzahl ≤ 10 in Abstellung auf brandschutztechnisch abgegrenzte Nutzungseinheiten von nicht mehr als 200 m² (400 m²) Gewährleistung des zweiten erforderlichen Rettungsweges über Rettungsgeräte der Feuerwehr

- Rettungswege

  Weglänge im Standardfall ≤ 35 m (bei Sonderbauten ≤ 25 … 30 m)
  Wegbreite mindestens 1,0 m bzw. mindestens 1,20 m je 200 darauf angewiesene Personen
  oder
  rechnerische Fluchtzeiten (einschl. Verzögerungszeiten infolge Staubildung, jedoch ohne Reaktionszeiten und Verkürzungen durch Alarmierung
  aus Räumen ≤ 2 bis maximal 3 Minuten
  aus Gebäuden ≤ 6 bis maximal 8 Minuten
  in allen Fällen Verzögerungszeiten << 1,0 Minuten

- Bauliche Ausbildung der Rettungswege (notwendige Flure, notwendige Treppenräume) nach § 35 und § 36 MBO, soweit in „Sonderbauvorschriften“ nicht gesonderte Regelungen bestehen.

- Technische Gebäudeausrüstung

  Anforderungen zum Brandschutz nach den bauaufsichtlich eingeführten Technischen Baubestimmungen, wie z.B. nach MLAR, M LüAR und Muster-EltBauVO zu den Bauarten und zu den „Bauprodukten“ nach den Bauregellisten (BRL) oder zu sonstigen Bauprodukten“ nach allgemein anerkannten Regeln der Technik in „Handhabung“ von § 17 Abs. 1 Satz 2 und 3 MBO jeweils in Erfüllung der Anforderungen nach §§ 39 bis 46 MBO.

Grundparameter, die zu einer ingenieurmäßigen Verifikation und Kalibrierung derzeitig heranziehbar sind:

- Anzahl der Geschosse: $n = 4$
- Brandabschnittsfläche: $A_{BA} = 1600$ m² (aus 40 m x 40 m Brandwandabst.)
- Fläche A je Geschoss: $A_i = 1600$ m²
- Brandbelastung: $q_R = 300$ bis 450 kWh/m²
  (Verfahrensrechtlich formal dürfte q_R unbegrenzt sein; in Hinblick auf einen

Normbrand nach DIN 4102-2 und praktisch vorkommende Lüftungsverhältnisse „gilt“ $q_R \leq 450$ kWh/m²)

- Auftretenswahrscheinlichkeit eines gefährlichen Brandes: $p_0 = 10^{-6}/m^2 \cdot a$
- Brandschutztechnische Infrastruktur entsprechend den gesetzlichen Vorgaben in Verbindung mit dem zugeordneten technischen Regelwerk (z.B. DVGW – Arbeitsblatt W 405) summarisch erfasst durch $p = p_1 \cdot p_2$ mit $p_1 = 1{,}0 \cdot 10^{-1}$ als Ausdruck für das Vorhandensein der öffentlichen Feuerwehr und der damit verbundenen Sicherheit, dass sich lediglich in dieser Größenordnung von 1 : 10 ein Brand zu einem Brand mit einem möglicherweise erheblichen Schadensereignis, wie z.B. dem Verlust von mehreren Menschenleben, entwickeln könnte.

Anmerkungen:

Es wird ersichtlich, dass die „ersten Grundparameter“ im Rahmen eines Brandschutznachweises im Regelfall nicht verhandelbar sind. Die zweite Kategorie der Grundparameter kann bei Beibehaltung des Sicherheitsniveaus von zul $p_f = 1{,}0 \cdot 10^{-5}$ ingenieurmäßig dazu genutzt werden, auf Einzelfälle der Anwendung zu schließen, z.B. in der Art, dass bei nachgewiesener geringer Brandbelastung oder verbesserter brandschutztechnischer Infrastruktur größere Brandbekämpfungsabschnittsflächen zulässig sind (siehe hierzu M IndBauR).

In [4] Tabelle A2.3 (vfdb-Leitfaden) wird $p_f = 1{,}3 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr in Abstellung auf die Schadensfolgeklasse CC2 (nach DIN EN 1990: 2002-10 [28] zum Standardfall (Wohngebäude, Bürogebäude) der Tragwerksbemessung infolge ständiger bzw. vorübergehender Einwirkungen ausgewiesen. Für die außergewöhnliche Bemessungssituation „Brand“ (als außergewöhnliche bzw. seltene Einwirkungssituation) erscheint dann eine Abstellung auf $p_f = p_{f,fi} = 1{,}0 \cdot 10^{-5}$ als Gesamtversagenswahrscheinlichkeit zum System der Brandschutzmaßnahmen in Zuordnung zu Standardbau (Wohngebäude, Bürogebäude) für angemessen; daraus abgeleitet ergibt sich im System nach DIN EN 1990: 2002-10) folgerichtig für Sonderbauten mit größeren Personenansammlungen und zugeordneter Schadensfolgeklasse CC3 ein Wert in der Größenordnung von $p_f = p_{f,fi} = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ (siehe hierzu auch Tabelle BB.5 in [29].

Ferner wird für die im vorangegangenen Fachbeitrag in Rede stehenden Diskussion zur *Rauchableitung* aus Räumen ersichtlich, dass dieselbe „nur“ der brandschutztechnischen Infrastruktur bzw. eben der Feuerwehr semiprobabilistisch zuordenbar ist. Eine Zuordnung zu den „verhandelbaren Grundparametern“ ist derzeitig nur argumentativ möglich. Gleichwohl wird dem Nutzen dbzgl. Maßnahmen hier schon auch aus dem Grund nicht gänzlich widersprochen, da Erfahrungen schlussendlich nur über Einzelfallgestattungen gewonnen werden können. Eine allgemeine Freigabe solcher Methoden zur Anwendung wird es in Analogie zur Nachweisstufe 3 nach [29] zur Bemessung von Bauteilen in Abstellung auf Realbrandmodelle als Beanspruchung wohl jedoch erst in einer Reihe von Jahren geben. Solche Methoden bedürfen „nach wie vor“ der Zustimmung der Bauaufsichtsbehörden und im „Vorfeld“ der Absprache mit derselben, soweit ein Verfahren nicht validiert ist [30].

SITZUNG 3

BRANDSCHUTZKONZEPTE

AN BEISPIELEN

Sitzungsleitung: J.Wesche, Leverkusen

KALIBRIERTE RAUCHVERSUCHE ZUR REALISTISCHEN PRÜFUNG VON ENTRAUCHUNGSKONZEPTEN

Udo Kirchner
Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner, Erkelenz

EINLEITUNG

Brandschutzkonzepte für komplexe Sonderbauten basieren häufig auf differenzierten Maßnahmen für den Rauch- und Wärmeabzug, die objektspezifisch für die jeweilige Gebäudegeometrie und maßgebenden Brandszenarien in Anwendung von Computer-Simulationsverfahren entwickelt werden. Insbesondere wenn diese Entrauchungsmaßnahmen über das Schutzziel der „Durchführung wirksamer Löschmaßnahmen“ hinausgehend, auch das Schutzziel „Sicherstellung der Flucht- und Rettungswege“ betreffen, müssen an die Qualität und Zuverlässigkeit der Planung, aber auch der dementsprechenden baulichen Umsetzung höchste Anforderungen gestellt werden. Die zumeist mit solchen Sonderlösungen zum Rauch- und Wärmeabzug beanspruchten Abweichungen können verantwortlich nur dann gewährt werden, wenn die durch die Maßnahmen prognostizierte Wirkung auch tatsächlich (und nachweisbar) erwartet werden kann.

Dieses erfordert eine realistische Prüfung des Entrauchungskonzeptes. Dabei kommt es darauf an, dass die Prüfbedingungen den Ansätzen der rechnerischen Simulation entsprechen, um auch die Ergebnisse des Prüfversuches qualitativ wie quantitativ mit den entsprechenden Berechnungen abgleichen zu können. In diesem Sinne standen geeignete Prüfeinrichtungen in der bisherigen Praxis nicht bzw. nicht mit wirtschaftlichem Aufwand zur Verfügung oder zeigten Einschränkungen im Einsatzbereich. Es wurde daher die kalibrierte Prüfapparatur „Smoke 3“ entwickelt, über welche im folgenden Beitrag berichtet wird.

GRUNDLAGEN, HISTORISCHE ENWICKLUNG

Die Erkenntnis, dass Nebelgeneratoren allein keine geeignete Einrichtung zur Prüfung von Maßnahmen der Rauchableitung darstellt, darf schon seit Ende der 80er Jahre als Stand der Technik beschrieben werden. Eine gewisse Strukturierung erfolgte mit dem Leitfaden der vfdb [1] „Grundsätze für Rauchversuche in Gebäuden“, welcher Einsatzgebiete und Aussagemöglichkeiten in folgenden Stufen definiert:

Stufe 1: Allgemeine Wertung des Strömungsverhaltens im Gebäude und Zusammenwirken der Komponenten der Rauchschutzanlage;

Stufe 2: Qualitative Beurteilung zur Wirkungsweise natürlicher Rauch- und Wärmeabzugsanlagen und Test von maschinellen Rauchabzugsanlagen;

Stufe 3: Quantitative Untersuchung der Wirksamkeit und experimentellen Überprüfung.

Hiernach geht die Stufe 1 bereits über die Durchführung sogenannter „Kaltrauch-Versuche“ hinaus, welche ausschließlich mit Nebelgeneratoren arbeiten.

Auch bei der Verwendung von erwärmter Luft als simulierte Brandquelle muss sich der Auftriebsstrahl ähnlich einem durch Konvektion entstehenden Luftstrahl verhalten, d. h. er darf nicht durch einen zusätzlichen Strömungsimpuls beeinflusst, sondern muss „voll ausgebildet turbulent“ sein. Zur Vermeidung von Fehlinterpretationen ist zu gewährleisten, dass die Rauchgase allein durch den thermischen Auftrieb zur Decke aufsteigen. Dies kann allerdings, insbesondere für den Fall einer Temperaturschichtung, beeinträchtigt werden, wenn die mit der Höhe ansteigende Umgebungstemperatur die Auftriebskräfte des Thermikstrahls egalisiert. Die Literatur definiert die sogenannte Equilibriums-höhe z_E als Koordinate, ab der die Temperaturdifferenz zwischen Auftriebs-strahl und Umgebung aufgehoben ist.

Diese Höhe ermittelt sich nach der Gleichung:

$$z_E = 0{,}74\, Q_{konv}^{0{,}25} \left(\frac{\Delta T}{Y_{eff}} \right)^{-0{,}375}$$

Dabei ist:

z_E Equilibriumshöhe in Meter

Q_{konv} konvektive Wärmefreisetzungsrate in kW

Y_{eff} Höhendifferenz Brandfläche zur Unterkante Decke (Aufstiegshöhe) in m

ΔT Temperaturdifferenz zwischen boden- und deckennahen Bereichen in K

Die vorstehende Gleichung veranschaulicht eine Proportionalität zwischen der konvektiven Wärmefreisetzungsrate Q_{konv} und der Equilibriumshöhe z_E und bestätigt dadurch, dass die Gefahr der beschriebenen Effekte sinkt, je größer die Wärmefreisetzung der Versuchsapparatur ist.

Der Einfluss der Höhendifferenz Y_{eff} zeigt aber auch den Einfluss der Gebäudegeometrie auf die Auswahl einer geeigneten Prüfapparatur. Hieraus folgt schließlich, dass Prüfapparaturen, die für eine kleine Raumgeometrie geeignet sein können, in ausgedehnten Geometrien, wie z.B. Atrien, nur bedingt aussagefähig sind. Insoweit ist also auch eine Verknüpfung zwischen Fragestellung und Auswahl der Prüfapparatur zu berücksichtigen.

Erste, auch reproduzierbare Versuche wurden mit großflächigen Wärmestrahlern durchgeführt, die kraftstoffbefeuert wurden und somit eine Abgabe von jeweils ca. 15 KW ermöglichten. In die hier aufsteigende Strömung wurde

Nebelfluid eingeblasen. Beispielhaft wird in (Bild 1) ein derartiger Versuchsaufbau gezeigt, welcher vom Unterzeichnerbüro durch die Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe einer Kalibrierungsmessung unterzogen wurde.

Bild 1 Großflächenstrahler

Bei einem Brennerachsabstand von 1 m konnten Maximaltemperaturen in 2 m Höhe von 100°C ermittelt werden. Die Geschwindigkeiten betrugen in 2 m Höhe etwa 2,4 m/s und in 6 m Höhe etwa 1,8 m/s.

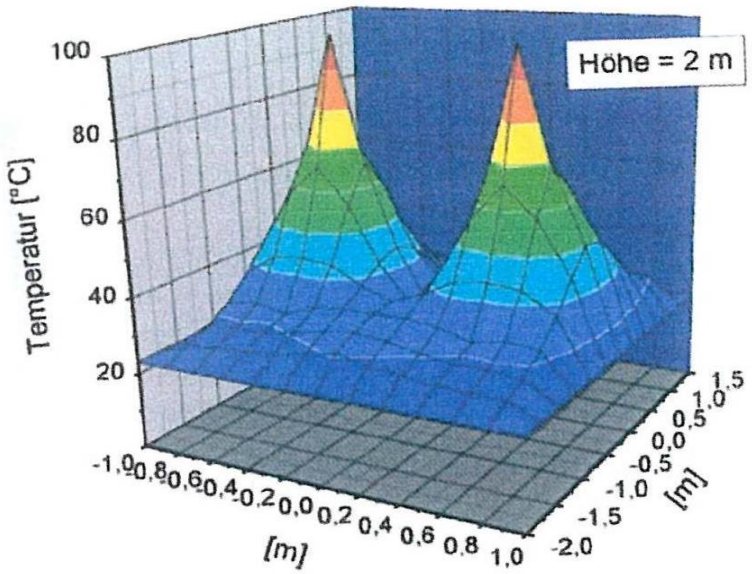


Bild 2 Flächenverteilung der Temperatur bei zwei Brennern in Höhen 2 m

Von Levin [2] wurde in 1993 eine Prüfeinrichtung entwickelt, welche aus einem doppelschaligen Rohrsystem besteht, um mit einem Flüssigbrennstoff ein geeignetes Nebelfluid zu erwärmen. (Bild 3)

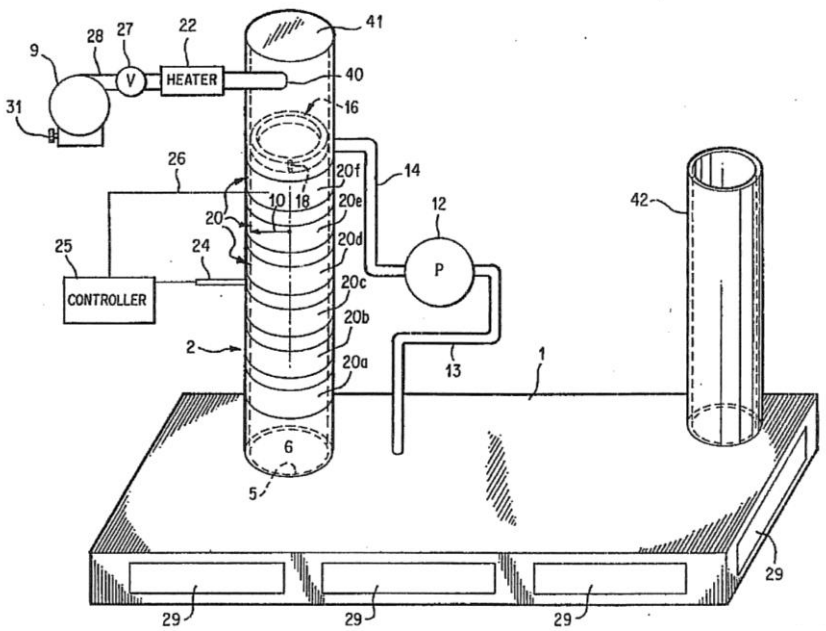
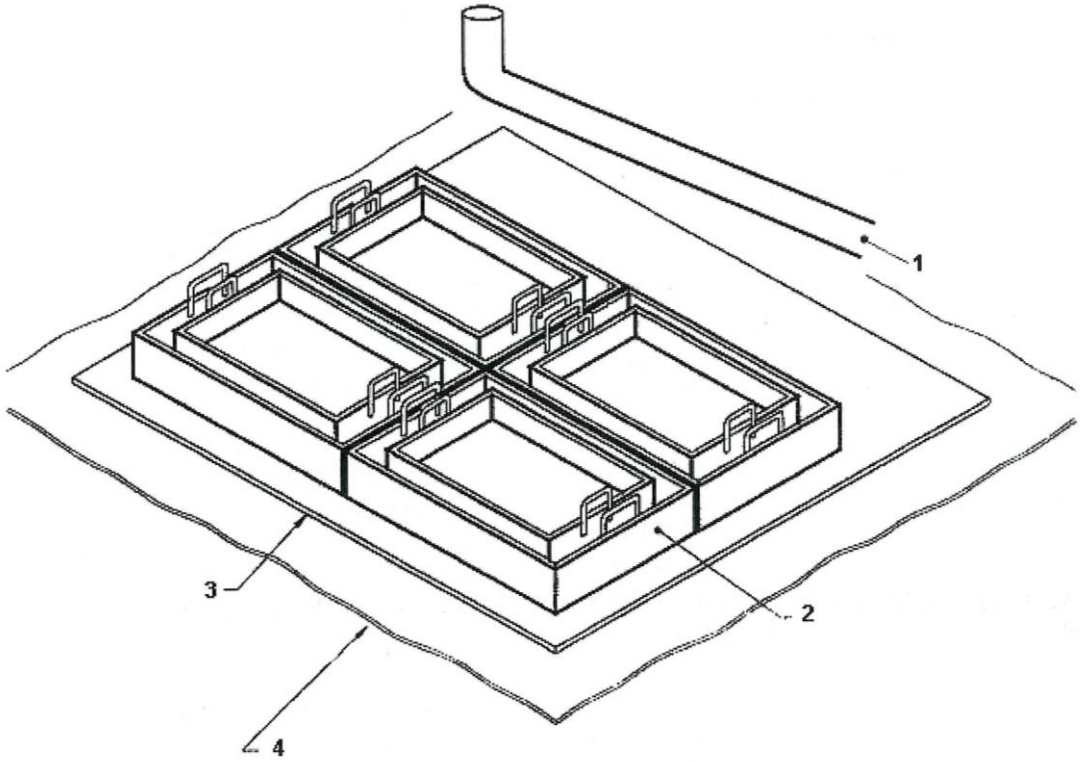


Bild 3 Prüfeinrichtung nach Levin 1993

Größere Wärmefreisetzungen werden z.B. mit der Versuchsanordnung gemäß der australischen Norm AS 4391-1999 erreicht. Hier ist ein Verfahren mit der Verwendung von Brandwannen als Simulationsquelle beschrieben, welche die Freisetzung einer relativ hohen, zeitlich konstanten Wärmeleistung ermöglichen. Zur quantitativen Bewertung wird wiederum die örtliche Temperaturverteilung im Gebäude festgestellt. Dabei handelt es sich um Brandwannen aus Metall, in denen eine russarme Verbrennungen eines Alkohol (vergälltes Ethanol, 96 Vol%) erfolgt.

Die Größe der Brandwannen und der sog. Wasserwannen, in welche diese aufgestellt sind, sowie die Brennstoffmenge sind normiert, so dass sich definierte Wärmefreisetzungsraten ergeben. Die Versuchsanordnung ist in (Bild 4) gezeigt, welche auch die in die aufsteigende Heißgasströmung eingebrachte Nebelzugabe veranschaulicht.



1 Nebelzugabe
2 Wannenanordnung
3 wasserfeste Unterlage (bei Bedarf)
4 Gipskarton

Bild 4 Versuchsanordnung gemäß AS 4391-1999

Auch mit der Kopplung einer größeren Anzahl von Flüssigkeitsbrennern stehen Prüfapparaturen für eine größere Wärmefreisetzung zur Verfügung. Mit der in (Bild 6) gezeigten Anordnung kann die Simulation von Wärmefreisetzungsraten entsprechend einem vorgegebenen zeitlichen Ablauf in einer Stufenfunktion variiert werden. Durch zusätzliches Regeln der einzelnen Brenner lässt sich dieser Verlauf nahezu stufenlos nachbilden. Um das Durchschlagen der Brennerflamme in größere Höhen zu vermeiden und eine auf die Brandfläche bezogenen gleichmäßige Wärmefreisetzungsrate sicherzustellen, ist über dem Brennerfeld eine Prallplatte mit seitlicher Abströmung eingesetzt. (Bild 5) Die Beimischung des Nebelfluids erfolgt in größerer Höhe über dem Brandherd.

Bereits die obigen kurzen Beschreibungen lassen erahnen, wie die Durch-führung entsprechender Prüfversuche doch mit einem deutlichen Aufwand für die Vorbereitung und auch die Verbrauchsmaterialien verbunden ist.

Für die Anwendung kleinerer Raumgeometrien wurde eine Prüfeinrichtung entwickelt, die mit einem Gasbrenner arbeitet, der durch einen Ventilator in ein Rohrsystem beförderte Luft erwärmt und über eine Prallplatte austreten lässt. Es handelt sich dabei um eine recht kompakte Anlage, die es ebenso ermöglicht, verschiedene Stützstellen zu definieren und auf diese Weise bereits den Abgleich mit Computer-Brandsimulationen ermöglicht.

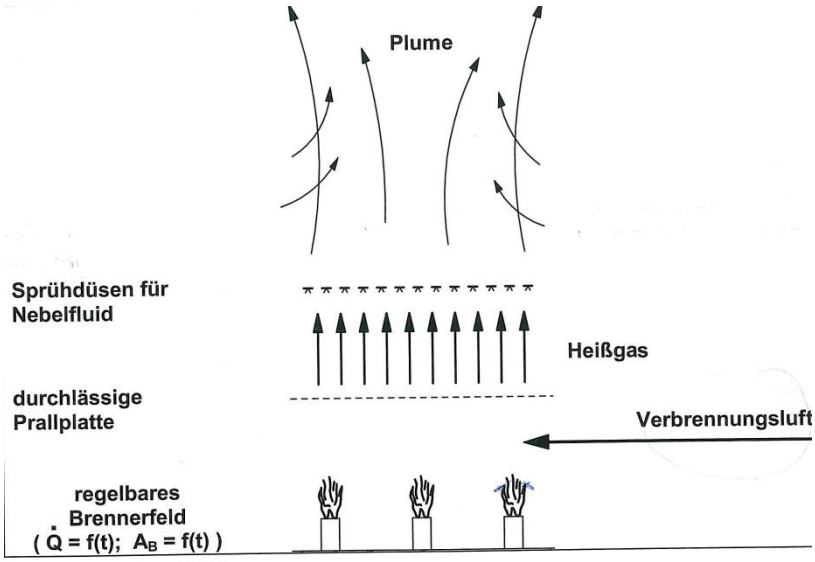


Bild 5 Brennerfeld mit Prallplatte und seitlichen Abströmflächen

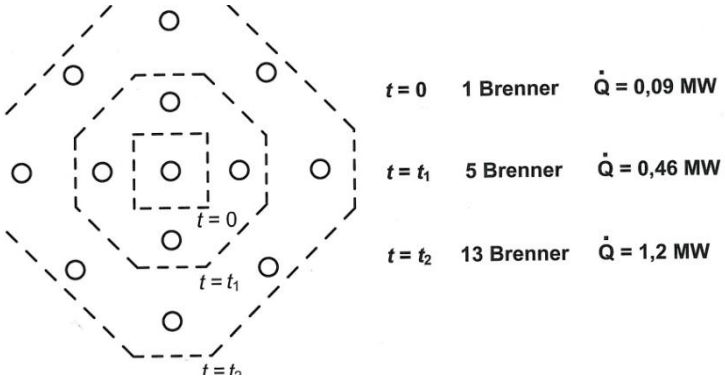


Bild 6 Brenneranordnung zur Simulation unterschiedlicher Wärmefreisetzungsraten

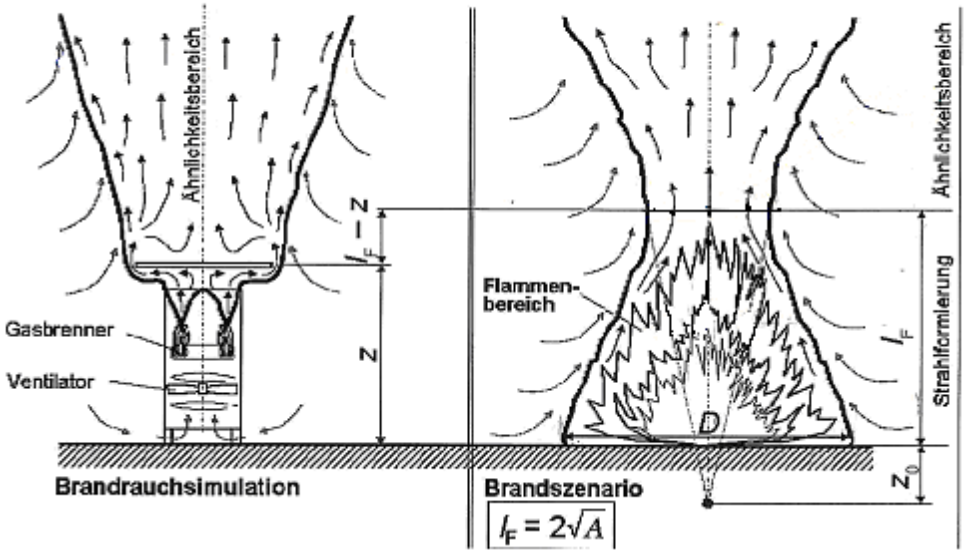


Bild 7 Brandsimulation und Brandszenario nach VDI 6019

Die Darstellung (Bild 7) verdeutlicht, dass etwas oberhalb des Geräteaustritts der strömungstechnisch relevante Ähnlichkeitsbereich entsteht, während der Energieübertrag im unteren Strahlungsformierungsbereich erfolgt.

DIE PRÜFAPPARATUR SMOKE 3

Der Begriff „Smoke 3“ entstammt zum Einen dem Arbeitstitel eines gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsprojekt der drei beteiligten Brandschutz-Ingenieurbüros Corall (Meerbusch), Hagen (Kleve) sowie Halfkann + Kirchner (Erkelenz) mit dem Bau einer leistungsfähigen Prüfeinrichtung für Rauch- und Wärmeabzug. Den Anlass gab die Anfrage eines Landgerichts nach einer entsprechenden Prüfung, welche die Inhaber als öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige zunächst unabhängig voneinander erreichte und seinerzeit von jedem jeweils abgelehnt werden musste. Bald entstand die Idee, in diesem komplexen Thema Kapazitäten zu bündeln und eine derartige Prüfeinrichtung gemeinsam zu entwickeln, die dann wiederum von den Büros autark genutzt werden kann.

„Smoke 3“ steht aber auch für den Bezug auf den Leitfaden der vfdb [1] und bezeichnet die dort höchste Leistungsstufe 3 für die Durchführung entsprechender Rauchversuche.

Die strömungstechnische Optimierung dieser Prüfeinrichtung basiert auf dem Prinzip, dass die Wärmeenergie in den aufwärts gerichteten Strom erst am Ende des Strahlformierungsbereichs eingeleitet wird. Dies ermöglicht einerseits einen direkten Wärmebetrag ohne größere Verluste und andererseits einen voll ausgebildeten turbulenten Luftstrahl ohne erforderliche Prallplatten.

Die Prüfeinrichtung besteht aus drei übereinander angeordneten Ringbrennern, die mit Propangas versorgt werden und auf einem fahrbaren Tragrahmen montiert sind. Jeder dieser Brenner kann für sich alleine oder im Verbund mit anderen Brennern betrieben werden und überdies stufenlos gesteuert werden. In den aufsteigenden Thermikstrom werden Rauchgase mittels senkrecht angeordneter Rohre gezielt eingemischt. Die Raucherzeugungsanlagen sind auf der Grundplatte des Prüfgerätes montiert.

Gegebenenfalls können nochmals größere Wärmefreisetzungsraten durch Ergänzung weiterer Ringbrenner ermöglicht werden.

Die prinzipielle Anordnung ist in nachfolgender Skizze veranschaulicht (Bild 8)

Insgesamt entsteht eine kompakte Prüfapparatur, die sich in Gebäuden für die Durchführung von Brandversuchen verfahren lässt, ohne aufwendige Auf- und Abbauarbeiten vorzunehmen, zugleich aber größere Wärmefreisetzungen ermöglicht.

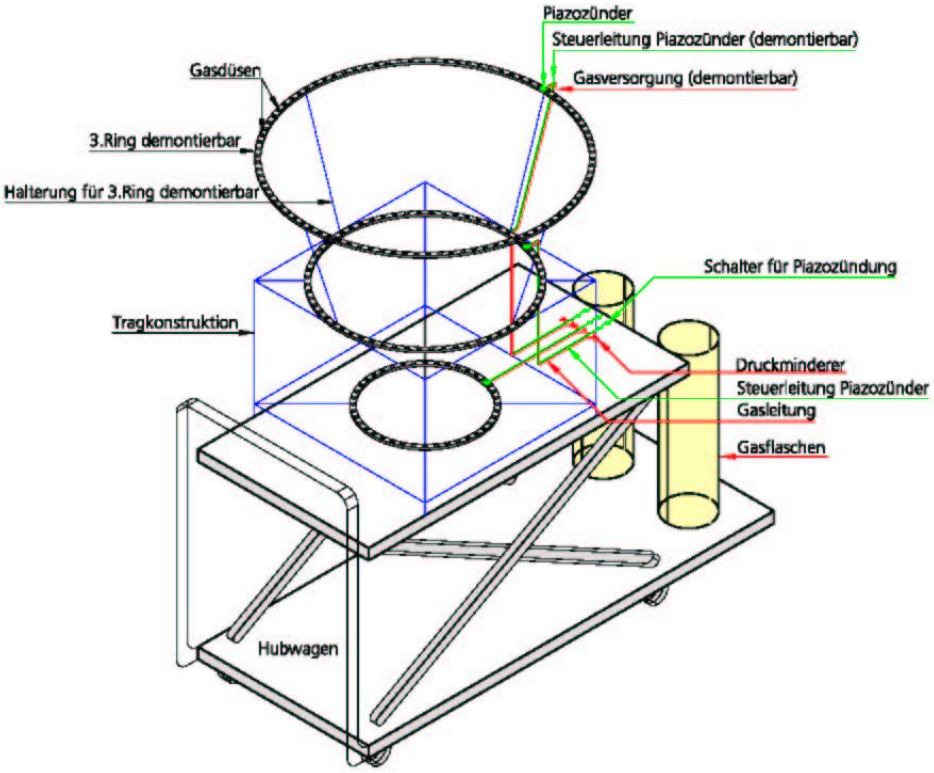


Bild 8 Prinzip-Skizze Prüfeinrichtung Smoke 3

KALIBRIERUNG DER PRÜFAPPARATUR

Mit dem Ziel *kalibrierbare Rauchversuche* durchzuführen, erfolgte eine Vermessung der Simulationseinheit beim Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig [3]. Dort wurde zunächst die Energiefrei-setzungsrate der einzelnen Ringbrenner bei vorgegebenen Einstellungen sowie aller drei Ringbrenner im Verbund mit unterschiedlichen Einstellungen der Energieversorgung bestimmt und zum zweiten die Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung oberhalb der Simulationseinheit in mehreren Ebenen ermittelt.

Gleichsam als Vorversuch erfolgte die Bestimmung der Energiefreisetzung nach der Sauerstoffsverbrauchsmethode, die in DIN EN 14390 „Fire test - Large scale room reference test for surface products“ genormt und als bewährtes Verfahren anerkannt ist (Bild 9).

Der nach diesem Prüfverfahren mehrfach kalibrierte Propangasbrenner wird als Referenzgröße verwendet, um die Freisetzungsrate der Prüfapparatur bzw. deren Ringbrenner zu bestimmen. (Bild 10)

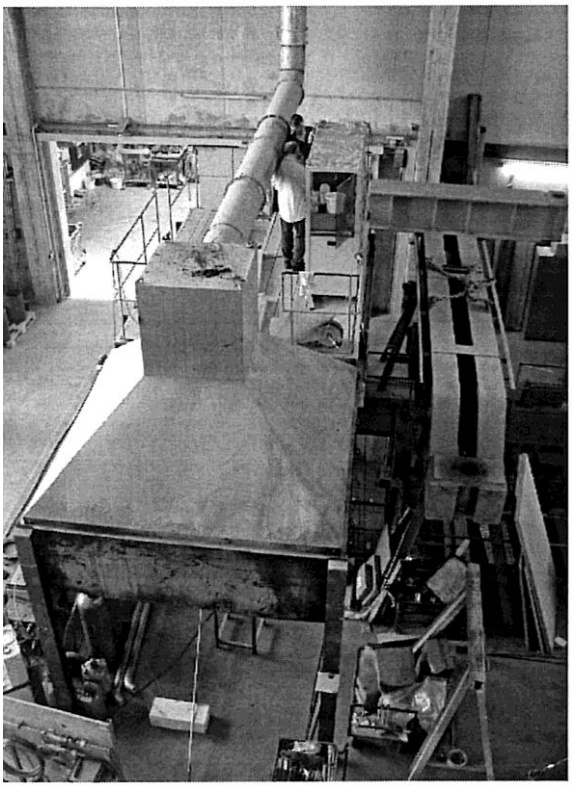


Bild 9 Versuchseinrichtung mit Abgashaube

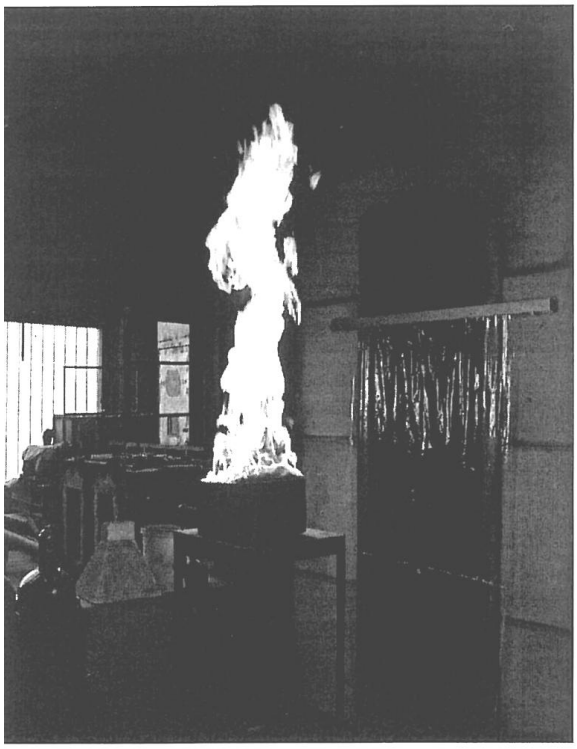


Bild 10 Kalibrierung nach DIN EN 14390

Zur Ermittlung der Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung über der Simulationseinheit wurden in der ca. 10 m hohen Versuchshalle des iBMB unterschiedliche Messebenen aufgebaut, in Höhe vom 3 m bzw. 4,5 m sowie 6 m. In den Ebenen 3 m und 4,50 m wurden Temperaturmessstellen im Abstand von 15 cm und in der Ebene 6 m in einem Abstand von 30 cm angeordnet. Es wurden insgesamt 105 Temperaturmessstellen verteilt und ausgewertet.

Bild 11 Brandsimulationseinheit mit darüber angeordneten Messebenen

Die Geschwindigkeitsmessungen erfolgten im Zentrum oberhalb der Brandsimulationseinheiten und hatten in den Ebenen 3 m und 4,50 einen Abstand von 30 cm und in der Ebene 6 m eine Abstand von 60 cm untereinander, so dass insgesamt 10 Messstellen ausgewertet werden konnten.

Um stationäre Zustände zu erhalten, wurde jede Leistungsstufe für die Dauer von max. 10 Minuten gefahren.

Die ermittelte Temperaturverteilung wird exemplarisch mit drei Brennern als 3D-Darstellung der Viertel-Quadranten über die Systemachse der jeweiligen Ebenen in (Bild 12) gezeigt. Die Auswertung ergab, dass symmetrische Verhältnisse für jeden Quadranten in den einzelnen Messebenen sich einstellen und somit diese Visualisierung ausreichend ist.

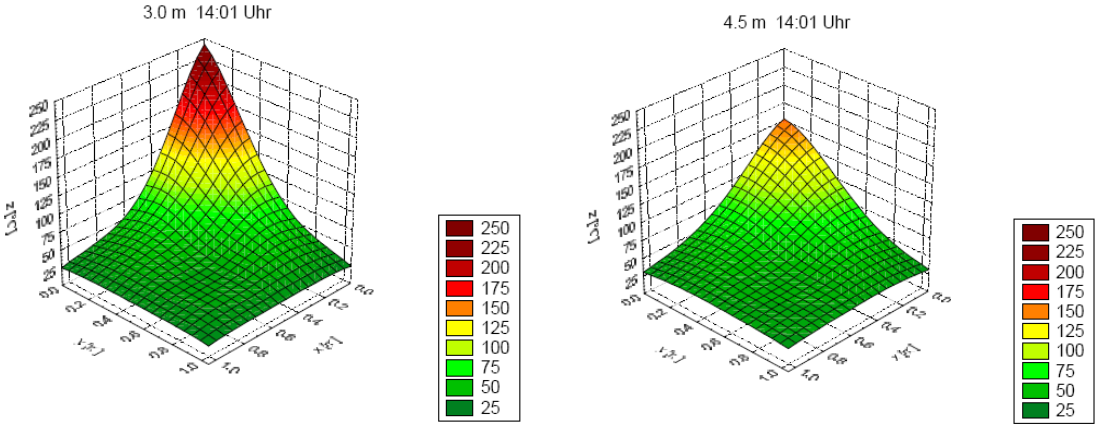


Bild12 Temperaturverteilung in den Ebenen 3 m und 4,50 m für den Einsatz von drei Brennerringen

In Zusammenfassung der Messungen können die Maximaltemperaturen für die einzelnen Leistungsstufen in Abhängigkeit der Höhe in der folgenden Grafik abgelesen werden (Bild 13):

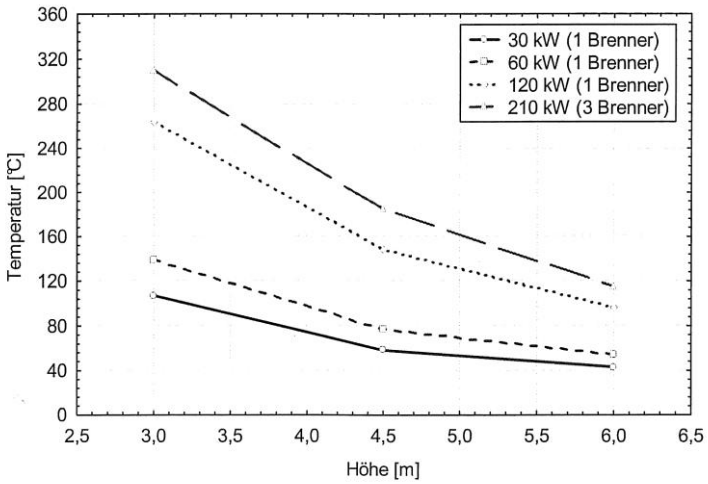


Bild 13 Temperaturverteilung über die Höhe der verschiedenen Leistungsstufen

Die Geschwindigkeiten wurden ebenso für die verschiedenen Leistungsstufen ermittelt, dabei zeigte sich wiederum, dass diese auf der vertikalen Achse am höchsten sind und in radialer Richtung deutlich abnehmen. Sie steigen mit der Energiefreisetzungsrate und verringern sich über die Höhe. Exemplarisch ist für die vorstehend bereits in der Temperaturverteilung ausgewertete Leistungsstufe die Geschwindigkeitsverteilung im (Bild 14) ausgewiesen.

Im Ergebnis der Untersuchung bestätigt IBMB: „Die Brandsimulationseinheit ist geeignet, modellhaft bei Abnahmeversuchen unterschiedliche Brandszenarien zu simulieren und die Ausbreitung der Rauchgase im Gebäude sichtbar zu machen“.

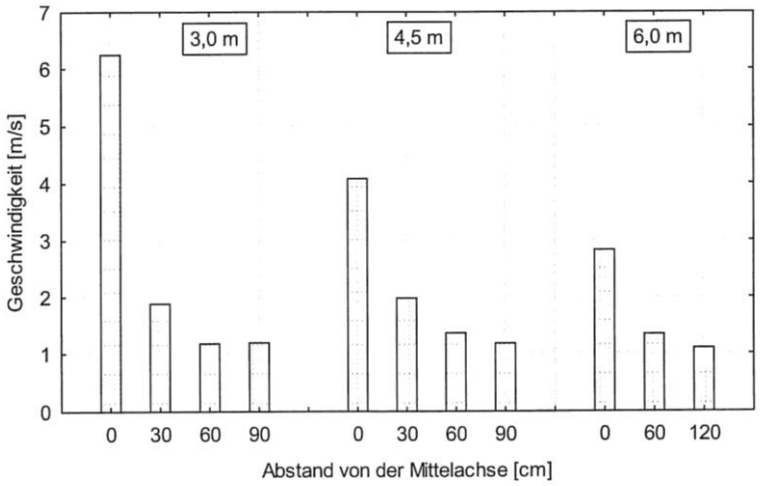


Bild 14 Geschwindigkeitsverteilung in den drei Messebenen

Die Energiefreisetzungsraten der Brandsimulationseinheit lassen sich mit Hilfe von Ähnlichkeitsgesetzen auf reale Brandszenarien übertragen, wie sie in Brandschutzkonzepten angenommen und untersucht werden.

Dabei werden Brandszenarien erreicht, die 1,5 MW auf 5 m² Brandherdfläche entsprechen.

REGELUNGEN ZUR DURCHFÜHRUNG VON RAUCHVERSUCHEN

Technische Grundlagen zur Überprüfung der Wirksamkeit von Gesamtsystemen zur Rauchableitung sind in VDI 6019 Blatt 1 [4] übersichtlich beschrieben. Danach können sowohl erwärmte Luft als auch offene Poolbrände mit flüssigen Brennstoffen eingesetzt werden, wobei zur Visualisierung der Rauchgasströmung zunächst Aerosole aus Nebelfluiden oberhalb der Flammenzone beigemischt sind. Folgende Randbedingungen sind einzuhalten:

- Um eine Zersetzung des Aerosolnebels zu verhindern, darf dieser nicht zu nahe über der Heizquelle geführt werden und soll speziell für den Anwendungsbereich erhöhter Temperatur geeignet sein.
- Die Komponenten des Gesamtsystems zur Rauchableitung müssen dem endgültigen Gebrauchszustand entsprechen und funktionsbereit sein.
- Nachströmflächen müssen entsprechend dem Entrauchungskonzept aktiviert werden.
- Strömungsrelevante Details im Raum müssen vorhanden sein oder nachgebildet werden.
- Verhältnisse der betrieblichen Lüftung beachtet und raumtechnische Anlagen müssen funktionsfähig sein.

- Die Raumlufttemperaturen zum Versuchszeitpunkt sollten den der späteren Nutzung entsprechen.
- Die Gebäudehülle muss vollständig vorhanden und funktionsfähig sein.
- Zur Quantifizierung der Rauchausbreitung können geeignete Messgase beigemischt werden.

Als Konsequenz dieser jeweils strömungstechnisch plausibel und nachvollziehbar begründeten Voraussetzungen können aussagefähige Rauchversuche bei heutzutage üblichen Bauabläufen lediglich zu einem Zeitpunkt sehr kurz vor Gesamt-Fertigstellung durchgeführt werden. Hieraus folgt allerdings wiederum, dass großflächige Poolfeuer oder umfangreiche Gasbrenner-Aufstellungen ggf. zu deutlichen Akzeptanzproblemen bei dem Gebäudenutzer führen.

PRAXISBEISPIELE: SANIERUNG EINER KULTURHALLE

Für eine bestehende Kultur- und Kongresshalle wurde im Rahmen einer Sanierung ein Brandschutzkonzept aufgestellt. Ein Bestandteil dieses Konzeptes war auch die Dimensionierung einer Entrauchungsanlage für den so genannten „Großen Saal“. Dieser umfasst eine Grundfläche von ca. ca. 1.844 m² bei einer mittleren Gesamthöhe von ca. 14 m. Eine Übersicht zur Lage des „Großen Saals“ innerhalb des Gesamtgebäudes und zur Höhenentwicklung ist in nachfolgenden Skizzen in Bild 15 und Bild 16 gegeben.

Da der bestehende Kongress-Saal seine Rettungswege ausschließlich über das baulich und umgrenzende Foyer führte und dieses aus Denkmalschutzgründen nicht verändert werden sollte, wurden spezifische Maßnahmen zur Rauchabführung für den Saal wie auch das anschließenden Foyer getroffen. Nachfolgend wird ausschließlich über die Dimensionierung im Saal berichtet.

Hier ist die betriebliche Lüftung mit einer Zuluftführung aus der ebenfalls denkmalgeschützten faltwerkartigen Decke mit entsprechenden Auslass-öffnungen und einer Abluftführung durch Ansaugstellen im Galerie- und Fußbodenbereich gekennzeichnet. Demgegenüber sieht das Grundsystem der Rauchabführung eine maschinelle Entrauchung im Deckenbereich und eine Nachströmung über geöffnete Saaltüren vor.

Dies bedeutet also die vollständige Umkehrung der Strömungsrichtung, insbesondere für die Brandentstehungsphase bzw. Ansteuerungs- und Anlaufphase des Entrauchungssystems von großer Bedeutung ist, zumal diese mit dem Zeitraum der Saal-Evakuierung zusammenfallen wird. Diese Fragestellung wiederum erfordert den Einsatz einer hochwertigen ingenieurmäßigen Brandsimulation und Überprüfung in Rauchversuch.

Ebenso galt zu berücksichtigen, dass die Auslösung des Entrauchungssystems in Aufschaltung auf die Sprinkleranlage vorgesehen ist und damit eine eher träge Ansteuerung erwarten lässt.

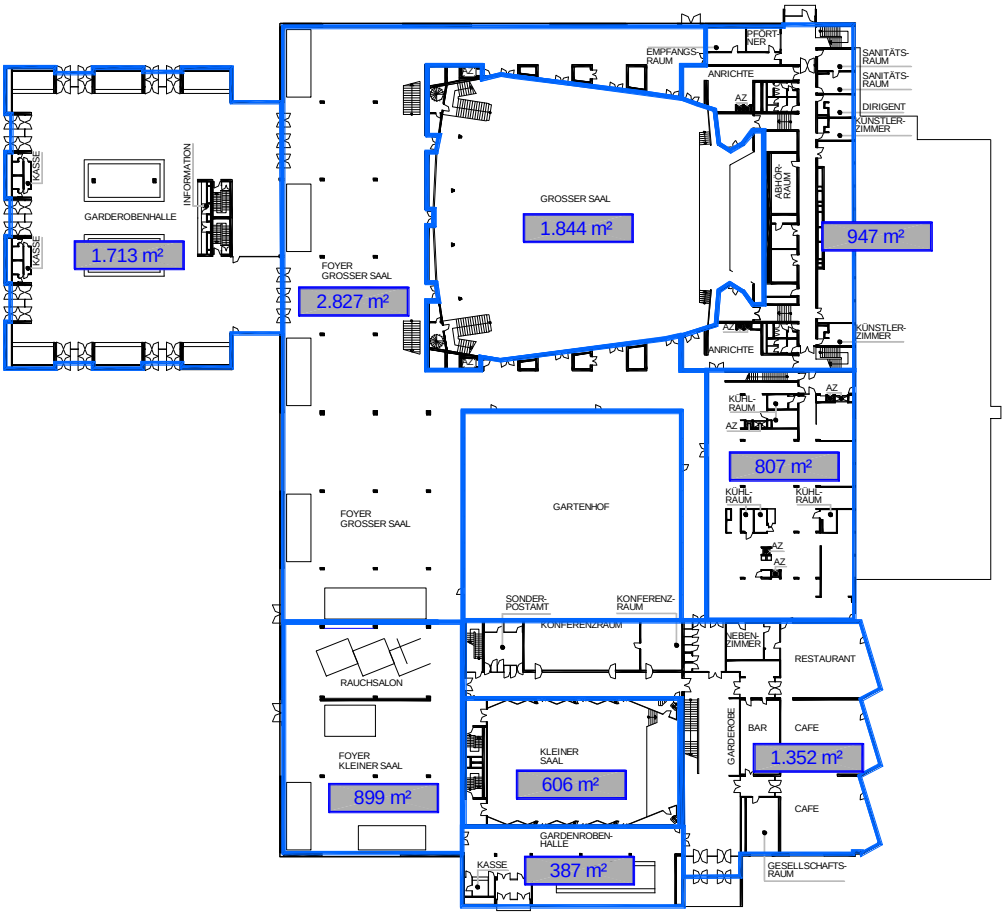


Bild 15 Grundriss der Kultur- und Kongresshalle

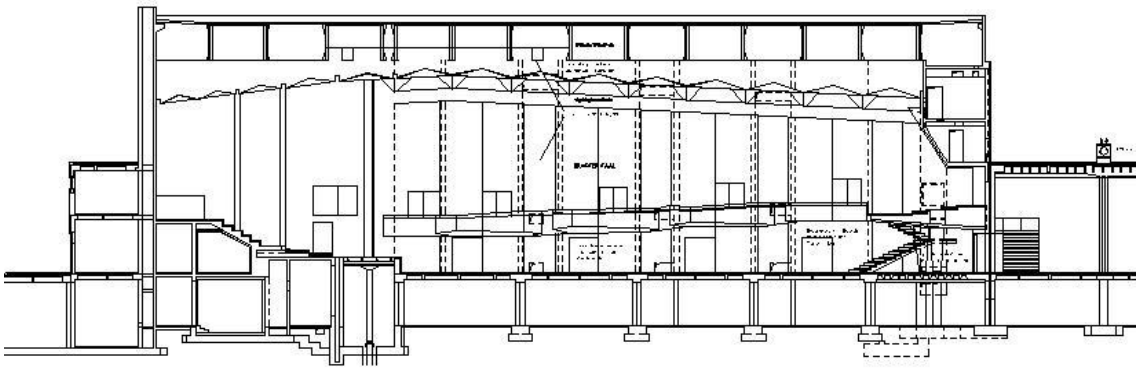


Bild 16 Schnitt durch den „Großen Saal“

VORDIMENSIONIERUNG UND BRANDSIMULATION

Die Dimensionierung der Rauchabzugsanlage erfolgte zunächst anhand einer rechnerischen Brandsimulation mit einem Einraum-Mehrzonenmodell, das angesichts der vergleichsweise einfachen Geometrien als ausreichend und geeignet angesehen wurde. Dabei wurde das System einer maschinellen

Entrauchung favorisiert, da die nachträgliche Anordnung von Dachöffnungen sowohl unter baukonstruktiven als auch schallakustischen Aspekten für das Bestandsobjekt ungünstig bewertet wurde.

Für die Berechnungen wurde als relevantes Brandszenario zunächst ein Wärmeumsatz von 3 MW zugrunde gelegt. Im Rahmen der Berechnungen wurden aber auch Parameterstudien durchgeführt, in denen der Wärmeumsatz variiert wurde, um dessen Einfluss auf die dimensionierte Entrauchungsanlage zu überprüfen.

Als einzuhaltendes Schutzziel wurde in Anlehnung an die allgemeine Regelung der DIN 18 232 eine rauchfreie Schicht von 2,50 m oberhalb des höchsten Evakuierungsniveaus angestrebt. Entsprechend ergibt sich im „Großen Saal“ mit einer Galerieebene auf Höhenkote 4 m das Schutzziel einer raucharmen Schicht von 6,50 m, bezogen auf die Fußbodenoberkante im Erdgeschoss. Mit dieser Höhe der raucharmen Schicht ergibt sich zugleich eine ausreichende Distanz zur Oberkante der Nachströmöffnungen.

Die Auswertung der Berechnungen für unterschiedliche Wärmefreisetzungs-raten und Brandherdflächen ist in (Bild 17) wiedergegeben.

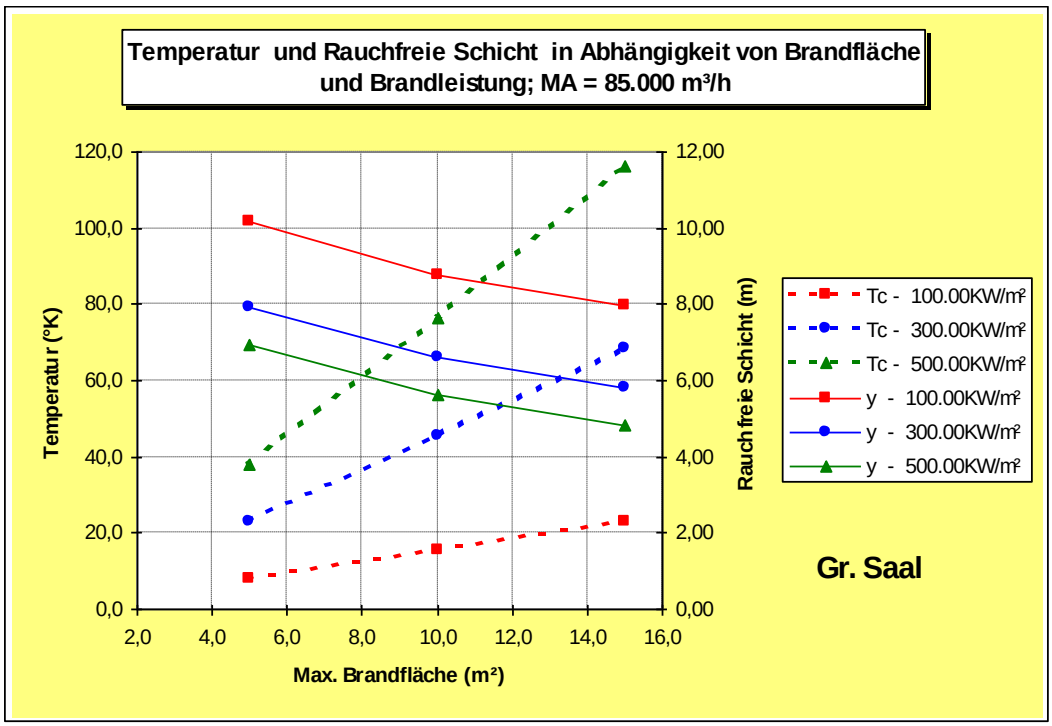


Bild 17 Graphische Darstellung einer Parameterstudie mittels Zonenmodell

Für die vorstehend erläuterte Detailuntersuchung der Strömungsverhältnisse zu Beginn der Entrauchung wurde eine ergänzende CFD-Studie durch-geführt. Hierzu wurde zunächst die Kulturhalle mit dem in (Bild 18) dargestellten dreidimensionalen Computermodell abgebildet.

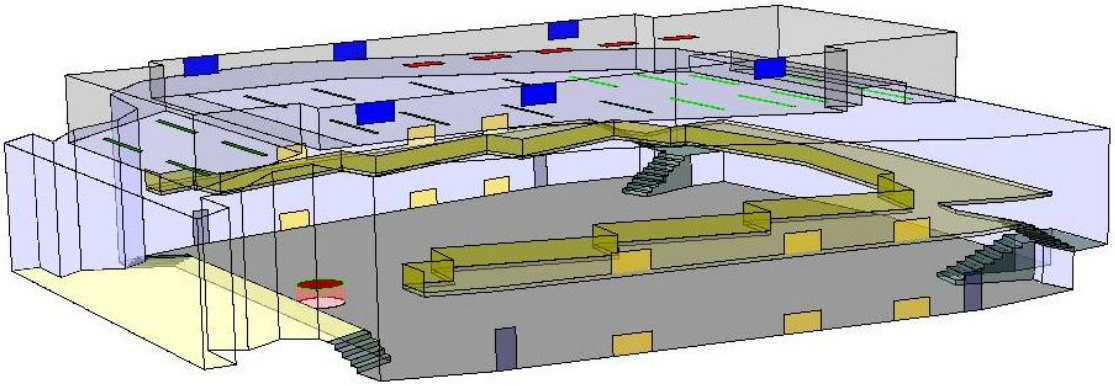


Bild 18 3-D-Modell der Kulturhalle

Ebenso wurden die bereits vorbeschriebenen gebäude- und lüftungstechnischen Verhältnisse implementiert.

Dies sind insbesondere die Galerieebene und der oberhalb des Besuchersaales angeordnete Dachhohlraum. Alle lüftungs- und entrauchungstechnisch erforderlichen Öffnungen wurden im Modell übernommen. Die betriebliche Lüftung für den Saal erfolgt in der Form, dass in den Dachhohlraum über Lüftungskanäle aus der Lüftungszentrale konditionierte Luft eingebracht wird. Diese Luft gelangt aus dem Dachhohlraum über Fugenöffnungen in der Abhangdecke in den eigentlichen Saal. Die Abluft wird aus dem Saal über Öffnungen in den Seitenwänden auf der Galerieebene und im Erdgeschoss wieder abgeführt.

Zur Entrauchung werden Brandgasventilatoren auf dem Dach der Kulturhalle berücksichtigt, die direkt mit dem Dachhohlraum über dem Saal in Verbindung stehen. Die im Brandfall erforderliche Zuluftnachströmung wird auch im Computermodell über Türöffnungen im EG ermöglicht.

Anhand dieser CFD-Modellierung wurde zunächst dieses spezifische Lüftungssystem durchgerechnet, um bereits für den „Normalfall“ einen Abgleich zwischen der Simulation und den tatsächlichen Objektverhältnissen zu ermöglichen.

Das oben beschriebene Lüftungssystem führt zu dem in (Bild 19) dargestellten Strömungsfeld innerhalb des Saales.

Es zeigt sich als Berechnungsergebnis die seitens der Lüftungstechnik gewünschte Raumströmung, in dem die über die Hohlraumdecke in den Saal eingeführte Frischluft in den Bodenbereich des Saales absinkt und hier mit einer relativ geringen Geschwindigkeit in Richtung der Abluftöffnungen strömt. Bei der anschließenden Simulation für ein Brandereignis wurde als Szenario eine mittlere Brandausbreitungsgeschwindigkeit und eine Wärme-freisetzung von maximal 1,5 MW angesetzt, da die vorbeschriebenen befürchteten negativen Einflüsse der betrieblichen Lüftung, insbesondere bei niedrigenergetischen Bränden erwartet wurden.

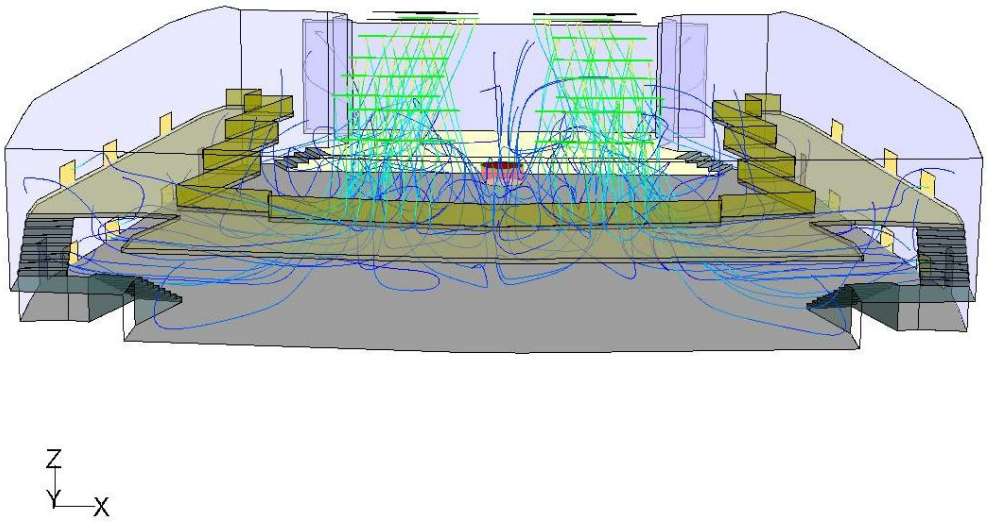


Bild 19 Strömungspfade (Pathlines) infolge der betrieblichen Lüftung

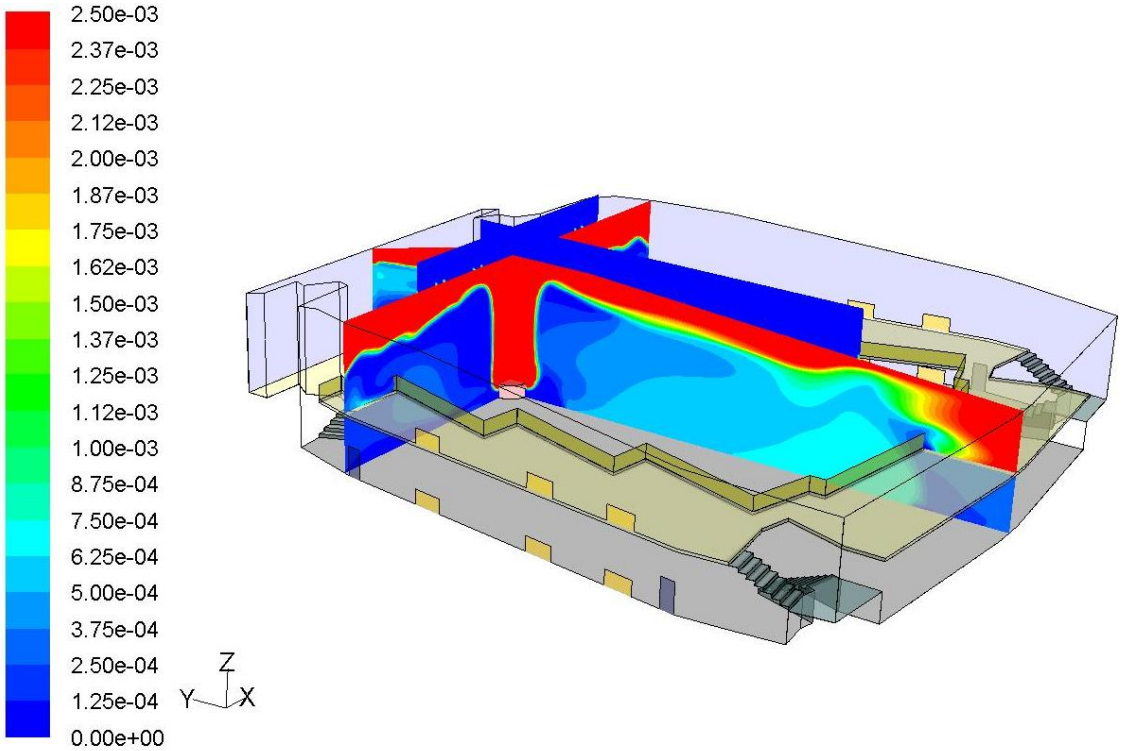


Bild 20 Rauchgasverteilung bei einem 1,5 MW Brand nach 8 min Branddauer

In Bild 20 sind die Rauchgaskonzentrationen in Farbabstufungen dargestellt, die hier aber aufgrund der Drucklegung in Graustufen erscheinen. In der nebenstehenden Skala ist der Verdünnungswert abzulesen. Der an höchster Stelle der Skala dunkelgrau dargestellte Bereich entspricht einer Rauchgas-konzentration mit einer maximal 400-fachen oder geringeren Verdünnung

gegenüber der Ausgangskonzentration. Diese Verdünnungsrate ist als sichtbare Schichtgrenzen einer Rauchgasschicht anzusetzen. Bei einer Grauschattierung entsprechend des mittleren Bereiches der Skala liegt bereits eine 1000-fache Verdünnung vor. Diese Verdünnung reicht gemäß diverser Veröffentlichungen (z. B. John und Seeger) aus um Sichtweiten von mehr als 30 m zu garantieren. Die hellgrauen Bereiche können demnach eindeutig bereits als raucharme Schicht angegeben werden.

Man erkennt, dass die betriebliche Lüftung keinen allzu gravierenden Einfluss auf die Rauchgasströmung ausübt. Lediglich im rückwärtigen Bereich des Saales ist oberhalb der Galerie das Absinken der Rauchgasschicht bis in den Aufenthaltsbereich zu erkennen.

Zusammenfassend konnte aus der durchgeführten Brandsimulation das Ergebnis gezogen werden, dass auch die CFD-Simulation die Vordimen-sionierung durch Zonenmodell bestätigt, wobei einzelne strömungstechnisch zu erwartende Effekte, insbesondere im Galeriebereich, als tolerierbar eingeschätzt werden. Insbesondere ergab sich aus der CFD-Studie auch, dass eine nachhaltige Beeinträchtigung der betrieblichen Lüftung für das Entrauchungssystem auch in dessen Ansteuerungs- und Anlaufphase nicht befürchtet werden muss.

DURCHFÜHRUNG VON RAUCHVERSUCHEN

Das fertig gestellte Entrauchungssystem sollte zur weiteren Verifikation mit einem realistischen Rauchversuch überprüft werden. Hierzu wurde die Versuchsapparatur „Smoke 3“ in einem Standort in Raummitte, etwa 1 m vor der Bühne, aufgestellt, was auch dem in der Brandsimulation zugrunde liegenden Brandherd entsprach.

In insgesamt drei Versuchen wurde insbesondere die Steigerung der Wärmeleistung und der Nebelproduktion vorgenommen, um eine langsame sowie eine schnelle und eine sehr schnelle Brandausbreitungsgeschwindigkeit zu simulieren. Da das Auslösen der Sprinkleranlage als Ansteuerungskriterium nicht aktiviert werden konnte (und sollte!) wurde eine manuelle Auslösung der Entrauchungsanlage vorgenommen bzw. bei den einzelnen Versuchen variiert. Das Abschalten der betrieblichen Lüftung über Kanalrauchmelder wurde stets automatisch aktiviert.

Generell sollte durch die Versuche neben einer Prüfung der rechnerischen Simulationen auch eine Entscheidungshilfe zu Auslösekriterien und -zeitpunkten des Entrauchungssystems erreicht werden.

Im *Versuch 1* wurde zunächst eine langsame Brandausbreitungsgeschwindigkeit mit stufenartiger Steigerung der Wärmeleistung innerhalb von 6 Minuten auf ca. 100 % der Gesamtleistung nachvollzogen. Die Auslösung der maschinellen Entrauchung erfolgte 10 Minuten nach Versuchsbeginn. Dabei zeigte

sich, dass die Rauchgase geradlinig bis zur Deckenunterseite aufsteigen und sich dort radial unter der Decke ausbreiten. Nach ca. 3 Minuten Versuchsdauer ist im rückwärtigen Eckbereich des Saales ein Absinken der Rauchgase bis auf die Galerieebene zu beobachten. In den übrigen Bereichen beträgt die Höhe der raucharmen Schicht zwischen 1,50 m und 2,50, bezogen auf Galerieebene. Im zentralen Bereich des Saales ist eine höhere Gasdichte und eine deutliche Schichtung zu erkennen. Diese verbleibt auch im weiteren Versuchsablauf bis nach ca. 6 Minuten Versuchsdauer die Rauchgase im rückwärtigen Galeriebereich weiter absinken.

10 Minuten nach Versuchsbeginn erfolgt mit dem Aktivieren der Entrauchungsanlage und der Nachströmöffnungen ein langsames Anheben der Rauchgasschicht, die sich in dem Saalbereich bei etwa 7 m einstellt. Lediglich auf der Galerieebene ist eine diffuse Verrauchung im rückwärtigen Bereich des Saales festzustellen, welche sich mit weiterer Versuchsdauer bzw. Wirkung der Entrauchungsanlage aufhebt und schließlich auch auf der Galerieebene 3 m bis 4 m beträgt.

Bild 21 Vertikale Rauchgasausbreitung bei Beginn des Versuchs 1

Bei *Versuch 2* wurden Wärmeleistung und Nebelproduktion innerhalb von 2 Minuten auf 100 % der Gesamtleistung gesteigert und die Entrauchungsanlagen einschließlich Nachströmöffnung 4 Minuten nach Versuchsbeginn aktiviert.

Die anfänglichen Beobachtungen gleichen dem vorgenannten Versuch 1 allerdings mit einer etwas größeren Rauchgasdichte und einem etwas

moderaterem Absinken der Rauchgase. Zum Auslösezeitpunkt der Entrauchungsanlage liegen im zentralen Saalbereich raucharme Schichthöhen von 8 m bis 9 m, im rückwärtigen Bereich der Galerieebene Höhen von 1,50 m bis 2,50 m über der dortigen Bodenfläche vor. Eine stabile Schichtung der Rauchgase ist auch nach 15 Minuten in überwiegendem Deckenbereich des Saales deutlich zu erkennen. Im Galeriebereich stellen sich vermutlich zuluftbedingt zeitweise diffuse Verrauchungen ein.

Bild 22 Rauchgaspolster oberhalb der Bühne bei Versuch 2

Im *Versuch 3* wird die Steigerung von Wärmeleistung und Nebelproduktion innerhalb einer Minute als sehr schnelle Brandausbreitungsgeschwindigkeit simuliert, allerdings die Auslösung der maschinellen Entrauchungsanlage erst nach 10 Minuten aktiviert.

Hier stellen sich in der Anfangsphase des Versuches Beobachtungen vergleichbar zu den vorbeschriebenen Versuchen 1 und 2 ein. Etwa 5 Minuten nach Versuchsbeginn ist allerdings auf der Galerieebene ein Rauchgaseintrag bis auf die Höhe der Stuhlreihen festzustellen, während die Saalmitte im Erdgeschossniveau nach wie vor rauchfrei verbleibt. Wiederum wird der Deckenraum des Saales kontinuierlich von oben nach unten absinkend mit Rauchgas gefüllt. Eine Höhe der raucharmen Schicht von etwa 7 m über Erdgeschossniveau stellt sich etwa 6 Minuten nach Versuchsbeginn ein, gleichzeitig ist das leichte Unterströmen der Galeriekante festzustellen, bis nach weiteren 1,5 Minuten die Galerieflächen im rückwärtigen Bereich vollständig verraucht.

8 Minuten nach Versuchsbeginn sind im rückwärtigen Bereich des Saales erste Rauchgasspuren ca. 2,50 m oberhalb der Erdgeschossfläche festzustellen.

Mit dem Aktivieren der Entrauchungsanlage und Öffnen der Zuluftflächen zeigen sich für die nunmehr tiefer liegenden Rauchgase im Bereich der Türen durch den Zuluftstrahl zurück geführte Rauchgase und dementsprechend eine diffuse Verrauchung im rückwärtigen Bereich des Raumes. Diese lösen sich bereits 2 Minuten nach Auslösen der Entrauchungsanlage auf, so dass sich mit fortlaufender Versuchsdauer allmählich ähnliche Strömungs- und Entrauchungsverhältnisse analog Versuch 2 einstellen, welche bereits 17 Minuten nach Versuchsbeginn bzw. 7,5 Minuten nach Auslösen der Entrauchungsanlage eine deutliche Schichtung selbst im Bereich der rückwärtigen Galerie in Höhe von 3 m bis 4 m entwickeln.

Bild 23 Rauchgasausbreitung im zentralen Bereich des Saals bei Versuch 3

In den Rauchversuchen wurde also insgesamt die Möglichkeit genutzt, in vergleichsweise geringem Aufwand auch äußere Randparameter und Einflussgrößen zu variieren, die bei der rechnerischen Brandsimulation nur recht zeitaufwändig ausgewertet werden können.

ABGLEICH ZWISCHEN SIMULATION UND RAUCHVERSUCH

Zusammenfassend zeigt sich zwischen den durchgeführten Rauchversuchen und den vorstehend nicht vollständig wiedergegebenen Brandsimulationen eine sehr gute Übereinstimmung der Prognose von Einflüssen und Verhältnissen für die Rauchabführung. Auch quantitativ harmonieren die Werte der rechnerischen Prognose mit den Beobachtungen des Rauchversuchs.

Beispielhaft wurde hierzu ein Vergleich des Ergebnisplots aus der rechnerischen Simulation und dem vergleichbaren Zeitpunkt der Rauch-versuche dokumentiert.

In dem dargestellten Praxisbeispiel konnte auf Basis dieser durchgehenden und schlüssigen Argumentation und Nachweisführung die beanspruchte Abweichung im bauaufsichtlichen Verfahren akzeptiert und eine effektive Lösung für die weitere Nutzung der denkmalgeschützten Kulturhalle ermög-licht werden.

FAZIT

Spezielle Risiken, besondere Objekte oder Fragestellungen erfordern in der brandschutztechnischen Bewertung spezielle Lösungen unter ingenieur-mäßiger Herangehensweise. Für eine seriöse Nachweisführung ist es unabdingbar, die hier auf Basis einer rechnerischen Brandsimulation ent-wickelten Prognosen anhand der tatsächlichen Bauausführung zu über-prüfen. Um hierbei Fehlinterpretationen zu vermeiden, kommt einer leistungsfähigen, kalibrierten Prüfapparatur große Bedeutung zu.

Nur in dieser Weise kann zwischen dem Abgleich mehrerer berechneter Stützstellen und den Beobachtungen des praktischen Rauchversuches eine realitätsnahe Extrapolation und verantwortliche Aussage zum Gesamtsystem gegeben werden.

Mit der hier dargestellten, im iBMB kalibrierten Prüfapparatur „Smoke 3“ wird nach den Erfahrungen des Unterzeichners aus einer Vielzahl zwischenzeitlich durchgeführte Rauchversuche ein wesentlicher Beitrag in diesem Sinne geleistet.

LITERATUR

[1] Grundsätze für Rauchversuche in Gebäuden. vfdb-Leitfaden.

[2] Levin Method and apparatus for controllably generating smoke, Internationale Patentklassifikation F 22 B 27/16.

[3] Bemessung einer Brandsimulationseinheit, Untersuchungs-Bericht Nr. 6348/6003, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Juli 2007.

[4] Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden, Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit. VDI 6019 Blatt 1.

RAUCHFREIHALTUNG VON TREPPENRÄUMEN MIT DIFFERENZDRUCK-SYSTEMEN - KONZEPTE, BEMESSUNG, INSTALLATION UND ABNAHME

Horst A. Ermer
DR. ERMER GMBH, Köln

EINLEITUNG

Die rauchfreien Rettungswege durch Überdruck im Brandfall als Stand der Technik sind aus dem konzeptionellen Repertoire von Brandschutzsachverständigen, Architekten, Fachplanern und Prüfsachverständigen nicht mehr weg zu denken. Man sollte meinen, dass mit der verbreiteten Anwendung dieser Technik der Kenntnisstand und das Know-how bei diesen Experten wächst und somit eine fachtheoretische Qualität erreicht.

Wer in der Praxis als Anlagenbauer beteiligt ist an der Entwicklung von Konzepten, an der Beratung für die Planung und wer die Installation der Anlagen ausführt und letztlich an der Abnahme der funktionsfähigen Anlage teilnimmt, wird diesen Lerneffekt vermissen. Woran liegt das?

Es gibt mehrere Gründe: die zum Teil mangelhafte Ausbildung von Architekten und Ingenieuren in Sachen "Physik der Luft" spielt eine Schlüsselrolle. Wer das Wort Aerodynamik - außer im Zusammenhang mit dem c_w-Wert seines Autos - noch nie in seiner Aus- und Weiterbildung gehört hat, wird selten die Zusammenhänge von Druck und Strömung in einer komplexen Raumgeometrie verstehen. Damit sind viele Fehler vorbestimmt, die in der Baupraxis anzutreffen sind.

Das andere Extrem für viele fehlerhafte Planungen und Bemessungen von Überdruckanlagen sind die "Besserwisser", die nach dem Motto handeln: ich bin der Erste, der diese hoch komplizierte Materie versteht und in die Tat umsetzen kann. Wenngleich dieser Ansatz in Ausnahmefällen durchaus seine Berechtigung hat, eine so missverstandene Kreativität führt in der Regel zu kaum realisierbaren Technikschöpfungen.

Dabei gibt es einen Mittelweg, der in der EN 12101-6 beschrieben ist, ein Kompendium für den Bau von Überdruckanlagen, das zugegeben schwer lesbar, noch schwerer in funktionale Technik umzusetzen ist. Wer sich dieser Tortur unterzieht, wird feststellen, dass Aerodynamik, oder was man dafür hält, nach diesen Vorgaben wirklich schwierig ist; der Grund für viele nicht funktionierende Anlagen.

Betrachtet man die technische Komplexität eines Gebäudes, kommt der Überdruckbelüftung zur Rauchfreihaltung der Treppenräume ein ganz geringer Stellenwert zu. Wenn es jedoch um Nutzungsfreigabe für das Gebäude geht, dann wird aus dem hässlichen Entlein ein Schwan: die mängelfreie Abnahme ist Voraussetzung für den Bezug und die Nutzung des Gebäudes.

An praktischen Beispielen soll nachfolgend dargestellt werden, dass man bei der Planung einer Überdruckanlage mit einer guten Portion "Normalverstand" recht weit kommt.

KONZEPT

Am Anfang jeder Planung steht ein strukturelles Konzept: was will ich erreichen, welche technischen Möglichkeiten stehen mir zur Verfügung, gibt es Vorschriften, die mir weiterhelfen, ohne mich zu verwirren?

Mit dem Entwurf oder dem Architektenplan eines Gebäudes ist klar, was in diesem Gebäude später geschehen soll. Damit ist die Qualität des Gebäudes entschieden: Wohngebäude, Hochhaus, Krankenhaus, Verwaltungsgebäude etc. Welchen Status haben die Treppenräume: außen- oder innen liegend, notwendig oder Sicherheitstreppenraum. Mit dieser Entscheidung ist vorgegeben, ob nach LBO und/oder Hochhausrichtlinie zwingend eine Überdruckanlage vorgeschrieben wird. Damit führt der Weg geradewegs zu der Frage, wie muss die Überdruckanlage ausgelegt werden. (Ob dem Brandschutzsachverständigen diese Aufgabe zukommt oder später dem Fachplaner, ist nicht eindeutig geregelt und hängt im Wesentlichen von der gefühlten Fachkompetenz ab.)

BEMESSUNG

Die Bemessung der Überdruckanlage für den Treppenraum richtet sich nach den Kriterien, die für die Erreichung des Schutzzieles angenommen werden. Nach der EN 12101-6 soll die Türöffnungskraft ≤ 100 N, die Druckdifferenz ≥ 30 Pa und die Luftgeschwindigkeit je nach Schutzziel zwischen ≥1,0 bzw. ≥ 2,0 m/s liegen.

Diese Eckwerte müssen mit dem im Brandfall angestrebten Schutzziel korrelieren: rauchfreie Rettungswege zur Evakuierung des Gebäudes oder zur Brandbekämpfung durch die Feuerwehr. Diese grundsätzliche Entscheidung hat unmittelbar Einfluss auf die notwendigen Luftvolumina insofern, als beim Löschangriff der Feuerwehr die offene Eingangstür berücksichtigt werden muss.

Eine verkürzte, nicht ingenieurmäßige Berechnung des Luftvolumenstromes für den Löschangriff könnte wie folgt aussehen: bei zwei geöffneten Türen (EG und Brandgeschoss mit je 2,2 m² Fläche) und einer Luftgeschwindigkeit von ≥ 2,0 m/s errechnet sich ein Luftvolumen von: 4,4 m² x 2 m/s x 3600 m³/h = 31.680 m³/h. Nach EN soll dieser Wert aber mit dem 1,5 fachen multipliziert werden, um eine gewisse Reserve für undefinierte Leckagen und Imponderabilien wie Winddruck, Schachteffekte und Sommer-/Winterfall vorzuhalten. Unter diesen Bedingungen müsste eine Überdruckanlage mit einem Ventilator ausgestattet sein, der ca. 47.520 m³/h fördert.

In dieser überschlägigen Berechnung werden keine saug- und druckseitigen Druckverluste oder Verluste durch Widerstände an baulichen Abströmungen, Gittern etc. berücksichtigt.

Die luftmäßige Auslegung/Bemessung mag sich für ein Gebäude mittlerer Höhe bis zu einem Hochhaus von ca.60 m Höhe verhältnismäßig einfach gestalten. Wenn hingegen Treppenräume in Hochhäusern mit mehr als 60 m Höhe (nach oben ohne Begrenzung) ausgelegt werden, dann scheint es zwingend, erfahrene Experten zu Rate zu ziehen. Damit folgt der nächste Schritt: die Umsetzung vom Konzept und Bemessung in reale Technik.

EINBAU UND INBETRIEBNAHME

Der Einbau von Überdruckanlagen zur Rauchfreihaltung ist meistens eine Domäne von spezialisierten Firmen, die eine breite Erfahrung mit den unterschiedlichsten Einbausituationen haben. Da es noch keine Qualitätskennzeichen für den Einbau von Rauchschutz-Druck-Anlagen (RDA) gibt, sollte sich jeder Besteller vor der Auftragsvergabe ausführlich Referenzen von dem potentiellen Anlagenbauer vorführen lassen. Mit der Einführung einer Prüfnorm für Überdruckanlagen, die in der Entwicklung ist, wird sich diese Situation positiv ändern und das Qualitätsniveau europaweit angehoben.

Mit der handwerklichen Fertigstellung der Überdruckanlage wird diese in Betrieb genommen. Dabei werden die nach EN geforderten Parameter eingestellt und in einem Inbetriebnahmeprotokoll dokumentiert. Dieses Inbetriebnahmeprotokoll gehört wie alle Dokumente der verbauten Komponenten, das Betriebsbuch, das Auslegungsschema, die elektrischen Kabel- und Anschlusspläne zu den Revisionsunterlagen, die dem Bauherren übergeben wird.

Es ist allgemein verpflichtend, mit diesen Unterlagen einen Wartungsvertrag zu übergeben. Aus der Verkehrssicherungspflicht des Bauherren oder Betreibers ergibt sich, dass für sicherheitsrelevante Anlagen ein Wartungsvertrag abgeschlossen werden muss. Nach LBO beträgt das Wartungsintervall ein Jahr.

ABNAHME

Nach erfolgter Inbetriebnahme, bei der die wahrscheinlichen Szenarien für den Brandfall nachgestellt, gemessen und dokumentiert werden, erfolgt die Erstabnahme durch einen technischen Prüfsachverständigen. Anhand der Inbetriebnahmeprotokolle und technischen Dokumentationen kann der Prüfsachverständige den baulichen Zustand der Anlage und die durch die Bemessung vorgegebenen Sollwerte messtechnisch kontrollieren.

Wenn die Messungen bei aktivierter Überdruckanlage und die Installationen der Lüftungskomponenten und der elektrischen Anlagen sowie die Verknüpfung mit peripheren Anlagen z.B. Brandmeldeanlage keine Beanstandungen ergeben,

wird ein Prüfprotokoll ausgestellt, das die Mängelfreiheit bestätigt und somit das Gebäude zur Nutzung frei gibt.

BEISPIEL AUS DER PRAXIS

Der WinTower in Winterthur ZH - Konzept, Installation und Abnahme

Durch die Totalrenovation und eine Aufstockung um drei Ebenen entfiel der Bestandsschutz und die ehemalige Sulzer Hauptverwaltung wurde nach neuesten brandschutztechnischen Vorschriften komplett umgebaut. Mit seinen 3 Untergeschossen, und oberirdisch EG und 26 Obergeschossen ist es in eine Höhe von ca. 120 m gewachsen.

Bild 1 Wintower, Winterthur CH

Durch die Gebäudeversicherung des Kantons Zürich (GVZ) wurden für jeden Treppenraum und den Feuerwehraufzug Rauch-Verdrängungs-Anlagen entsprechend SN EN 12101-6, Systemklasse D gefordert.

Die Parameter der Systemklasse D sehen vor: Türöffnungskraft ≤100 N, Druckdifferenz zwischen Treppenraum und Nutzung 50 Pa ± 10% sowie bei geöffneter Eingangstür eine Luftgeschwindigkeit zwischen Treppenraum und Vorraum von ≥ 0.75 m/s. Bei geöffneter Eingangstür darf die Druckdifferenz im Treppenraum nicht unter 10 Pa fallen.

Der Grundriss

Der Grundriss zeigt Im Kern des Gebäudes zwei Treppenräume (WEST und OST) mit Vorräumen, angrenzend an diese Vorräume befindet sich der Aufzugsvorraum mit je drei Aufzügen in Reihe. Ein Aufzug wurde als Feuerwehraufzug umgewidmet und der Schachtraum, und somit der gesamte Aufzugsbereich als verbundener Luftraum wird druckbelüftet.

Die Zuluft für den Treppenraum WEST wird über einen aufgelassenen Aufzugsschacht geführt. Durch diesen überdimensionierten Zuluftkanal sind die Druckverluste über die Höhe nicht zu berücksichtigen. Im Treppenraum sind in jedem zweiten Geschoss ein Zuluftgitter mit Mengeneinstellung eingebaut, womit ein homogener Druckverlauf im Treppenhaus erzielt werden kann. Die Zuluft für den Schacht des Feuerwehraufzuges wird direkt zugeführt und auch hier wer-

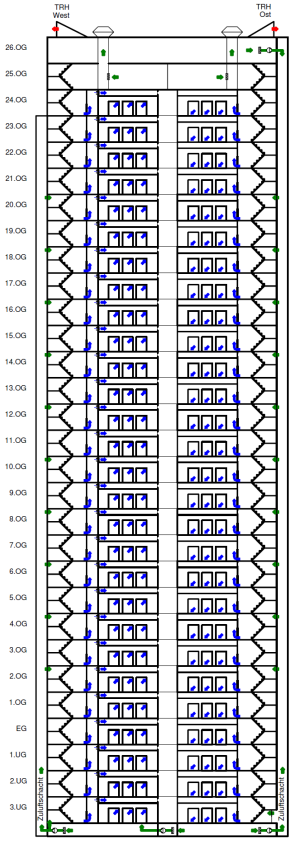
den durch die großen Querschnitte der Aufzugsschächte die Druckverluste minimiert.

Im Treppenraum Ost musste eine völlig andere Lösung für die Zuluft gewählt werden, da kein baulicher Schacht zur Verfügung stand. Dieser wurde seitlich im Treppenraum über die ganze Länge im Trockenbau erstellt. Aufgrund der zu erwartenden vertikalen Druckverluste wurden zwei Zuluftventilatoren installiert, einer am Fuße und einer am Kopf des Schachtes. Durch diese Anordnung werden die im Schacht vorhandenen Druckverluste gegenseitig aufgehoben. Auch hier wurden in jedem zweiten Geschoss des Treppenraumes ein Zuluftgitter mit Mengeneinstellung installiert.

Bild 2 Grundriss der durch Überdruck "geschützten Bereiche"

KONZEPT

Konzeptionell wird der im Grundriss ersichtliche Kernbereich als "protected space" ausgeführt, d.h. druckbelüftet gegenüber den Nutzungsbereichen. Die Druckdifferenz soll zwischen Treppenraum/Vorraum gemäß SN EN 12101 - 6, Systemklasse D, den Wert von 50 Pa ± 10% betragen, bei geöffneter Eingangstür darf der Druck nicht unter 10 Pa fallen. Die Luftgeschwindigkeit zwischen Treppenraum und Nutzung, gemessen in der Tür vom Treppenraum, darf im Mittel einen Meter pro Sekunde nicht unterschreiten. Selbstverständlich hat die Türöffnungskraft mit ≤ 100 N die vorrangige Priorität und muss überall eingehalten werden.



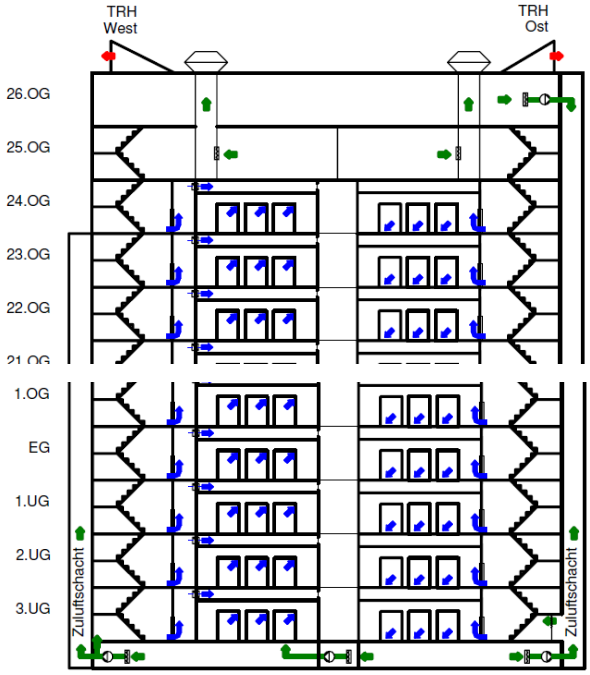


Bild 3 Lufttechnisches Schema mit Detailvergrößerung der Zu- und Abluftsituation

Ergebnisse der Abnahme - Druckdifferenzen und Luftgeschwindigkeit

Die Abnahme durch den Brandschutzexperten der Gebäudeversicherung Zürich GVZ erfolgte am 05.05.2008. Zu dieser Zeit betrug die Außentemperatur 12 - 15°C, die Innentemperatur des Gebäudes wurde mit 22°C gemessen. Zur Zeit der Abnahme wehte ein Wind aus NO mit einer Geschwindigkeit von ca. 3,6 km/h, der die Fassade mit geringem Druck beaufschlagte und keine Beeinflussung der Messungen verursachte. Diese Witterungskonstellation kann als Sommerfall definiert werden.

Die nachstehenden Messdaten zeigen Etagen weise die Druckdifferenz zwischen Treppenraum und Nutzung bei geöffneter (1) und (2) bei geschlossener Eingangstür. Die Werte des Differenzdruckes sollten bei (1) ≥ 10 Pa sein, und bei (2) zwischen 45 und 55 Pa liegen. Die Luftgeschwindigkeit sollte ≥ 0.75 m/s sein. Die Türöffnungskräfte wurden gemessen aber nicht in die Tabelle übertragen, da sie durchgehend ≤ 100 N waren.

Tabelle 1 Messwerte bei Abnahme der Treppenräume

Treppenraum OST				Treppenraum WEST			
Etage	(1)	(2)	(3)	Etage	(1)	(2)	(3)
26. OG	11	53	1,1	26. OG	12	54	1,1
25. OG	12	54	1,2	25. OG	11	54	1,2
24. OG	11	54	1,2	24. OG	11	55	1,2
23. OG	11	55	1,1	23. OG	11	53	1,1
22. OG	11	54	1,1	22. OG	11	54	1,1
21. OG	12	54	1,0	21. OG	12	53	1,1
20. OG	12	54	1,2	20. OG	11	54	1,2
19. OG	11	56	1,3	19. OG	12	56	1,3
18. OG	11	55	1,1	18. OG	11	54	1,1
17. OG	12	52	1,1	17. OG	12	52	1,1
16. OG	12	53	1,1	16. OG	11	53	1,1
15. OG	11	54	1,2	15. OG	11	53	1,2
14. OG	11	54	1,2	14. OG	11	55	1,2
13. OG	11	56	1,1	13. OG	13	56	1,1
12. OG	12	55	1,2	12. OG	11	54	1,2
11. OG	11	55	1,2	11. OG	12	55	1,2
10. OG	11	53	1,1	10. OG	11	52	1,1
9. OG	11	52	1,1	9. OG	11	52	1,1
8. OG	10	54	1,1	8. OG	10	53	1,1
7. OG	11	54	1,2	7. OG	11	54	1,2
6. OG	12	53	1,2	6. OG	12	54	1,2
5. OG	11	54	1,1	5. OG	11	54	1,1
4. OG	12	53	1,1	4. OG	12	52	1,1
3. OG	11	55	1,2	3. OG	11	55	1,2
2. OG	12	56	1,3	2. OG	12	55	1,3
1. OG	12	54	1,1	1. OG	11	54	1,1
ZG	11	54	1,3	ZG	11	53	1,2
EG	10	54	1,2	EG	10	54	1,2
1. UG	11	53	1,2	1. UG	12	53	1,2
2. UG	12	52	1,1	2. UG	12	52	1,2
3. UG	11	52	1,1	3. UG	11	54	1,1

Was an diesen Messreihen fasziniert ist die strikte Homogenität über die gesamte Gebäudehöhe. In der Vergangenheit hörte man wiederholt, man könne keine Überdruckanlagen nach EN bauen, die Soll-Vorgaben seien zu rigide und weisen zu wenig Toleranzen auf. Mit den hier aufgeführten Messreihen sollte diese Diskussion enden.

Diese Ergebnisse sind ursächlich auf die sorgfältige Bemessung und Auslegung der Rauch-Verdrängungs-Anlagen bei baulichen Gegebenheiten zurückzuführen. Des Weiteren wurden die Anlagen in eigener Regie hergestellt, geliefert und ausgeführt. Die Zuluftsituation war ideal zu gestalten, und die Luftvolumina wurden mit 40.000 m^3/h bemessen, um jederzeit eine Luftgeschwindigkeit von 2 m/s zu realisieren. (Erinnern wir uns an das oben angeführte Beispiel: (2,2 m^2 x 2 x 3.600 m^3/s) x 1,5 = 23.760 m^3/h).

Über die Schächte konnte sich Luft relativ druckverlustfrei verteilen und über die Abströmgitter in den Treppenraum strömen. Dies führte zu der homogenen Drucksäule über die ganze Höhe.

WINTERFALL

Um eine Baugenehmigung für einen Sonderbau zu erlangen, gehört in der Regel ein lüftungstechnisches Gesuch dazu. Wenn eine Überdruckanlage darin enthalten ist, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit der Schachteffekt und als Sonderfälle Sommer- und Winterfall ausführlich problematisiert. Im Kern wird dieses physikalische Phänomen durch die Temperaturdifferenzen zwischen Atmosphäre (Außentemperatur) und Innentemperatur des Gebäudes erzeugt. Wir gehen davon aus, dass man sich ausführlich an anderer Stelle mit dieser Thematik auseinander setzen kann.

Beim Wintower bietet sich uns die einmalige Gelegenheit, mit Zustimmung des Bauherren, Messungen unter gleichen baulichen Bedingungen durchzuführen, da das Hochhaus nicht bezogen ist. Im oben angeführten Ergebnisbericht haben wir den Sommerfall, besser den Normalfall, abgehandelt, wobei ein Schönheitsfehler bleibt: wie ist die Drucksituation bei hochsommerlichen Temperaturen von z.B. 30°C und aktivierter Überdruckanlage? Diese Messung werden wir bei nächster Gelegenheit nachholen, um diese Frage zu beantworten. Spekulativ ist unser Meinung: es wird sich signifikant nichts ändern.

Zurück zum Winterfall: der Winterfall z.B. -10°C wird als der worst case für den Betrieb einer Überdruckanlage schlechthin betrachtet. Wenn man die Rechenreihen in Gutachten betrachtet, dann muss man zu dem Ergebnis kommen, weder im unteren noch im oberen Bereich eines Hochhauses sind die Türen aufgrund der hohen Druckdifferenzen zwischen Treppenraum und Nutzung zu öffnen. Frage: wer hat dies bereits erfahren?

Um die Frage zu beantworten: wie stellt sich der Winterfall bei einer aktivierten Überdruckanlage dar, wurden im Treppenraum OST Messungen am

14.01.2009 bei nahezu windstillem Wetter, Wind mit ca. 2 km/h aus NNO, und einer Außentemperatur von -3°C, die Innentemperatur betrug 20°C, durchgeführt. Auch hier gilt unsere oben geäußerte Bemerkung: eine Messung bei -10 bis -15°C würde eine eindeutigere Antwort geben.

Tabelle 2 Messwerte bei aktivierter RVA und Minustemperaturen, EG Tür geschlossen, (1) Vergleichswerte siehe Tabelle 1

Treppenraum OST

		(1)
26. OG	57	53
22. OG	49	54
18. OG	53	55
15. OG	57	54
12. OG	53	55
5. OG	50	54
2. OG	49	56
1. OG		
2. UG	48	52

Der Vergleich der Messwerte Winterfall und Sommerfall zeigt keine signifikanten Unterschiede. Die befürchteten drastischen Druckunterschiede sind in diesem Gebäude nicht messbar. Damit ist nicht gesagt, es gäbe den Winterfall nicht. Natürlich besteht der Winterfall als statisch-physikalisches Phänomen, aber in einer dynamischen, druckgeregelten Umgebung wird der Winterfall keine Wirkung entfalten. Mit diesem empirischen Befund ist auch die vor Jahren geforderte "Temperatur geführte Volumenstromregelung" ad absurdum geführt. Die Druck geführte Volumenstromregelung ist vergleichsweise einfach zu realisieren, vorausgesetzt, der Drucksensor ist optimal positioniert.

Am Rande sei vermerkt, wissenschaftlich müssen Messwertreihen reproduzierbar sein, wie im vorliegenden Fall. Wenn darüber hinaus sich lediglich ein Einflussfaktor wie z.B. die Außentemperatur ändert (ceteribus paribus), die Messwerte sich nicht signifikant ändern, dann kann diese Aussage als gesichert gelten.

SCHACHTEFFEKT

Im Zusammenhang mit den Messungen am Wintower für den Winterfall wurde versucht, den Schachteffekt zu messen. Der Schachteffekt ist ein statischer Zustand, wenn Innen- und Außentemperaturen bei einem Gebäude auseinander fallen. Sind Innen- und Außentemperaturen gleich, gibt es keinen Schachteffekt.

Beim Winterfall ist die Außentemperatur deutlich niedriger als die Innentemperatur und damit kommt es aufgrund der Dichte der Luft zu einer Schichtung und damit schiefen Druckverteilung in der Luftsäule. Rechnerisch werden sich höhere Differenzdruckwerte ergeben, da Rechenmodelle keine Leckagen des Gebäudes berücksichtigen. Diese Annahme ist insofern unrealistisch, da der Treppenraum real viele Leckagen in Form von Fenstern oder Türen aufweist, die mehr oder minder die Anbindung zur Atmosphäre herstellen.

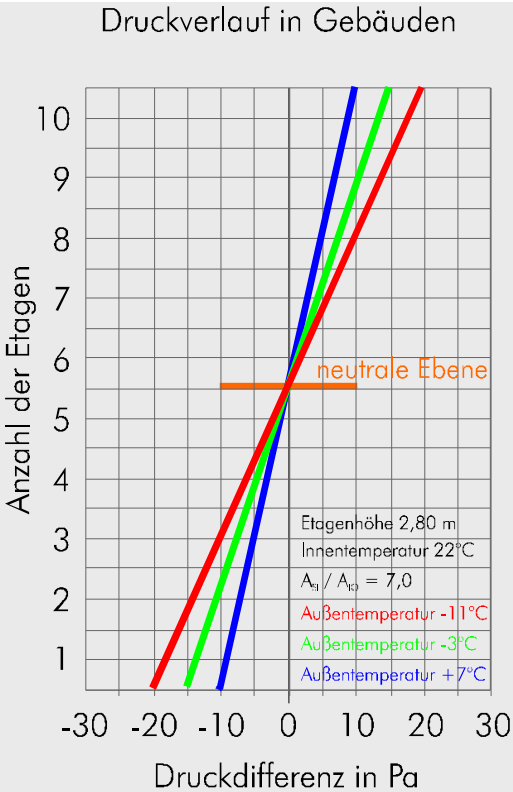


Bild 1 Darstellung einer Druckverteilung beim Schachteffekt

Mit den oben beschriebenen Wetterdaten: Außentemperatur -3°C, Innentemperatur 20°C, nahezu windstill, ergaben sich bei der Messung nachstehende Differenzdrücke zwischen Treppenraum und Atmosphäre.

Tabelle 3 Messwerte der Differenzdrücke (Pa) des Schachteffektes

26. OG	37
EG	-12

Somit wird der Schachteffekt tendenziell bestätigt, nur liegen diese Messwerte weit ab von den errechneten Werten, wenn man bedenkt, dass der Wintower annähernd 30 Geschosse hoch ist. Auch hier wäre es wünschenswert, bei niedrigeren Temperaturen nachzumessen, um den theoretischen Ansatz zu überprüfen.

INSTALLATION DER KOMPONENTEN EINES DRUCKDIFFERENZSYSTEMS

Die folgenden Bilder zeigen diee Installation einer Rauch-Verdrängungs-Anlage mit den notwendigen Komponenten.

Bild 2 *Steuerschränke für Treppenraum WEST und Feuerwehraufzug*

Bild 3 *Ventilatoren und Zuluftkanäle für Treppenhaus WEST und Feuerwehr-aufzug*

Bild 4 *Ventilator und Zuluftkanal für Treppenraum WEST mit fester Mengeneinstellung für den Einblas in Schacht und Treppenraum*

Bild 5 *Steuerschrank Treppenraum OST*

Bild 6 Ventilator und Zuluftkanäle Treppenraum OST

Bild 7 Lüftungsgitter mit Mengeneinstellung

ABNAHME OHNE MÄNGEL

Man könnte darüber lachen, wenn es nicht Ernst wäre …

Prüfzertifikat

Prüfung technischer Anlagen und Einrichtungen
entsprechend Technischer Prüfverordnung
(TPrüfVO – Fassung 5/2000)

Anlage/Einrichtung: Rauchschutzdruckanlage (RDA)

5. ***Bemessung / Druckdifferenzen an denTüren***

Hinweis: Es wurde stichprobenartig an den Türen der Fluren
(Vorraum Aufzug / Wohn- und Nutzungseinheit) der Differenzdruck gemessen

	Geschoss	Messort	Druck [Pa] Aufzug ZU	Druck [Pa] Aufzug AUF	Türfläche [m²]
01	UG	Vorraum	80	114	2,56
02	EG	Vorraum	96	120	3,14
03	1. OG	Vorraum	100	133	3,14
04	2. OG	Vorraum	75	110	3,14
05	3. OG	Vorraum	102	126	3,14
06	4. OG	Vorraum	72	99	2,85
07	5.OG	Vorraum	43	68	2,85
08	6.OG	Vorraum	63	91	2,85
09	7.OG	Vorraum	47	55	2,85
10	8.OG	Vorraum	73	108	2,85
11	9.OG	Vorraum	66	88	2,85
12	10. OG	Vorraum	59	83	2,85
13	11.OG	Vorraum	51	89	2,85
14	12. OG	Vorraum	101	130	2,85
15	13. OG	Vorraum	90	116	2,85
16	14. OG	Vorraum	114	141	2,85
17	15. OG	Vorraum	82	108	2,85
18	16. OG	Vorraum	32	58	3,14
19	17. OG	Vorraum	98	126	3,14
20	18. OG	Vorraum	118 Links 127 Rechts	143 158	2,37

6. ***Gefährliche Mängel***

keine Vorhanden

7. ***Sonstige Mängel***

Durch hohe Druckdifferenzen die auf Türen der Wohn- und Nutzungseinheiten wirksam werden, entsteht der Eindruck von versperrten Türen, was die Evakuierung der Personen erschweren kann. Die Normwerte 50 Pa bei einer Tür von 2 m² (Öffnungskraft 100 N) wurden teilweise sehr stark überschritten. Im Extremfall wird eine Kraft von über 400 N benötigt um die Tür zu öffnen (14 OG. Türfläche 2,85 m² x 141 Pa).
Zusätzlich wird die Anpresskraft durch die nachträglich zum Türobenschließer angebrachten Türdämpfersysteme von Typ Dictator noch verstärkt.
Ein weiterer Betrieb der Anlage sollte mit der zuständigen Behörde abgeklärt werden!

Weil in Betriebszeiten der RDA-Anlage im Ventilatorraum ein sehr starker Unterdruck erzeugt wird, ist es zur Ablösung der Brandschutzverkleidung des Installationsschachtes gekommen. Ursache - Ansaugung der Falschluft durch diesen Installationsschacht.

8. ***Abschließende Stellungnahme***

Die Anlage ist in einem ordnungsgemäßen Zustand, betriebssicher und wirksam.
Die dafür bauordnungsrechtlich geforderten Brandschutzmaßnahmen sind unter Berücksichtigung unserer Bemerkungen im Pkt. 7 ebenfalls betriebssicher und wirksam.
Die gemessenen Druckdifferenzen weichen teilweise erheblich von den Sollwerten ab.

BRANDSCHUTZKONZEPT FÜR DEN NEUBAU VON INSTITUTSGEBÄUDEN IN EINER EHEMALIGEN EISENBAHNAUSBESSERUNGSHALLE

Reinhold, Dobbernack und Dietmar Hosser
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig

EINLEITUNG

Beim Errichten von Gebäuden stehen neben den Anforderungen zur sicheren Nutzung ebenso die Anforderungen zu den laufenden Kosten des Betriebs mit im Vordergrund. Durch die Strukturänderungen der letzten Jahrzehnte im Industriebereich verfügen wir über viele Gebäude ohne Nutzung, die teilweise im Kern von Städten angeordnet sind und unter Denkmalschutz stehen. In Hallen ausreichender Größe lassen sich Gebäude integrieren, denen die Halle als Wetterhülle dienen kann. Für solche "Haus in Haus"-Systeme können integrale Energiekonzepte mit dem Ziel eines geringen Verbrauchs für Primärenergie, Wärme, Kälte und Strom umgesetzt werden.

Durch die besondere Anordnung der Nutzungen in einer Wetterhülle lassen sich die Anforderungen des Baurechts nicht immer direkt umsetzen. Daher ist ein Brandschutzkonzept mit einer zielorientierten Gesamtbewertung des baulichen, anlagentechnischen sowie des abwehrenden Brandschutzes erforderlich.

In einer leer stehenden Eisenbahnausbesserungshalle in Lingen (Niedersachsen) sollen zehn Institutsgebäude einer Fachhochschule errichtet werden, die über eine Erschließungsstraße in offener Verbindung stehen. Durch Cafe, Bibliothek, Hörsäle, Labore, Sendestudios und Aktionsbereiche in der Halle sowie die Nähe zur Innenstadt entsteht ein attraktiver Ort für die Nutzer. Daher ist für eine Bewertung zusätzlich die Niedersächsische Versammlungsstättenverordnung zu beachten.

Dieser Beitrag zeigt, wie moderne Ingenieurmethoden in die Beurteilung einfließen und unter Berücksichtigung der Vorgaben des integralen Energiekonzeptes für die Halle und die Institutsgebäude zu sicheren Lösungen hinsichtlich der Brandschutzanforderungen führen.

BAULICHE SITUATION

In der unter Denkmalschutz stehenden Halle des ehemaligen Eisenbahnausbesserungswerkes in Lingen werden mehrere Institutsgebäude errichtet. Diese Halle ist ca. 200 m lang und ca. 56 m breit. Sie weist in Querrichtung zwei unterschiedliche Höhen auf. Das Dach liegt bei der Halle 0 in ca. 8,5 m und bei Halle I/II in ca. 14,5 m Höhe. Die Halle ist mit einer ungeschützten Stahlkonstruktion ausgeführt.

Die Halle wird über die Eingangsbereiche „Nord“, „Süd“ und „Ost“ erschlossen. Weitere Ausgänge aus der Halle ins Freie befinden sich auf der West- und Ostseite.

An der Längsseite der Halle befindet sich die Feuerwehrzufahrt, Aufstellflächen für die Feuerwehr sind an den Giebelseiten vorhanden. Große Tore mit einer Höhe von ca. 5 m an den Giebelseiten ermöglichen eine Durchfahrt mit Feuerwehrfahrzeugen durch die Halle mit Aufstellflächen im frei gehaltenen Mittelbereich für eine Brandbekämpfung in den Institutsgebäuden.

In der Halle sind entlang den Außenseiten zehn Gebäude unterschiedlicher Größe angeordnet und werden als Bibliothek, Mensa, Hörsäle oder Institutsgebäude genutzt. Die Gebäude werden in Stahlbetonbauweise errichtet, die Außenwände und Fassaden bestehen aus nicht brennbaren Baustoffen mit einem großen Anteil an Glas. Für die Halle und die zehn Gebäude wird ein integrales Energiekonzept umgesetzt unter Ausnutzung von Flächenkühlung und mechanischer Lüftung. Bild 1 zeigt die Anordnung der Institutsgebäude in der Halle.

Die Instituts- und Hörsaalgebäude werden über einen Eingang von der Hallenmitte erschlossen von dem man in ein Foyer gelangt, das alle Ebenen der Gebäude über Deckendurchbrüche miteinander verbindet. In den Gebäuden befinden sich zwei Treppenräume, die von den einzelnen Nutzungen über offene Galerien erreicht werden. Die Treppenräume haben Ausgänge direkt in die Halle. Von dort gelangt man in deutlich weniger als 35 m ins Freie. Die Gebäude verfügen über einen Aufzug, dessen Schacht in feuerbeständiger Bauweise ausgeführt ist. Die Gebäude sind nicht in Brandabschnitte unterteilt.

In den Institutsgebäuden befinden sich im Erdgeschoss Technik- und Laborräume in den Obergeschossen Büros. In den einzelnen Flurebenen sind Tische und Stühle angeordnet. In den Hörsaalgebäuden sind Unterrichtsräume unterschiedlicher Größe vorhanden.

Die Gebäude erhalten eine Brandmeldeanlage, die auf eine Brandmeldezentrale aufgeschaltet ist. Eine Sprinklerung ist nicht vorgesehen

BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN UND BESONDERE FRAGESTELLUNGEN

Der Neubau von Institutsgebäuden der Fachhochschule Osnabrück in der Halle eines ehemaligen Eisenbahnausbesserungswerkes in Lingen ist wegen der Größe und Nutzung nach § 51 NBauO als bauliche Anlage besonderer Art oder Nutzung anzusehen. Um die allgemeinen Anforderungen nach § 1 NBauO zu erfüllen, können besondere Anforderungen gestellt werden, zumal einzelne Vorschriften der NBauO aus betrieblichen Gründen nicht bzw. nicht in vollem Umfang umgesetzt werden können.

Bild 1 Grundriss der Halle mit Institutsgebäuden (1. Obergeschoss)

Nach §§ 85 und 86 NBauO können Ausnahmen von bauordnungsrechtlichen Vorschriften zugelassen werden bzw. Befreiungen erteilt werden, wenn

- sie mit den öffentlichen Belangen vereinbar sind bzw.
- die Einhaltung der Vorschrift im Einzelfall zu einer offenbar nicht beabsichtigten Härte führen würde und
- die Abweichung auch unter Würdigung nachbarlicher Interessen mit den öffentlichen Belangen vereinbar ist.

In der brandschutztechnischen Beurteilung wird darüber hinaus davon ausgegangen, dass Befreiungen von den Vorschriften der NBauO nur erteilt werden können, wenn die o. g. Schutzziele entsprechend §§ 1 und 20 NBauO durch andere gleichwertige bauliche und/oder anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen erreicht werden.

Zusätzlich muss für die brandschutztechnische Beurteilung der Halle mit den darin angeordneten Institutsgebäuden die in Niedersachsen bauaufsichtlich eingeführte Niedersächsische Versammlungsstättenverordnung (NVStättVO) herangezogen werden. Weiterhin ist sie auf die Gebäude mit der Nutzung als Mensa sowie die Hörsäle und Seminarräume anzuwenden, weil mehr als 200 Nutzer auf einen gemeinsamen Rettungsweg angewiesen sind.

Die Realisierung des Konzeptes ist abhängig von einer Personenstromanalyse, mit der die Entleerungsdauern aus der Halle und den Hörsälen erfasst werden. Auf Grund der Anforderungen der NVStättVO sowie der offenen Atrien in den Institutsgebäuden ist ein Nachweis der Rauchfreihaltung sowohl für die Halle als auch für die einzelnen Gebäude vorzusehen. Dieser Nachweis kann nur über Ingenieurmethoden geführt werden. Der Abstand zwischen Hallendach und Dachfläche der Gebäude liegt teilweise unter 1 m (Bild 2), so dass nach oben abströmende Rauchgase sich stauen können. Daher ist für den Nachweis der Rauchausbreitung die Anwendung eines CFD-Modells erforderlich.

BAUTECHNISCHE BRANDSCHUTZMASSNAHMEN

Institutsgebäude

Die Institutsgebäude stellen jedes für sich alleine einen Brandabschnitt dar. Die Abstände zu anderen Gebäuden betragen in der Regel mindestens 10 m. Lediglich zwischen zwei Gebäuden beträgt der Abstand 8 m. Aufgrund der Gebäudeabstände kann bei einem Brand in einem der Gebäude ein Feuerübersprung auf benachbarte Gebäude ausgeschlossen werden.

Einige Institutsgebäude weisen Längen von 48 m bis 60 m auf. Da diese Gebäude aus Gründen der Nutzung und der Architektur nicht unterteilt werden können, wird der zulässige Brandwandabstand nach DVNBauO überschritten. Gegen die Überschreitung des zulässigen Brandwandabstands von 40 m bestehen aus folgenden Gründen keine brandschutztechnischen Bedenken:

- Die Gebäude erhalten eine Brandmeldeanlage. Bei Branddetektion wird eine Durchsage zur Räumung des betroffenen Gebäudes automatisch ausgelöst.
- In jedem der Gebäude befinden sich zwei notwendige Treppenräume, über die man direkt in die Halle gelangt. Die Zugänge zu den Treppenräumen werden durch Türen in T 30-RS Qualität abgetrennt. Da sich die Treppenräume an den Enden der Gebäude befinden, ergeben sich Rettungswegläng-gen von deutlich weniger als 35 m

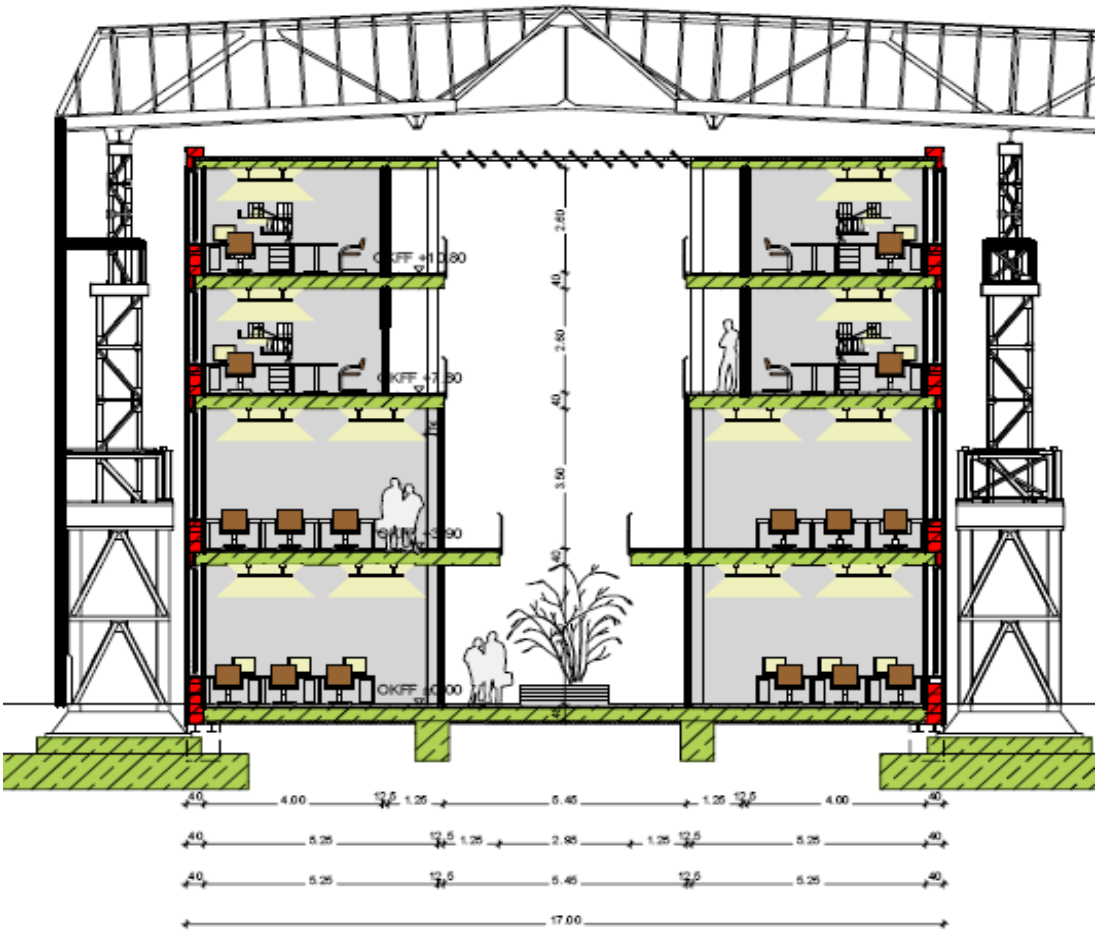


Bild 2 Schnitt durch ein Institutsgebäude mit darüber angeordnetem Hallendach

Die Ebenen der Gebäude stellen grundsätzlich eigene (Unter-) Abschnitte dar, die durch feuerbeständige Decken voneinander getrennt sind. Deckendurchbrüche sind durch die atriumartigen Eingangsbereiche der Institutsgebäude vorhanden. Hier sind besondere Maßnahmen gegen eine Rauchausbreitung erforderlich, auf die im Folgenden noch eingegangen wird.

Im Rahmen des integralen Energiekonzeptes, das für die Halle und die einzelnen Gebäude vorgesehen ist, müssen möglichst viele Räume eines Gebäudes in einen kontinuierlichen Luftaustausch eingebunden werden. Dazu sind in den feuerhemmenden Flurtrennwänden zwischen den Nutzungen und den Atrien Überströmöffnungen vorgesehen. Dazu werden oberhalb der Türen Schallabsorber aus Metall eingebaut, die mit einem dämmschichtbildenden Anstrich versehen sind. Dieser schäumt im Brandfall unter Temperatureinfluss auf und verschließt den Querschnitt des Schallabsorbers. Dies kann hingenommen werden, weil

- in der Anfangsphase eines Brandes nur in begrenztem Umfang Rauchgase aus einem Raum in das Atrium übertreten und dort nach oben abströmen können,
- die Rauchgase oberhalb der Köpfe fliehender Personen austreten,
- in jeder Ebene Rauchmelder in der Nähe der Überströmöffnung unter der Decke angebracht sind, die eine unverzügliche Alarmierung ermöglichen,
- die Lüftungsanlage für das integrale Energiekonzept abgeschaltet wird, so dass eine Rauchausbreitung über die Lüftungsanlage vermieden wird.

Sofern Flurtrennwände oder andere Wände in feuerbeständiger Bauweise ausgeführt sind und Überströmöffnungen für das integrale Energiekonzept aufweisen, müssen diese Öffnungen im Brandfall durch K 90 Klappen verschlossen werden.

Die tragenden und aussteifenden Bauteile (Wände, Pfeiler, Stützen, Decken) erfüllen die Feuerwiderstandsklasse F 90-AB. Bei allen Gebäuden ist das Tragwerk des Daches als oberer Abschluss mindestens in feuerhemmender Bauweise ausgeführt.

Halle

Die Halle selbst ist als ungeschützte Stahlkonstruktion ausgeführt. Unter Berücksichtigung des Ausnutzungsgrads der einzelnen Stäbe der Tragkonstruktion, den statischen Nachweisen bei unterschiedlichen Lastfällen sowie deren Lastfallkombinationen wurde bei der ungünstigsten Beanspruchung eine kritische Stahltemperatur von ca. 640 °C ermittelt.

Durch die unmittelbare Nähe der Institutsgebäude zu den Außenwänden und dem Dach der Halle muss sichergestellt sein, dass eine direkte Beaufschlagung der Tragkonstruktion durch austretende Flammen bzw. Rauchgase vermieden wird. Im Hinblick auf die Stahlstützen wurde bei der Planung der Gebäude darauf geachtet, dass die Fensteröffnungen in den Außenwänden einen Mindestabstand von 1 m von den Stützen einhalten. Bei diesem Abstand sind aufgrund der Erkenntnisse von Realbrandversuchen in einem zum Abbruch bestimmten Gebäude [1] die Temperaturen durch Einmischung von Umgebungsluft so weit abgekühlt, dass die kritische Temperatur des Stahls sicher nicht erreicht wird.

In einem Fall konnte dieser seitliche Abstand nicht eingehalten werden und musste ausnahmsweise auf 89 cm verringert werden. Diese Situation wurde durch eine Brandsimulation mit dem „Fire Dynamic Simulator“ (FDS) des „National Institute of Standards and Technology“ (NIST) [2] näher untersucht.

Die maßgebende Eingangsgröße für die Ermittlung der Temperatur- und Rauchentwicklung ist die Wärmefreisetzungsrate. In Anlehnung an den Leitfaden „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ [3] wird der in Bild 3 dargestellte Verlauf der Wärmefreisetzungsrate zu Grunde gelegt. Die rechnerischen Ergebnisse zeigten, dass die Temperaturen nicht die kritische Stahltemperatur von 640 °C überschritten.

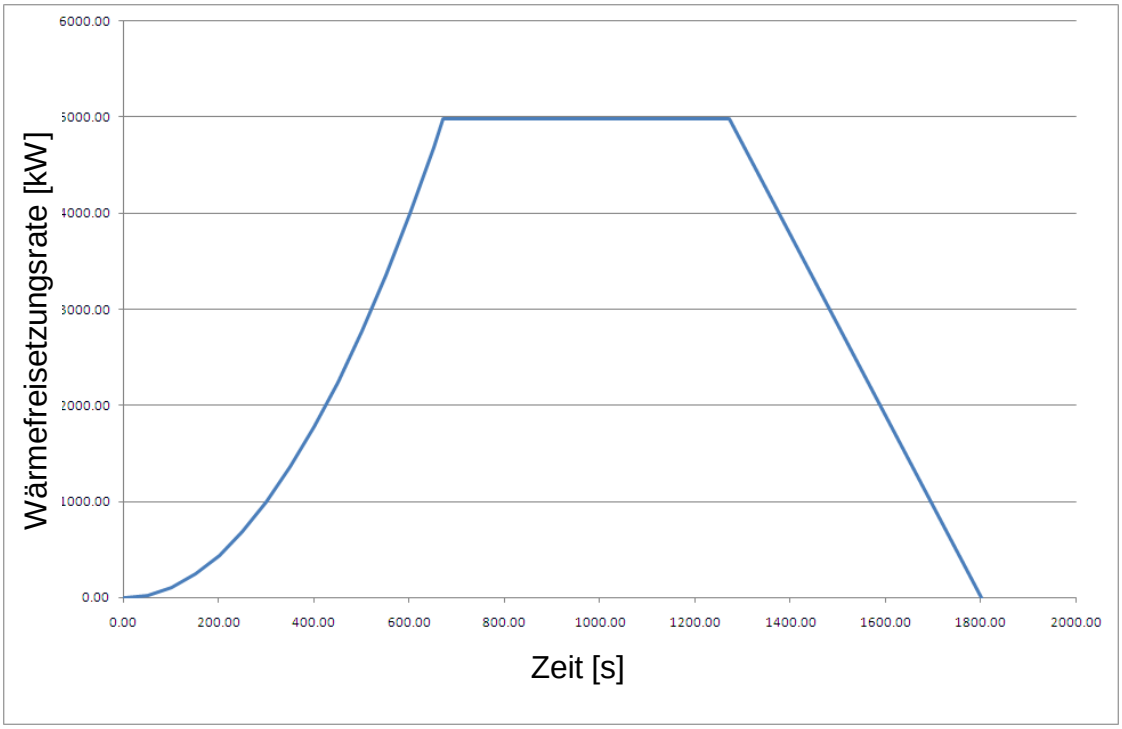


Bild 3 Wärmefreisetzungsrate eines natürlichen Brandes in einem Institutsgebäude

Da die Dächer einzelner Gebäude zum Hallendach Abstände von weniger als 1 m aufweisen, können die bei einem Brand in der obersten Ebene aus dem Fenster – oder aus dem Atriumdach - austretenden heißen Rauchgase die ungeschützte Tragkonstruktion beaufschlagen. Die Rauchgase strömen nach oben in die Sheds, die im Sockel 4,5 m breit sind und in deren Mitte sich die Fachwerkbinder als Haupttragglieder des Daches befinden.

Die Temperaturbeanspruchung im Dachbereich wurde ebenfalls mit dem CFD Modell FDS und einer Wärmefreisetzungsrate nach Bild 3 untersucht. Hohe Temperaturen können nur direkt über der Fenstermitte gelegene untergeordnete Bauteile der Dachkonstruktion gefährden. Die heißen Rauchgase breiten sich horizontal unter dem Dach aus, kühlen sich dabei ab und strömen dann durch die nächstgelegenen RWA-Öffnungen in den Sheds ins Freie ab. Die Fach-

werkbinder in der Mitte des Sheds werden lediglich auf unkritische Temperaturen unter 300 °C erwärmt.

RETTUNGSWEGE

Nachweis der Entfluchtung im Brandfall

Durch die Haus in Haus Situation der Gesamtanlage müssen bei der Bewertung der Rettungswegsituation einerseits die Anforderungen des Baurechts für die einzelnen Gebäude umgesetzt werden und andererseits muss untersucht werden, ob sich Personenströme aus unterschiedlichen Gebäuden in gemeinsam genutzten Rettungswegen so stark behindern können, dass sich nicht hinnehmbar lange Zeiten bis zur Räumung der Gebäude ergeben. Dies kann im Einzelfall dazu führen, dass zusätzliche Rettungswege aus einem Gebäude erforderlich werden. Deshalb wird folgende Vorgehensweise gewählt:

Die Seminar- und Hörsaalgebäude stellen von der Nutzung eine Einheit dar. Die Rettungswege aus den großen Hörsälen führen teilweise in die beiden Treppenräume der gesamten Nutzung. Als zusätzlicher Rettungsweg aus einem der großen Hörsäle führt eine Außentreppe direkt in die Halle. Es soll untersucht werden, ob diese Rettungswege genügen, eine zügige Entleerung beider Gebäude sicher zu stellen, wenn beide Gebäude voll belegt sind. Hierzu werden Berechnungen mit einem Entfluchtungsmodell durchgeführt.

Die Halle selbst kann als Veranstaltungsort genutzt werden. Nach den vorliegenden Plänen ist der Bereich der Durchgangsstraße zwischen den Gebäuden dafür vorgesehen. Bei der Untersuchung wird von einem Straßenfest mit einer hohen Personendichte ausgegangen. Die Zeit bis zum Entleeren der Halle wird mit einem Entfluchtungsmodell bestimmt.

Für die Entfluchtungsberechnungen wird das Modell FDS+Evac verwendet, das in das Brandsimulationsmodell FDS integriert ist [4]. Generell setzt sich die Zeit von der Entstehung eines Brandes bis zur vollständigen Räumung des Gebäudes aus mehreren Zeitabschnitten zusammen.

$$t_{Räumung} = t_{Detektion} + t_{Alarm} + t_{Reaktion} + t_{Flucht}$$

Das Modell FDS+Evac simuliert die Fluchtzeit t_{Flucht} von Personen. Die Geometrie des Gebäudes wird zu diesem Zweck vorab diskretisiert, wobei der exakten Wiedergabe der Tür- und Treppenbreiten eine hohe Bedeutung zukommt. Die Zeitabschnitte vom Brandbeginn bis zur Brandmeldung ($t_{Detektion}$), von der Meldung bis zur Alarmierung der betroffenen Personen (t_{Alarm}) und von der Alarmierung bis zum Fluchtbeginn ($t_{Reaktion}$) werden entsprechend den vorhandenen Randbedingungen des Gebäudes und der Nutzung individuell aufgrund von Literaturangaben gewählt.

Bei den Entfluchtungssimulationen wurden die Eigenschaften der Personen entsprechend vorgegeben. Die gesamte Personenmenge wurde je zur Hälfte auf männliche und weibliche Personen aufgeteilt, wobei die Gehgeschwindigkeit der Männer bei 1,35 m/s +/- 0,30 m/s und die der Frauen bei 1,15 m/s +/- 0,20 m/s liegt.

Der Programmteil FDS+Evac von FDS nutzt den Lösungsalgorithmus einer Strömungsberechnung zur Generierung des Potentialfeldes. Dazu wird der Personenstrom einer hochviskosen Flüssigkeit gleichgesetzt und diese Flüssigkeit über die Ausgänge in das Freie gesaugt. Die entstehenden Ströme liefern die Basis für die Bewegung der Personen in der Simulation. Die dabei entstehenden Anziehungskräfte und Abstoßungsreaktionen werden mit mechanischen Größen beschrieben. Diese Kräfte dienen dazu, dass die Personen in der Simulation realistischen Abstand zu anderen Personen und Wänden einhalten [5], [6] und [7].

Seminar- und Hörsaalgebäude

Es wurden insgesamt 830 Personen in den Seminar- und Hörsälen und weitere 25 Personen im Flurbereich des Gebäudes platziert. Die minimale Auflösung der Diskretisierung betrug aufgrund der Größe des zu simulierenden Bereichs 30 cm. Da die Türbreiten von 1,2 m ein Vielfaches von 30 cm sind, ergeben sich keine Probleme bei der Modellierung.

Die Abbildung 4 zeigt die Ebene des ersten Obergeschosses des Gebäudes kurz nach Beginn der Fluchtbewegungen. In Abbildung 5, nur etwa 10 Sekunden später, sind bereits Staubildungen an den Türen der Seminar- und Hörsäle erkennbar.

Der Mittelwert der Entfluchtungszeit liegt unter den angegebenen Randbedingungen bei 4 bis 5 Minuten. In dieser Zeit sind alle Personen in den Treppenräumen angekommen oder haben die Räume über die Freitreppe in Richtung Halle verlassen. Nach Erreichen der Halle, die wie das „Freie“ angesehen wird, gelangt man in weniger als 15 m über Erschließungstüren oder Fluchttüren an den Stirnseiten und Seitenwänden der Halle ins Freie.

Zu der berechneten Entfluchtungszeit sind noch Zeiten für Detektion, Alarmierung und Reaktion der betroffenen Personen zu addieren, so dass im ungünstigen Fall die Zeitdauer für die vollständige Räumung des Seminar- und Hörsaalgebäudes bis zu 10 min betragen kann.

Die Räumungszeit kann um 2 - 3 Minuten verringert werden, wenn an den Rückseiten beider Hörsäle jeweils eine Freitreppe in die Halle geführt wird. Weiterhin kann durch eine akustische Ansage zur Räumung des Gebäudes bei Detektion eines Brandes die Reaktionszeit verringert werden. Beide Maßnahmen sollen in Absprachen mit dem Architekten und dem Bauherrnvertreter ausgeführt werden.

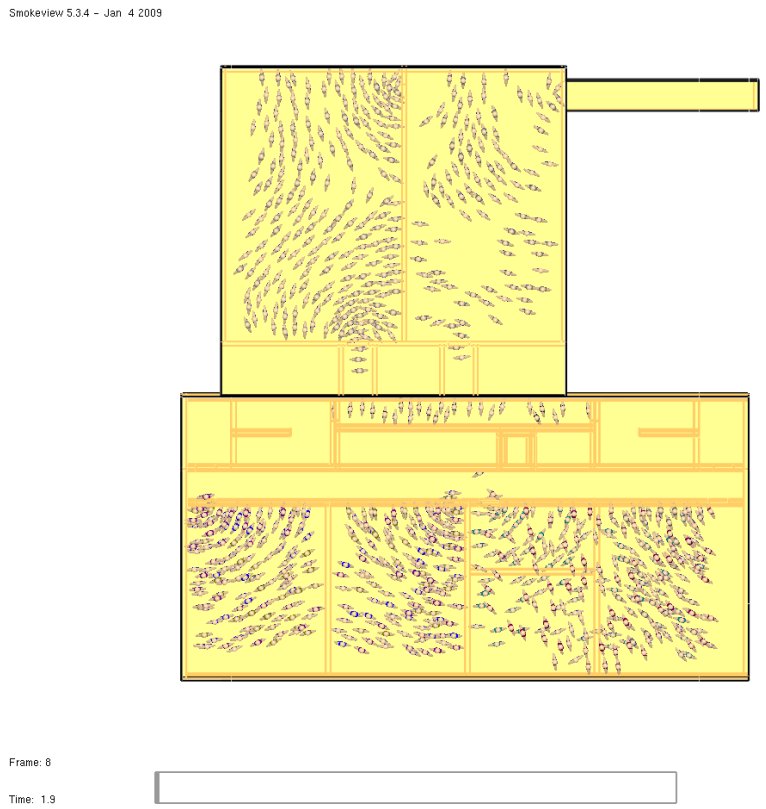


Bild 4 Beginn der Entfluchtung im Hörsaalgebäude

Bild 5 Staubildung vor den Durchgangstüren

Halle

Die Halle kann wegen der zentralen Erschließung für Veranstaltungen unterschiedlicher Art genutzt werden. Für die Entfluchtungsberechnungen wird der Durchgangsbereich zwischen den Gebäuden ausgewählt. Nach [3] kann bei Straßenfesten oder Musikevents von einer Personendichte bis maximal 4 Personen pro m² ausgegangen werden. Unter diesen Randbedingungen können sich bis zu 4000 Personen in der Halle befinden (Bild 6).

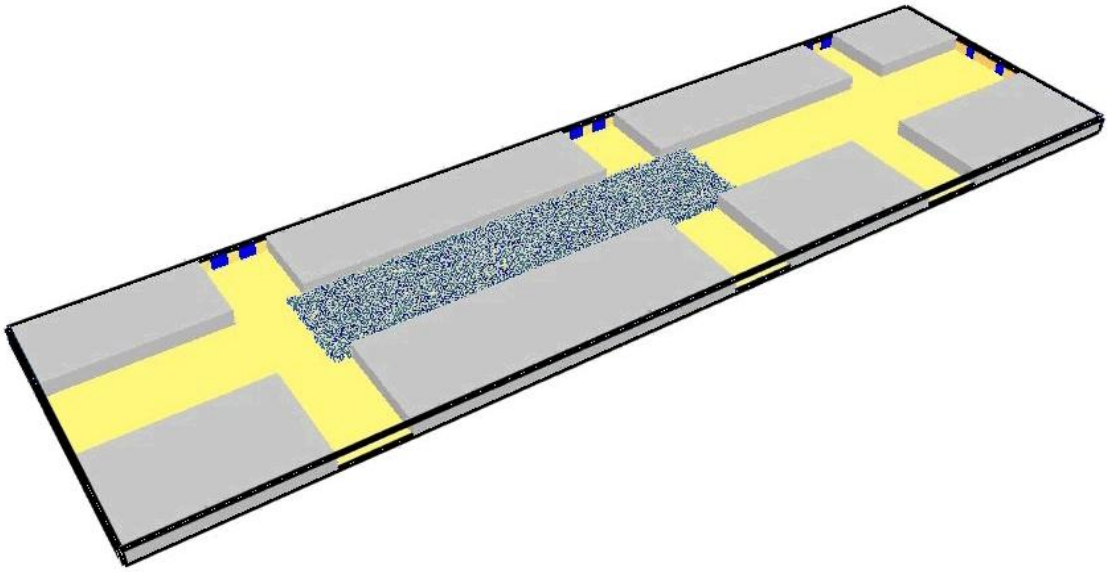


Bild 6 Schematische Darstellung der Halle mit 4000 Personen vor der Alarmierung

Die minimale Auflösung der Diskretisierung betrug aufgrund der Größe des zu simulierenden Bereichs 50 cm. Da die Türbreiten ein Vielfaches von 50 cm betragen, ergaben sich für die Modellierung keine Probleme.

Der Mittelwert der Entfluchtungszeit betrug 2 bis 3 Minuten. In den Bild 6 bis 8 sind die Zustände vor der Flucht, kurz nach Fluchtbeginn und nach ca. 1 Minute Fluchtdauer dargestellt. Durch die ausreichend großen Türen in den Seitenwänden und den Stirnseiten der Halle sind optimale Fluchtmöglichkeiten vorhanden. Durch rechnerische Nachweise zur Rauchausbreitung und –ableitung im nächsten Abschnitt wird zusätzlich gezeigt, dass eine Verrauchung der Halle im Brandfall nicht zu erwarten ist. Somit ist eine Gefährdung von flüchtenden Personen in der Halle durch Brandrauch auszuschließen.

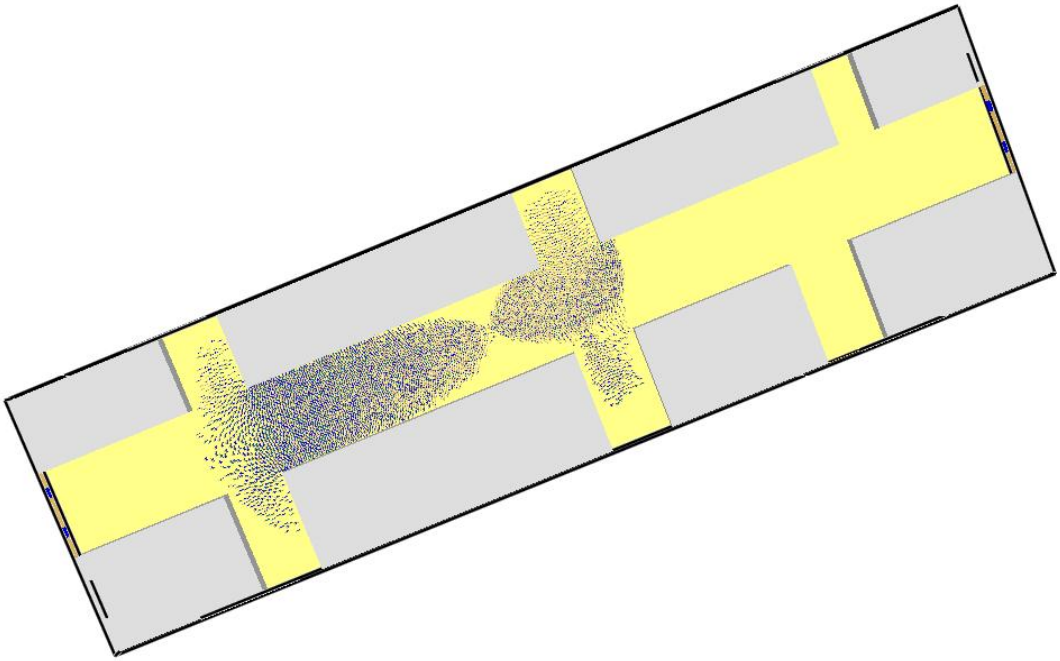


Bild 7 Beginn der Entfluchtung aus der Halle

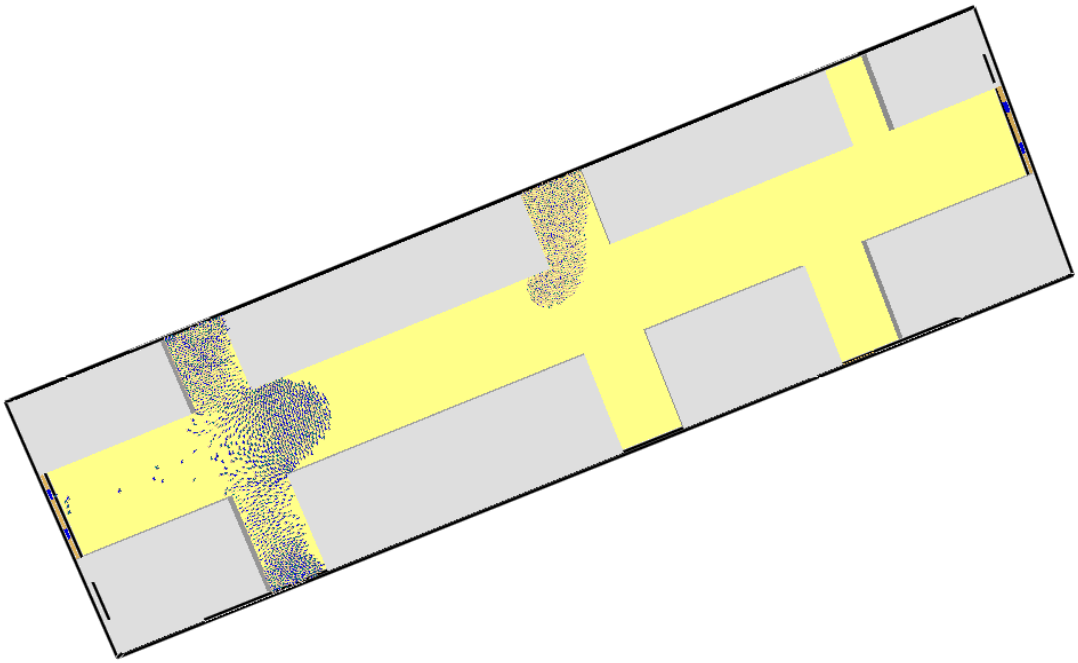


Bild 8 Entfluchtung der Halle nach ca. 1 Minute

ENTRAUCHUNGSMASSNAHMEN

Allgemeines

Die besondere Brandschutzproblematik bei Gebäuden mit Atrien besteht darin, dass es im Brandfall durch die im Atrium aufsteigenden Rauchgase nicht zu einer Rauchverschleppung kommen darf, die Personen in den oberen Ebenen bei ihrer Flucht zu einem Treppenraum gefährden. Das bedeutet, dass die im Atrium entstehenden oder aus einem Nutzungsbereich in das Atrium gelangenden Rauchgase zuverlässig abgeführt werden müssen. Da sich die Gebäude in ihrer Höhe und Ausdehnung unterscheiden, sind für jedes Gebäude individuelle Maßnahmen zur wirksamen Rauchableitung erforderlich.

Die Halle stellt eine Wetterhülle für die Institutsgebäude dar. Da die Dächer der Gebäude zum Teil nur einen geringen Abstand zum Hallendach haben, kann sich aus einem Atriumdach austretender Rauch unter dem Hallendach stauen und das Abströmen behindert werden. Deshalb sind die Anordnung und Größe der RWA-Anlagen im Hallendach von besonderer Bedeutung.

Entrauchung von Gebäuden mit Atrien

Bei den Atriumgebäuden ist eine natürliche Rauchableitung im Atriumdach kombiniert mit einer natürlichen und maschinellen Frischluftzufuhr im Erdgeschoss vorgesehen. Als repräsentative Brandszenarien kommen vollentwickelte Brände (Bild 3) im Erdgeschossbereich des Atriums oder in einem mit dem Atrium in Verbindung stehenden Raum des Erdgeschosses in Betracht. Dabei wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Ausgelöst durch automatische Brandmelder werden die Klappen zur natürlichen Rauchableitung im Dachbereich des Atriums geöffnet.
- Gleichzeitig wird die maschinelle Zuluft im Bereich des Erdgeschosses in Betrieb genommen und die Türen des Eingangs werden automatisch geöffnet.

Die für die Einhaltung des Schutzzielkriteriums „Sichtweite ca. 15 m“ erforderlichen Maßnahmen werden auf der Grundlage einer Parameterstudie mit Hilfe des CFD-Modells FDS ermittelt. Als Parameter werden variiert:

- Maschinellen Zuluft auf jeder der Stirnseiten des Atriums im Erdgeschoss,
- Abluftfläche (RWA) in m² im Dach des Atriums,
- Abluftflächen (RWA) in m² in den Sheds des Hallendaches sowie Öffnungen in den Stirnseiten der Halle.

Der Simulationszeitraum wird auf 20 Minuten begrenzt, weil sich zu diesem Zeitpunkt quasi-stationäre Verhältnisse bezüglich der Entrauchung und der Sichtweite eingestellt haben und ungünstigere Verhältnisse auch bei längerer Branddauer (z. B. bei spätem Eintreffen der Feuerwehr) nicht zu erwarten sind.

Bild 9 zeigt beispielhaft die Ergebnisse der Rauchausbreitung und Sichtweite im Atrium eines Gebäudes. Die austretenden Rauchgase stauen sich unter dem Dach der Halle auf und breiten sich horizontal aus. Sie sind durch Rauchabzugsöffnungen im Hallendach, die im Bereich möglicher aufsteigender Rauchgase angeordnet sind, gezielt abzuführen.

In Tabelle 1 werden für die Gebäude mit Atrien die erforderlichen Öffnungsflächen für die Rauchableitung im Dach als Rauch- und Wärmeabzugsanlagen nach DIN EN 12101-2 sowie die Öffnungen für die natürliche Zuluft und die Volumenströme für die maschinelle Zuluft im Erdgeschoss angegeben. Durch die Kombination aus natürlicher und maschineller Zuluft wird ein ausreichendes Verhältnis zwischen Zuluft- und Abluftstrom erreicht, so dass im Brandfall eine wirksame Rauchabfuhr gewährleistet ist.

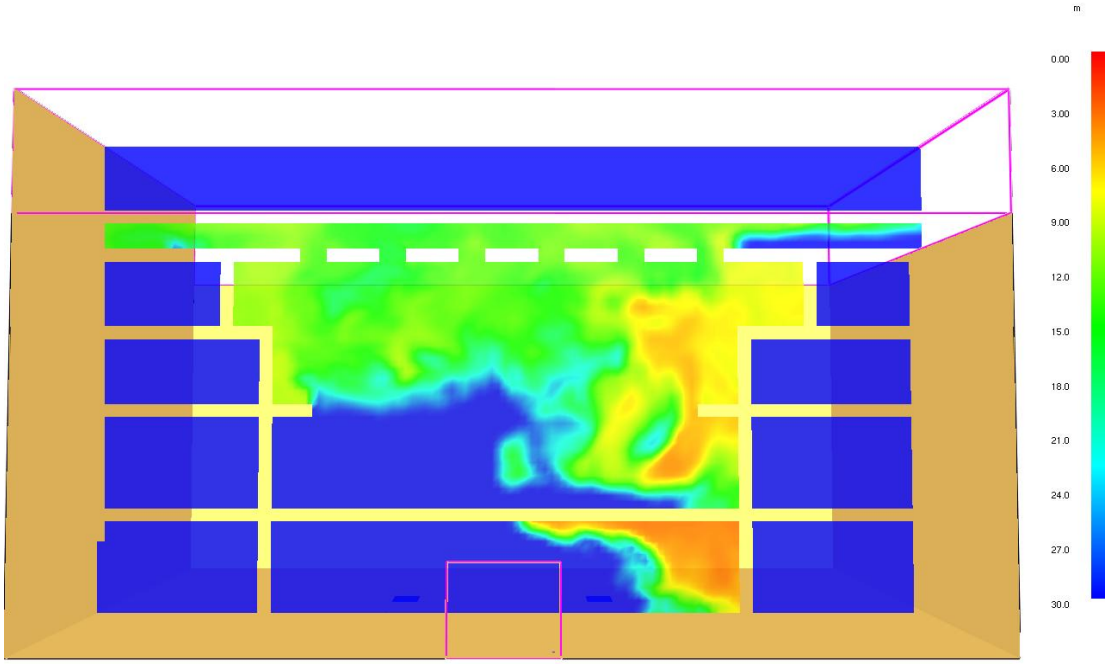


Bild 9 Atrium bei einem Vollbrand (5 MW) im Erdgeschoss und Darstellung der Erkennungsweite nach 20 min Branddauer (Skala: Erkennungsweite in m)

Tabelle 1 Anforderungen an die Rauchableitung in Atrien

Gebäude	Öffnungsfläche im Dach [m²]	Natürliche Zuluft [m²]	Maschinelle Zuluft [m³/h]
KB	30	10	2 x 15.000
KC	50	10	2 x 15.000
KD	15	10	2 x 15.000
KE	15	10	2 x 10.000
KF	40	10	2 x 10.000
KG	25	10	2 x 10.000

Halle

Für die Auslegung der natürlichen Rauchableitung im Dach der Halle sind grundsätzlich die gleichen Brandszenarien wie für die Atriumgebäude (siehe Bild 3) maßgebend. Zur Ermittlung der Brandwirkungen in der Halle und zum Nachweis der Wirksamkeit der Rauchableitung wurden Brandsimulationsrechnungen mit dem CFD Modell FDS [2] durchgeführt. Dabei wurden die Größe und Anordnung der RWA-Anlagen in den Sheds des Hallendachs und der Zuluftöffnungen in den Außenwänden der Halle variiert wurden. Weiterhin wurden folgende Annahmen getroffen:

- Ausgelöst durch automatische Brandmelder in einem Gebäude werden die RWA-Anlagen sowohl im Atriumdach dieses Gebäudes als auch im betroffenen Bereich des Hallendachs geöffnet.
- Gleichzeitig werden die Tore und Lüftungsklappen in den Außenwänden der Halle automatisch geöffnet.

In Bild 10 ist die Rauchentwicklung oberhalb eines Gebäudes nach 900 Sekunden Branddauer dargestellt. Rauch strömt aus den Sheds des Hallendachs ins Freie. Unter der Hallendecke hat sich eine dünne Rauchgasschicht ausgebildet, die bis zu den Nachbargebäuden reicht. Diese horizontale Rauchausbreitung wird bei der Einteilung der Halle in Rauchabschnitte berücksichtigt.

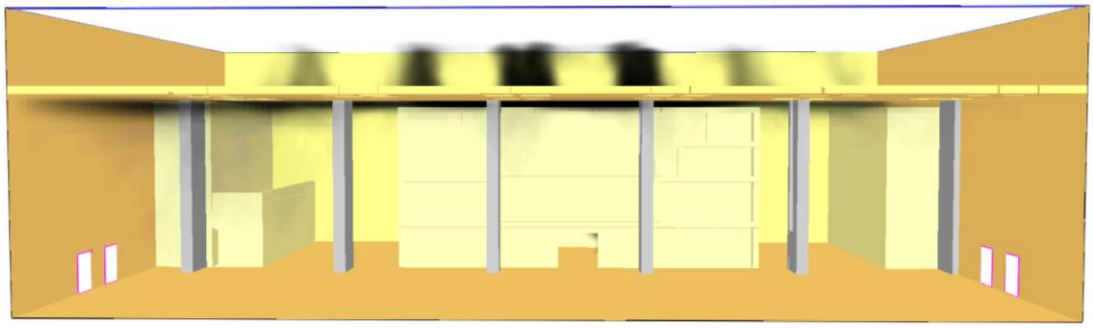


Bild 10 Gebäude KB, Rauchableitung im Hallendach, Dauer des Brandes 900 s

Für den Bereich der Durchfahrtstraße wird die erforderlich Fläche der Rauch- und Wärmeabzüge im Hallendach nach DIN 18232-2 bestimmt. Dabei wird eine rauchgasarme Schicht unterstellt, die eine gefahrlose Durchfahrt von Feuerwehrfahrzeugen ermöglicht.

Tabelle 2 legt fest, wie groß die erforderlichen aerodynamischen Öffnungsflächen in den einzelnen Sheds des Hallendachs sein müssen. Im Bereich der Achsen C-C sind die erforderlichen Rauchabzugsflächen sehr groß, weil die Institutsgebäude bis kurz unter das Hallendach reichen.

Die Halle hat Abmessungen von 200 m Länge und 56 m Breite. Wegen ihrer Ausdehnung muss die Halle in Rauchabschnitte unterteilt werden. Da Anforderungen des Denkmalschutzes zu beachten sind, ist eine Unterteilung der Halle

durch Rauchschürzen problematisch. Um den Anforderungen einer Rauchabschnittsbildung dennoch gerecht zu werden, wird die Halle in vier „imaginäre“ Rauchabschnitte unterteilt, die in Bild 11 gekennzeichnet sind. Bei Ansprechen eines Rauchmelders in einem der vier Bereiche, werden im gesamten „Rauchabschnitt“ die RWA-Anlagen im Dach der Halle automatisch geöffnet. Zur Begrenzung der horizontalen Rauchausbreitung unter dem Hallendach bei einem Brand in einem Gebäude, überlappen sich die Grenzen der „Rauchabschnitte“ jeweils zwischen den Gebäuden.

Tabelle 2 Aerodynamische Öffnungsflächen im Hallendach, Achse A-A, B-B und C-C

Shed Nr.	Achse A-A [m²]	Achse B-B [m²]	Achse C-C [m²]
1/2	2	4	20
2/3	2	4	20
3/4	3	4	20
4/5	3	4	20
5/6	3	4	20
6/7	3	4	20
7/8	3	4	20
8/9	3	4	20
9/10	3	4	20
10/11	3	4	20
11/12	3	4	20
12/13	3	4	20
13/14	4	4	20
14/15	5	4	20
15/16	5	4	20
16/17	5	4	20

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit den Besonderheiten einer Haus-in-Haus Situation, bei der zehn Institutsgebäude in eine unter Denkmalschutz stehende Halle integriert werden. Durch die große Zahl der möglichen Nutzer in den Hörsaalgebäuden und in der Halle selbst sind besondere Nachweise durch Entfluchtungsberechnungen erforderlich.

Um den vorhandenen Raum der Halle zu nutzen, haben die Institutsgebäude nur einen geringen Abstand zu der ungeschützten Stahlkonstruktion der Halle. Mit Ingenieurmethoden wird untersucht, ob die Tragfähigkeit der Halle durch lokale Brände in den Nutzungen nicht beeinträchtigt wird. Da die Institutsgebäude durch Atrien erschlossen werden, ist durch rechnerische Nachweise sicherzu stellen, dass entstehende Rauchgase abgeleitet werden.

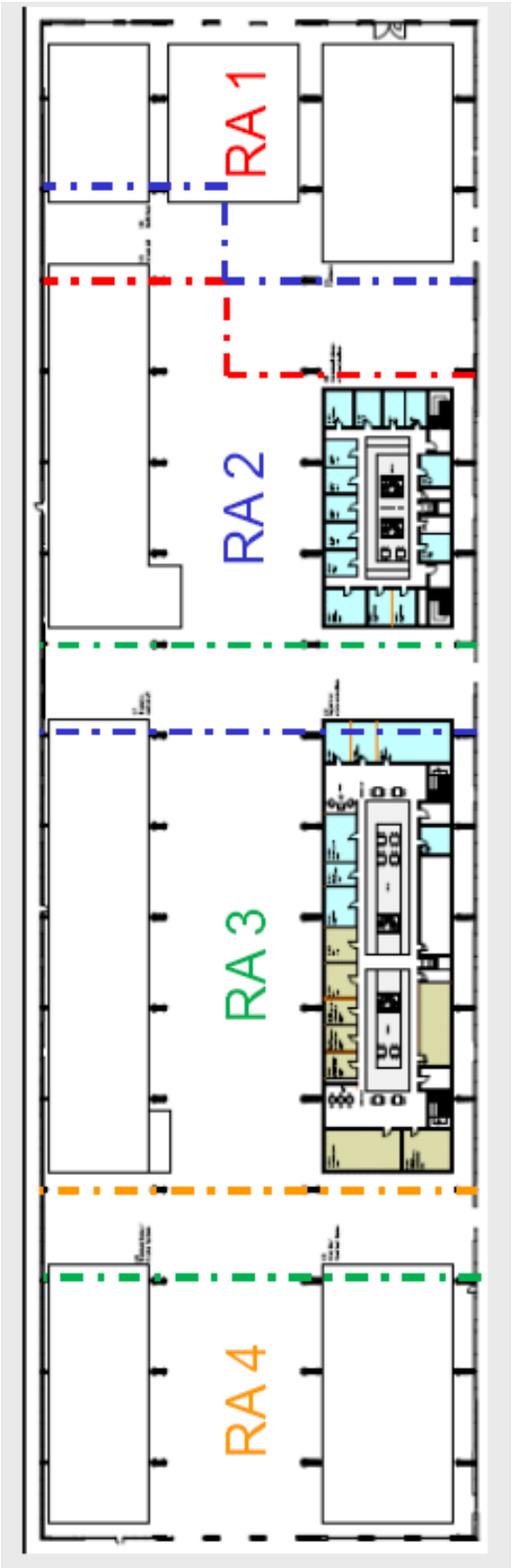


Bild 11 Einteilung der Halle in Rauchabschnitte RA1 bis RA4 (vgl. Bild 1)

Für die Nachweise zur Ermittlung der lokalen Temperaturen an Konstruktionen sowie der Rauchableitung aus den Institutsgebäuden und der Halle wurde das CFD-Modell FDS verwendet. Durch Simulationsrechnungen mit variierten Randbedingungen wurden iterativ die erforderlichen Öffnungsflächen für eine wirksame Rauchableitung aus den Institutsgebäuden und der Halle ermittelt. Um eine unkontrollierte Rauchausbreitung unter dem Hallendach zu behindern, wird die Halle in vier „Rauchabschnitte“ unterteilt. Mit dem Programmteil FDS+Evac von FDS wurden Entfluchtungsberechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass ein zusätzlicher Ausgang aus den Hörsälen erforderlich ist. Damit konnten die Räumungszeiten aus dem Seminar- und Hörsaalgebäude deutlich verringert werden. Die Entfluchtung aus der Halle ist wegen der Anordnung zahlreicher, gleichmäßig verteilter Ausgangstüren in kürzester Zeit abgeschlossen.

Die vorliegende Haus-in-Haus Situation kann nicht in allen Belangen nach üblichen baurechtlichen Anforderungen beurteilt werden. Daher war bei der Herangehensweise und der Suche nach Lösungen eine enge Abstimmung und Zusammenarbeit mit Bauherrn, Architekten, Bauaufsicht, Feuerwehr sowie Fachplanern erforderlich, die letztlich zu einem überzeugenden Ergebnis führte.

LITERATUR

[1] Bechthold, R.; Ehlert, K,; Wesche, J.: Brandversuche Lehrte. Bericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig. Schriftenreihe Bau- und Wohnforschung, 04.037, 1978.

[2] McGrattan, K. B. et al.: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – User´s Guide. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, April 2008.

[3] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. und D. Hosser (Hrsg.), 2009.

[4] Korhonen, T., Hostikka, S. „Fire Dynamics Simulator with Evacuation FDS+Evac, Version 5. Technical Reference and User’s Guide“, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland.

[5] Korhonen, T., Hostikka, S., Heliövaara, S., Ehtamo, H., Matikainen, K., “Integration of an Agent Based Evacuation Simulation and the State-of-the-Art Fire Simulation,” Proceedings of the 7th Asia-Oceania Symposium on Fire Science & Technology, 20-22 September 2007, Hong Kong.

[6] Werner, T. and Helbing, D., “The social force pedestrian model applied to real life scenarios,” Pedestrian and Evacuation Dynamics - Proceedings of the Seconnd International Conference, University of Greenwich, London, 2003, 17-26.

[7] Langston, P.A., Masling, R., Asmar, B.N., “Crowd dynamics discrete element multicircle model,” Safety Science 44 (2006): 395-417.

BRANDSCHUTZBEMESSUNG EINES WEITGESPANNTEN, MEHRSTÖCKIGEN STAHLFACHWERK-TRÄGERS FÜR EIN VERWALTUNGSGEBÄUDE

Jochen Zehfuß
hhpberlin Ingenieure für Brandschutz, Niederlassung Hamburg, Hamburg

EINLEITUNG

Für das neue Verwaltungsgebäude der adidas AG in Herzogenaurach (Bayern) wird ein weitgespannter dreigeschossiger Stahlfachwerkträger vorgesehen, der ca. 60 m frei über die Eingangshalle spannt. Gemäß Brandschutzkonzept ist für das Stahlfachwerk eine Standsicherheit im Brandfall von mindestens 90 Minuten nachzuweisen. Aus ökonomischen und gestalterischen Gründen wurde seitens des Bauherrn und des Architekten gewünscht die Stahlbauteile mit reduzierten Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit bzw. sogar ungeschützt auszuführen.

In Abstimmung mit dem Bauherrn wurde vereinbart, dass der Fachwerkträger mit einer leistungsorientierten Brandschutzbemessung auf Grundlage eines natürlichen Brandszenarios nachgewiesen werden sollte. Somit gelingt ein risikogerechter Brandschutznachweis, mit dem sichergestellt ist, dass nachweislich ein ausreichender Feuerwiderstand der Konstruktion sichergestellt ist und ein entsprechendes Sicherheitsniveau eingehalten wird. Weiterhin garantiert die leistungsorientierte Brandschutzbemessung, dass keine Überdimensionierung der Brandschutzmaßnahmen vorgenommen wird, die Konstruktion wirtschaftlich ausgelegt wird sowie eine Überprüfbarkeit des Nachweises gegeben ist.

Die durchgeführte leistungsorientierte Brandschutzbemessung erfolgte nach den Neufassungen der Eurocodes DIN EN 1991-1-2 [1] und DIN EN 1993-1-2 [2]. In [1] ist die leistungsorientierte Brandschutzbemessung für natürliche Brände beschrieben. [2] enthält rechnerische Nachweisverfahren zur Brandschutzbemessung von Stahlbauteilen bei beliebiger Brandbeanspruchung.

Die geplante flächendeckende Sprinklerung wurde bei der Bemessung auf der sicheren Seite liegend nicht angesetzt, da zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch kein Sicherheitskonzept verfügbar war. Vergleichend wurde im Nachgang die Ermittlung der thermischen Einwirkungen auch nach dem neuen Sicherheitskonzept des Nationalen Anhangs [3] zu Eurocode 1 Teil 1-2 [1] durchgeführt. Der Vergleich ergab keine wesentlichen Abweichungen bei der Ermittlung des Bemessungsbrandes.

Da eine leistungsorientierte Brandschutzbemessung zurzeit nur im Einzelfall mit Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde durchgeführt werden kann, erfolgte im Vorfeld eine intensive Abstimmung mit den Behörden und Planungsbeteiligten. Die Nachweise wurden durch einen Prüfingenieur geprüft [4].

LEISTUNGSORIENTIERTE BRANDSCHUTZBEMESSUNG FÜR TRAGWERKE

Die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen erfolgt in Deutschland bisher auf Grundlage der materiellen Anforderungen in den Bauordnungen bzw. Sonderbauvorschriften sowie der Bemessungsnorm DIN 4102-4 in Verbindung mit DIN 4102-A1 und DIN 4102-22 durch Einstufung in eine Feuerwiderstandsklasse. Die Feuerwiderstandsklasse von Bauteilen wird auf Grundlage der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102 ermittelt. Die ETK beschreibt als umhüllende Kurve konservativ die zeitliche Entwicklung der auf die Bauteile einwirkenden Temperatur unter Standardbedingungen. Für Stahlbauteile sind in der Regel Bekleidungsmaßnahmen wie Putze, Brandschutzplatten oder dämmschichtbildende Anstriche erforderlich, um in die erforderliche Feuerwiderstandsklasse eingestuft werden zu können.

Diese präskriptive Vorgehensweise hat ihre Vorteile in der einfachen Anwendbarkeit und Überprüfbarkeit [5]. Der Nachteil liegt jedoch darin, dass die Bemessungsregeln nur für einen begrenzten Anwendungsbereich gelten und für einige Fälle sehr stark auf der sicheren Seite liegen. Im Gegensatz dazu stehen die leistungsorientierten Nachweise (engl. performance-based), in Deutschland häufig auch „schutzzielorientiert“ genannt. Für die Brandschutzbemessung ist eine leistungsorientierte Vorgehensweise in Deutschland bisher nicht geregelt und daher nur in Ausnahmefällen durchführbar. Derartige Nachweise können in anderen europäischen Ländern wie England, Schweiz oder in Skandinavien jedoch bereits in der Regel angewendet werden. Eine leistungsorientierte Brandschutzbemessung erfordert die Anwendung von Ingenieurmethoden sowohl bei der Bestimmung der Brandeinwirkungen des natürlichen Brandes sowie bei der Bemessung des Trag- und Verformungsverhaltens der Bauteile bzw. des Tragwerks im Brandfall.

In den Brandschutzteilen der Eurocodes ist die leistungsorientierte Vorgehensweise bei der Brandschutzbemessung genormt. Bis zur Aufnahme der Eurocodes in die Liste der Technischen Baubestimmungen (geplant bis Ende 2010) sind die Verfahren der Naturbrandbemessung sowie der allgemeinen Berechnungsverfahren nur im Einzelfall mit Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde anwendbar [5].

Die Ermittlung der Brandbeanspruchung nach dem Naturbrandverfahren führt insbesondere bei größeren Räumen zu einer realistischeren Erfassung des Temperaturzeitverlaufs. Beim Naturbrandverfahren werden die tatsächlich vorhandenen brandschutztechnischen Randbedingungen wie Brandlasten, Ventilationsverhältnisse und Raumgeometrie berücksichtigt. Die auf diese Weise ermittelten Temperaturen übersteigen die ETK häufig in der Anfangsphase. Nach Erreichen der Maximaltemperatur fallen die Temperaturen wieder ab, wohingegen die ETK stetig ansteigt. Beim Naturbrandverfahren muss der Nachweis der Standsicherheit des Bauteils in der Regel für die gesamte Branddauer erfolgen. Die Länge des Brandes ist dabei von den erwähnten Randbedingungen abhängig. Durch Sicherheitszuschläge für die angesetzten

Brandlasten, die Wärmefreisetzungsrate und die anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen wird ein adäquates und quantifizierbares Sicherheitsniveau gewährleistet. Das hierzu erforderliche Sicherheitskonzept ist im Nationalen Anhang [3] zu Eurocode 1 Teil 1-2 [1] veröffentlicht worden und steht seit Juli 2009 zur Verfügung. Die Grundzüge des Sicherheitskonzeptes sind bereits in [5] vorgestellt worden.

BRANDSZENARIO UND BEMESSUNGSBRAND FÜR DIE TRAGWERKS-BEMESSUNG

Grundlage einer leistungsorientierten Brandschutzbemessung ist ein auf dem maßgebenden Bemessungs-Brandszenario basierender Bemessungsbrand. Der Bemessungsbrand beschreibt den durch das Bemessungs-Brandszenario hervorgerufenen möglichen Brandverlauf quantitativ in Form von zeitabhängigen Brandparametern. Im Allgemeinen wird der Bemessungsbrand in Form einer Wärmefreisetzungsrate definiert, auf deren Grundlage sich mit Naturbrandmodellen die Brandwirkungen, wie z. B. Temperaturverteilung im Brandraum und Rauchgasströme berechnen lassen. Der Verlauf der Wärmefreisetzungsrate hängt im Wesentlichen von der Art und Menge der Brandlasten, von den Ventilationsverhältnissen, der Geometrie des Brandraumes, seinen Umfassungsbauteilen sowie vom Beginn der Löschmaßnahmen durch Löschanlagen oder die Feuerwehr ab.

Die Festlegung des Fire-Compartments, d. h. des Brandraumes bzw. des möglichen Bereiches, der in den Brand involviert sein kann, ist Grundlage für die Brandschutzbemessung für das auszulegende Tragwerk. Hinweise bzgl. der anzusetzenden Bemessungsbrandlast, ihrer Lage, der Berücksichtigung der Ventilationsöffnungen sowie der Umfassungsbauteile finden sich im vfdb-Leitfaden [6].

Maßgeblich für die Bemessung ist die maximale Temperaturbeanspruchung der Konstruktion, die sich bei der maximalen Wärmefreisetzungsrate einstellt. Grundsätzlich ergibt sich die maximale Wärmefreisetzungsrate im Übergang vom ventilationsgesteuerten zum brandlastgesteuerten Brand. Eine weitere Steigerung der Öffnungsflächen führt aufgrund der Wärmeabfuhr zu niedrigeren Temperaturen. Die Umfassungsbauteile des Brandraumes müssen eine ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit aufweisen, anderenfalls ist eine Brandausbreitung über den originären Brandraum in der Nutzungseinheit zu betrachten.

Die Höhe des Brandraums entspricht der gemittelten lichten Höhe zwischen Fußboden und Decke. Nichtbrennbare Unterdecken bzw. Doppelböden können bei der Ermittlung der Brandraumhöhe berücksichtigt werden, wenn sie eine ausreichende Feuerwiderstandsdauer aufweisen.

Für Bauteile im Deckenbereich wie z. B. Unterzüge ist i. d. R. die Heißgastemperatur bemessungsmaßgebend. In größeren Räumen (> 400 m²) ist die lokale Beanspruchung im Plumebereich zu berücksichtigen. Für Stützen ist in

der Brandanfangsphase die Plumetemperatur bzw. Flammentemperatur im Bereich des Brandherdes maßgebend. In größeren Räumen (> 400 m²) wird die Heißgastemperatur für die Bemessung von Stützen maßgebend, sobald die Brandlast im Bereich der Stützen abgebrannt ist.

Eine wesentliche Einflussgröße für die Bauteil- und Tragwerksbemessung sind die Ventilationsbedingungen. Für die Ermittlung der maßgeblichen Ventilationsbedingungen sind als mögliche Öffnungen des Brandraumes grundsätzlich alle Fenster und Türen zu berücksichtigen. Ggf. sind im Programmablauf während der Simulation szenariobedingte Veränderungen der Ventilationsbedingungen (z. B. Zerstörung von Fensteröffnungen) zu berücksichtigen.

Als Ventilationsöffnungen sollten in der Simulation 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 Zuluftführung führen.

Nach den Erfahrungen von Brandversuchen [7] versagt gewöhnliches Fensterglas im Brandfall nach ca. 5 – 20 Minuten bei einer Temperatur von 300°C bzw. einer maximalen Temperaturdifferenz innerhalb der Scheibe von ca. 60 K. Ungefähr 70% - 80% der Fensterscheibe werden zerstört, entlang des Fensterrahmens verbleibt ein unzerstörter Glasstreifen.

Im Nationalen Anhang [3] des Eurocodes 1 Teil 1-2 wird der Verlauf der Wärmefreisetzungsrate für die Brandschutzbemessung von Tragwerken definiert, der auf dem Ansatz von [8] basiert.

In der Brandentwicklungsphase steigt die Wärmefreisetzungsrate quadratisch an. Die maximale Wärmefreisetzungsrate der Vollbrandphase wird von den Ventilationsverhältnissen bestimmt. Bei ventilationsgesteuerten Bränden (mit ausreichender Sauerstoffzufuhr) wird sie durch den Ventilationsfaktor beschränkt, bei brandlastgesteuerten Bränden durch die maximale flächenbezogene Wärmefreisetzung begrenzt. Wenn die Brandlast im Brandraum durch den Brand weitgehend aufgezehrt ist und keine weitere Brandausbreitung auf benachbarte Räume stattfindet, setzt die Abklingphase des Brandes ein. Die Wärmefreisetzungsrate verringert sich, wenn ca. 70% der anfänglich vorhandenen Brandlast umgesetzt sind. Die Abklingphase kann auch durch äußere Eingriffe wie Löschmaßnahmen durch Löschanlagen oder die Feuerwehr eingeleitet werden. Für die Wärmefreisetzungsrate wird in der Abklingphase ein linear fallender Verlauf angesetzt.

Bild 1 zeigt den Verlauf der Wärmefreisetzungsrate in den drei Phasen des Brandes.

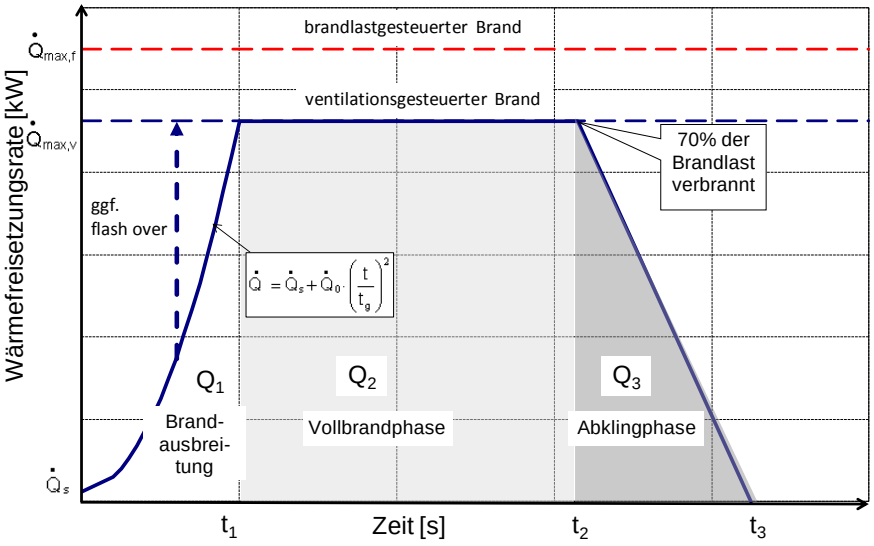


Bild 1 Verlauf der Wärmefreisetzungsrate als Bemessungsbrand nach [3]

BRANDSCHUTZBEMESSUNG MIT RECHNERISCHEN NACHWEISVERFAHREN DER EUROCODES

In den Brandschutzteilen der Eurocodes sind rechnerische Nachweisverfahren normiert, anhand derer die realistische Temperatureinwirkung auf die Bauteile (Naturbrandkurven) sowie die brandschutztechnische Bemessung mit vereinfachten bzw. allgemeinen Berechnungsverfahren durchgeführt werden kann.

Die vereinfachten Berechnungsverfahren können für die Untersuchung einzelner Bauteile angewendet werden. Hierbei handelt es sich um Handrechenverfahren, die z. B: in Form von Tabellenkalkulationen automatisiert werden können. Die Verfahren funktionieren grundsätzlich ähnlich wie die „Kaltbemessung“, zusätzlich werden vereinfachte Annahmen bzgl. des Steifigkeits- und Festigkeitsabfalls der Baustoffe und ggf. der Ausbildung von Zwangschnittgrößen angesetzt.

Mit den allgemeinen Berechnungsverfahren kann das tatsächliche Trag- und Verformungsverhalten von Bauteilen und Tragwerken unter Brandbedingungen untersucht werden. Dazu werden computergestützte numerische Simulationen durchgeführt, es wird ein Brandversuch simuliert. Die Berechnung der Erwärmung der Bauteile auf Grundlage der allgemeinen Berechnungsverfahren erfolgt mit einer thermischen Analyse. Das Trag- und Verformungsverhalten wird mit einer mechanischen Analyse bestimmt.

In der thermischen Analyse wird abhängig von den temperaturabhängigen, thermischen Materialeigenschaften der Bauteile die zeitlich veränderliche (instationäre) Temperaturverteilung in den Bauteilquerschnitten auf Grundlage der einwirkenden Temperaturen berechnet. Mit der mechanischen Analyse kann wahlweise das Trag- und Verformungsverhalten einzelner Bauteile oder

ganzer Tragsysteme unter Berücksichtigung der brandbedingten Erwärmung sowie von thermischen Dehnungen simuliert werden. Grundlage hierfür sind die temperaturabhängig formulierten Spannungs-Dehnungsbeziehungen. Im Ergebnis der leistungsorientierten Brandschutzbemessung kann nachgewiesen werden, dass das Bauteil bzw. Tragwerk dem zu erwartenden Bemessungsbrand (Naturbrandszenario) widersteht ohne zu versagen. Es kann eine Beurteilung erfolgen, ob und inwiefern die Standsicherheit – ggf. unter Berücksichtigung eines Teileinsturzes untergeordneter Bauteile – für einen geforderten Zeitraum erreicht werden kann.

BRANDSCHUTZKONZEPT FÜR DAS GEBÄUDE LACES

Der Sportartikelhersteller adidas errichtet in Herzogenaurach seine neue Konzernzentrale auf einem ehemaligen Kasernengelände der amerikanischen Streitkräfte. Auf dem Gelände befinden sich weitere Gebäude der adidas AG, welche alle Themen rund um das Thema Sport und Sportbekleidung aufnehmen.

Die Konzernzentrale wird anhand des Entwurfes des Architekturbüros kadawittfeldarchitektur aus Aachen errichtet. Die Tragwerksplanung erfolgte durch das Büro wh-p Ingenieure in Stuttgart. Das Brandschutzkonzept [13] wurde von hhpberlin, Niederlassung München erstellt. Die Konzeption des Gebäudes sieht dabei einen langgestreckten Baukörper mit zwei ineinander übergehenden, großen Innenbereichen (Atrium) vor. Die um das Atrium umlaufenden Gebäudeteile werden über durch den Luftraum führende Brücken miteinander verbunden (Bild 2).

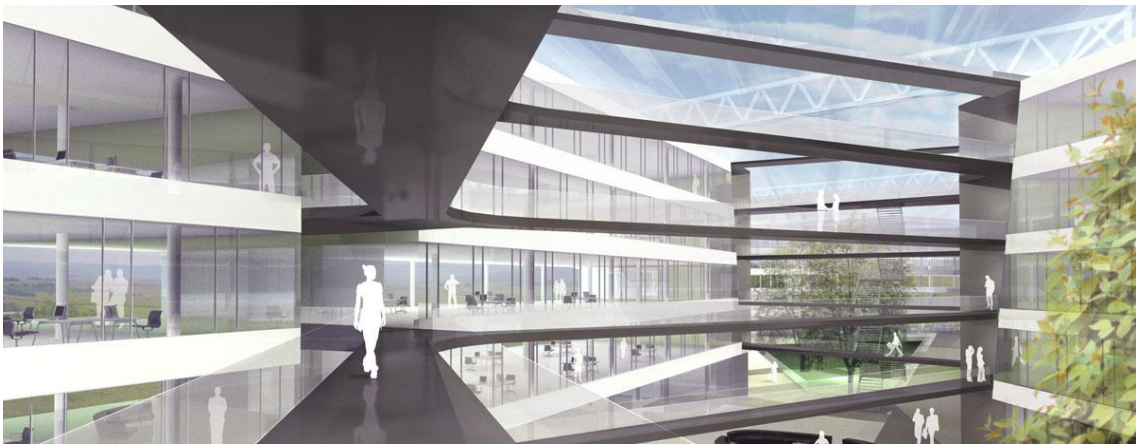


Bild 2 Gebäude Laces (adidas, Herzogenaurach)

Diese Brücken tragen die Bezeichnung Laces (Schnürsenkel) und sollen wie ein Schnürsenkel am Turnschuh die Gebäudeteile und damit deren Nutzungen kommunikativ miteinander verbinden. Somit wird das Projekt auch unter dem Arbeitstitel Laces geführt.

Die Nutzung des Gebäudes sieht vor, dass im Gebäude nahezu alle Abteilungen, welche an der Entwicklung der Produkte beteiligt sind, untergebracht werden können. In den unteren Geschossen sind somit Lager und Archivräume und insbesondere auch das Konzernarchiv untergebracht, in dem historische Dokumente und Turnschuhe gehütet werden. In weiteren Räumen befinden sich kleinere Labore zur Materialprüfung oder Versuchsräume für Tests an Prototypen. In weiteren Werkstätten werden Prototypen und Muster gefertigt, welche dann in den v. g. Testräumen einer umfangreichen Prüfung unterzogen werden. In den oberen Geschossen des Gebäudes sind insbesondere Büro- und Verwaltungsnutzungen untergebracht. Im Erdgeschoss befinden sich zudem gastronomische Flächen wie auch kleinere Veranstaltungsräume. Eine Nutzung des Gebäudes als Versammlungsstätte im großflächigen Stil ist nicht vorgesehen, da der Bauherr auf dem Gelände bereits eine Versammlungsstätte für Großveranstaltungen errichtet hat.

Die Büro- und Verwaltungsnutzungen zeichnen sich bei dem Sportartikelhersteller nicht nur durch eine reine Bürotätigkeit aus. Die Vielzahl von Designern und Produktentwicklern arbeiten in den Geschossen mit den erforderlichen Mustern, Prototypen oder Textilien und Materialien, welche für die Entwicklung und das Design von Bedeutung sind. Die Arbeitsphilosophie basiert auf einem hohen Kommunikationsfluss mit den erforderlichen Kommunikationszonen, welche als Lounges offen am Atrium zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten angeordnet werden.

Bei adidas werden somit insbesondere großräumige Bürostrukturen bevorzugt. Aus diesem Grund wurden die Büronutzungseinheiten in großzügig brandschutztechnisch unterteilte Nutzungseinheiten aufgeteilt. Um für den Nutzer die größtmögliche Flexibilität zu ermöglichen, wurde aus brandschutztechnischer Sicht für das Gebäude eine Lösch- und Brandmeldeanlage vorgesehen, welche sich im gesamten Gebäude erstreckt. Aufgrund der Höhe des Atriums und seiner Nutzung erfolgt in diesem Bereich keine Sprinklerung. Lediglich die Unterseite der untersten Verbindungsbrücken erhält wie die umlaufenden Gebäudeteile eine Sprinklerung.

Die Rettungswege wurden so angeordnet, dass das Gebäude rein über bauliche Rettungswege verfügt, sodass die örtliche Feuerwehr konzeptionell keine Rettungsgeräte zur Sicherstellung des zweiten Rettungsweges benutzen muss.

Das Atrium wird mit einem Foliendach aus Kunststoffkissen aus ETFE (Ethylene Tetra Flouro Ethylene) abgedeckt. Über eine entsprechende Rauchabzugsöffnung im Randbereich des über das Gebäude hinausragenden Atriumdaches erfolgt die Abführung von Rauchgasen, welche im Atrium entstanden oder bei einem Brand in einer angrenzenden Nutzungseinheit in das Atrium eingedrungen sind. Die Zuluft erfolgt in diesem Fall über eine freie Nachströmung über automatisch öffnende Türen im Erdgeschoss. Über eine Rauchgassimulation wurde im Rahmen des Brandschutzkonzeptes nachgewiesen, dass die Rauchfreihaltung des Atriums bis über das 1. Obergeschoss gesichert ist und somit erst ab dem 2. Obergeschoss ein im Brandfall aktivierter Rauchab-

schluss, der ansonsten zum Atrium offen vorgesehenen Kommunikationszonen vorzusehen ist, über die auch Rettungswege geführt werden. Die Fassaden der Nutzungseinheiten zum Atrium sind ohne Brandschutzanforderung ausgeführt.

Aus dem architektonischen Konzept heraus war es wichtig, im Haupteingangsbereich eine sehr offene und großzügige Erschließung zu erreichen. Somit mussten die über dem Eingangsbereich liegenden Geschosse des Gebäudes als Brückenbauwerk zwischen zwei massiven Gebäudeteilen als dreigeschossiger Stahlfachwerkträger ausgebildet werden.

Aus brandschutztechnischer Sicht ist unter Berücksichtigung der Gebäudehöhe auch an dieses Stahlfachwerk die Anforderung nach einem Feuerwiderstand von 90 Minuten zu stellen. Um dieser Anforderung gerecht zu werden und dennoch den für dieses Bauteil notwendigen Stahlbau ohne sehr aufwändige Brandschutzverkleidungen realisieren zu können, wurde im Rahmen einer leistungsorientierten Bemessung die tragende Konstruktion für den Brandfall nachgewiesen, die Hauptgurte des Fachwerkträgers wurden F 90 ausgeführt.

VORGEHENSWEISE BRANDSCHUTZBEMESSUNG FACHWERKTRÄGER DES GEBÄUDES LACES

Der weitgespannte dreigeschossige Stahlfachwerkträger sollte auf Wunsch des Bauherrn und Architekten aus ökonomischen und gestalterischen Gründen abweichend von der gemäß BayBO feuerbeständigen Bauweise mit reduzierten Anforderungen an die Stahlbauteile bzw. wenn möglich sogar ungeschützt ausgeführt werden.

In Abstimmung mit dem Bauherrn wurde vereinbart, dass der Fachwerkträger mit einer leistungsorientierten Brandschutzbemessung auf Grundlage eines natürlichen Brandszenarios nachgewiesen werden sollte. Somit gelingt ein risikogerechter Brandschutznachweis, mit dem sichergestellt ist, dass nachweislich ein ausreichender Feuerwiderstand der Konstruktion gewährleistet ist und ein entsprechendes Sicherheitsniveau eingehalten wird. Weiterhin garantiert die leistungsorientierte Brandschutzbemessung, dass keine Überdimensionierung der Brandschutzmaßnahmen vorgenommen wird, die Konstruktion wirtschaftlich ausgelegt wird sowie eine Überprüfbarkeit des Nachweises gegeben ist.

Die durchgeführte leistungsorientierte Brandschutzbemessung erfolgte nach den Neufassungen der Eurocodes DIN EN 1991-1-2 [1] und DIN EN 1993-1-2 [2]. In [1] ist die leistungsorientierte Brandschutzbemessung für natürliche Brände beschrieben. [3] enthält rechnerische Nachweisverfahren zur Brandschutzbemessung von Stahlbauteilen bei beliebiger Brandbeanspruchung. Die vorgenannten Neufassungen der Eurocodes sind jedoch bisher weder in Bayern noch in anderen Bundesländern in der Liste der Technischen Baubestimmungen enthalten. Die Nationalen Anhänge der Eurocodes waren zum Zeitpunkt der Erstellung des Nachweises noch nicht veröffentlicht.

Gemäß § 3 (2) der BayBO kann von den Technischen Baubestimmungen abgewichen werden, wenn in einer anderen Lösung in gleichem Maße sichergestellt wird, dass die Schutzziele des Baurechts erreicht werden. Mit der leistungsorientierten Brandschutzbemessung wird die Erfüllung des Schutzzieles Standsicherheit quantitativ nachgewiesen. Somit ist sichergestellt, dass durch die geplante Ausführung des Stahlfachwerkträgers mit reduzierten Brandschutzanforderungen auch die weiteren Schutzziele des Brandschutzes nicht gefährdet werden.

Mit der Genehmigungsbehörde wurde vereinbart, dass die brandschutztechnischen Nachweise nach dem 4-Augen-Prinzip von einem qualifizierten Prüfingenieur geprüft werden. Sowohl der Prüfer als auch der Verfasser und Aufsteller sind Mitglieder des Normausschusses „Konstruktiver baulicher Brandschutz“, in dem die Nationalen Anhänge der Eurocodes erarbeitet wurden, sodass aktuelle Neuentwicklungen der Normung berücksichtigt werden konnten und der Sachverstand der Beteiligten sichergestellt war. Der Vorgehensweise wurde auch von der Obersten Bauaufsichtsbehörde in Bayern zugestimmt.

Zunächst wurde in einer thermischen Analyse die Erwärmung der ungeschützten Stahlbauteile ermittelt. Auf Grundlage der vom Tragwerksplaner ermittelten Lastausnutzung wurde die kritische Stahltemperatur berechnet. Für die Bauteile, die ungeschützt auf höhere Temperaturen als die kritische Stahltemperatur erwärmt würden, wurde ein dämmschichtbildender Anstrich (DSB) der Feuerwiderstandsklasse F 30 vorgesehen, mit dem die angestrebten gestalterischen und wirtschaftlichen Vorteile gegenüber einer F 90-Bekleidung erreicht wurden. In einem zweiten Rechengang wurde die Erwärmung der mit dem DSB geschützten Bauteile auf Grundlage der in [9] veröffenlichten Ansätze berechnet und nachgewiesen, dass die Bauteiltemperaturen unterhalb der kritischen Stahltemperatur bleiben. Für stabilitätsgefährdete Bauteile (schlanke Diagonalen) wurden vom Tragwerksplaner die Auswirkungen von Zwangspannungen aufgrund der Bauteilewärmung, die durch die thermische Analyse berechnet wurden, geprüft.

MEHRGESCHOSSIGER FACHWERKTRÄGER

Im Eingangsbereich des Gebäudes Laces der adidas AG ist ein mehrgeschossiger, räumlicher Stahlfachwerkträger geplant, der ca. 60 m frei über die Eingangshalle spannt (Bild 4). Gemäß Brandschutzkonzept ist für das Stahlfachwerk eine Standsicherheit im Brandfall von mindestens 90 Minuten nachzuweisen. Der erforderliche Feuerwiderstand der Fachwerkgurte wird baulich durch die Stahlbetondeckenplatten und über eine F 90-Verkleidung bzw. einen F 90-Brandschutzanstrich sichergestellt.

Die ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit der Diagonalen des Fachwerkträgers sowie der auskragenden Sekundärträger wurde durch eine leistungsorientierte Brandschutzbemessung durch das Büro hhpberlin nachgewiesen. Die Tragwerksplanung erfolgte durch das Büro wh-p-Ingenieure in Stuttgart.

Der Fachwerkträger befindet sich an der Westseite des Bauwerks, wo der zweistöckige Eingangsbereich von einem Gebäuderiegel überspannt wird. Der Gebäuderiegel über dem Eingangsbereich besteht aus drei Stockwerken mit einer jeweiligen lichten Raumhöhe von 2,93 m pro Geschoss. Das Tragwerk des Gebäuderiegels besteht aus zwei nebeneinander liegenden mehrstöckigen stählernen Fachwerkträgern, die über rechtwinklig zu den Trägerachsen angeordnete Querträger miteinander verbunden sind (Bild 3 und Bild 4).

Die Fachwerkträger liegen in einem Abstand von 8,90 m nebeneinander in den Achsen n und o und bestehen aus 4 Längsträgern (Gurte) und v-förmig angeordneten Diagonalen. Die Fachwerkkonstruktion trägt die Kräfte in die angrenzenden Gebäudeteile und überbrückt somit den darunter liegenden Eingangsbereich stützenfrei. Westlich von Achse n kragen die an die Längsträger angeschlossenen Querträger ca. 6,20 m rechtwinklig zur Fachwerk-Trägerachse aus. Sowohl die Quer- als auch die Längsträger sind im Obergurtbereich in die Stahlbetondecke eingebettet. Die Fachwerkbinder und die Querträger bilden zusammen mit den Stahlbetondecken das horizontale Tragwerk. Das Tragsystem wird in Ansicht und Grundriss in Bild 3 und Bild 4 dargestellt.

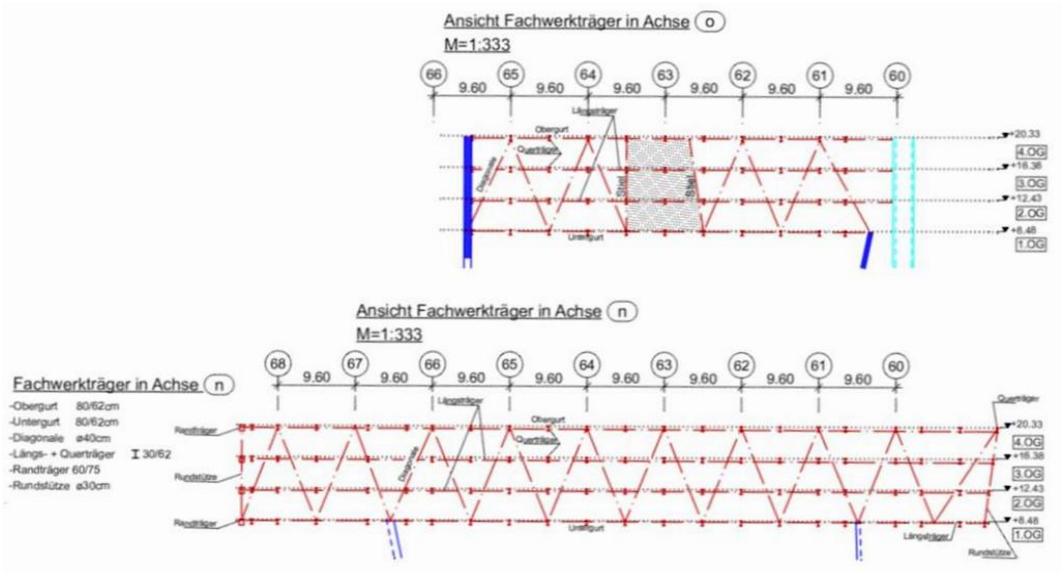


Bild 3 Ansicht Fachwerkträger des Gebäuderiegels (Darstellung wh-p-Ingenieure)

ERMITTLUNG DES BEMESSUNGSBRANDES

Vorgehensweise in Brandschutztechnischer Detailstellungnahme [10]

Die maßgebliche Temperaturbeanspruchung des Stahlfachwerkträgers ist in den Bürogeschossen zu erwarten. Der Stahlfachwerkträger liegt im Bereich von zwei Nutzungseinheiten (Bild 5).

1) Nutzungseinheit im Nordwesten (Achse 63-7)

2) Nutzungseinheit im Südwesten (Achse 54-63)

Bild 4 Tragwerk im Grundriss (Darstellung wh-p-Ingenieure)

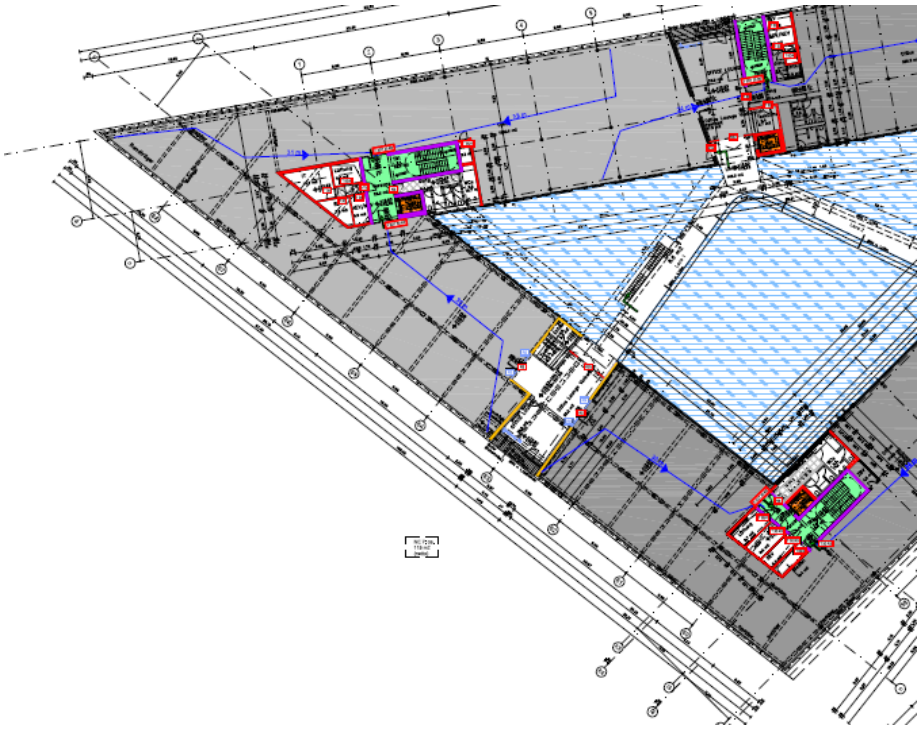


Bild 5 Nutzungseinheit 1 (links oben) und Nutzungseinheit 2 (rechts unten)

Sowohl von der Fläche der Nutzungseinheit als auch der beaufschlagten Fläche des Fachwerkträgers ist der Bereich der Nutzungseinheit 1 (Achse 63-7) als maßgeblich anzusehen. Da die Geschosse untereinander feuerbeständig abgetrennt sind und das Gebäude gesprinklert ist, ist zudem davon auszugehen, dass ein möglicher Brand auf ein Geschoss beschränkt bleibt. Durch die bauliche Abtrennung der Nutzungseinheiten untereinander (grundsätzlich feuerbeständig, teilweise feuerhemmend) ist zudem davon auszugehen, dass der Fachwerkträger nur teilweise – maximal in einer Nutzungseinheit – brandbeansprucht wird.

Die Ermittlung der Wärmefreifreisetzungsrate für die Brandschutzbemessung in [10] erfolgte auf Grundlage von Eurocode 1 Teil 1-2 sowie dem vfdb-Leitfaden 1. Auflage 2006. Die Sprinklerung wurde auf der sicheren Seite liegend bei der Bestimmung der Wärmefreisetzungsrate nicht berücksichtigt. Ebenfalls wurde entsprechend der Abstimmung mit der Bauaufsichtsbehörde ein Feuerwehreingriff nicht mit angesetzt. Die Ansetzung der 80%-Fraktile für die Brandlastdichte gemäß [1] ist unter der Voraussetzung einer üblichen Büronutzung durch den Nutzer auch unter dem Hintergrund der vorhandenen Sprinklerung als auf der sicheren Seite liegend zu betrachten. Eine höhere Brandlastdichte etwa in Teilbereichen führt zur Verlängerung der Brandbeanspruchung jedoch nicht zu höheren Beanspruchungstemperaturen. Die Bemessung wird für einen Zeitraum von 90 Minuten durchgeführt, so dass eine Vergrößerung der Brandlastdichte in diesem Zeitraum keinen Einfluss auf die Bemessung hat. Andere Nutzungen wie. z. B. Archive werden F 90 gekapselt. Gemäß [1] wurden folgende Annahmen getroffen:

Bürobrandlast: Brandlastdichte $q = q_{80\%\text{-Fr.}} = 511$ MJ/m²

Flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate: $q'_{f,A} = 250$ kW/m²

mittlere Brandausbreitungsgeschwindigkeit: $t_g = 300$ s

Betrachtet man 1 m² Brandlast des Brandherds im Zündbereich und unterstellt einen gleichförmigen Abbrand, so ist die Brandlast im Brandherdbereich nach folgendem Zeitraum vollständig abgebrannt:

$t_{Abbrand} = q / q'_{f,A} = 511$ MJ/m² / 0,25 MW = 2044 s ≈ 34 Minute.

Nach der Zeit $t_{Abbrand}$ wächst die Brandfläche und die Gesamt-Wärmefreisetzungsrate nicht weiter an, da die Brandlast im Brandherdbereich bereits vollständig abgebrannt ist. Ab diesem Zeitpunkt ist der Brand von seiner Fläche und Gesamt-Wärmefreisetzungsrate her konstant, seine Lage verschiebt sich im Brandraum.

Die maximale Gesamt-Wärmefreisetzungsrate ermittelt sich damit zu:

Q’ = 46,42 MW.

Die maximale Brandfläche beträgt:

$A_{fi} = 185{,}7$ m².

Gemäß Brandschutzkonzept ist die Feuerwiderstandsfähigkeit über einen Zeitraum von 90 Minuten nachzuweisen, sodass der Bemessungsbrand (Wärmefreisetzungsrate) über 90 Minuten angesetzt wird.

Bild 6 zeigt den Verlauf der Wärmefreisetzungsrate.

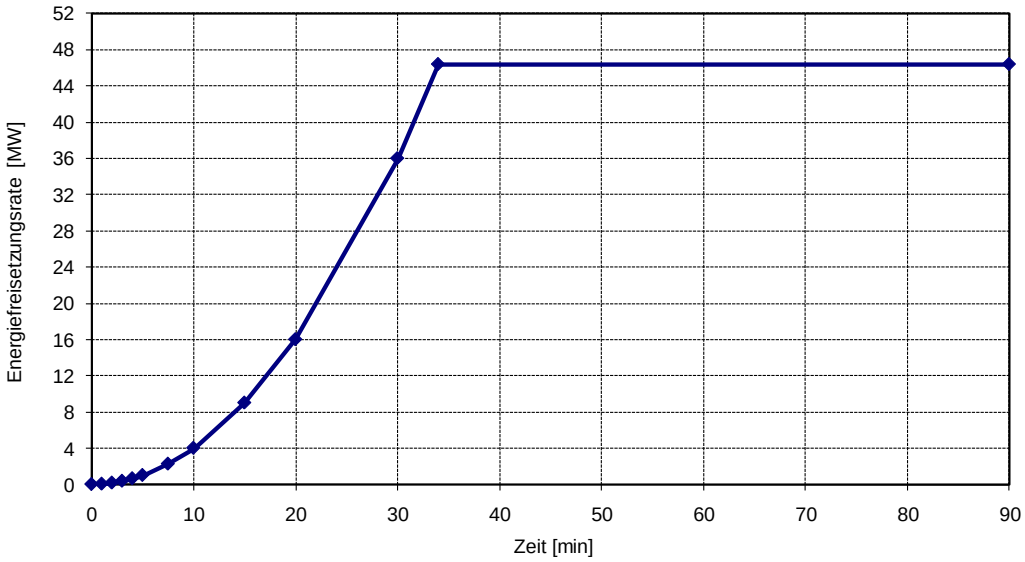


Bild 6 Wärmefreisetzungsrate nach [10]

Vorgehensweise mit Berücksichtigung des Sicherheitskonzeptes nach [3]

Die Brandschutztechnische Detailstellungnahme zur Brandschutzbemessung [10] des Fachwerkträgers wurde vor Veröffentlichung des Sicherheitskonzeptes des Nationalen Anhangs [3] zu Eurocode 1 Teil 1-2 erarbeitet. Da das in Eurocode 1 Teil 1-2 Anhang E enthaltene Sicherheitskonzept in Deutschland nicht zugelassen wurde [11], wurde in Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden und dem Prüfingenieur festgelegt, die Eingangsgrößen für den Bemessungsbrand deterministisch mit einem Sicherheitsbeiwert von 1,0 anzusetzen. Zusätzlich wurde auf der sicheren Seite liegend vereinbart, dass die vorhandene flächendeckende Sprinklerung sowie ein Eingriff der Feuerwehr in den Berechnungen nicht mit angesetzt werden dürfen.

Nach Veröffentlichung des Sicherheitskonzeptes wurde in [12] die Wärmefreisetzungsrate unter Berücksichtigung des Sicherheitskonzeptes in einer Vergleichsbetrachtung ermittelt.

Der Bemessungswert der Wärmefreisetzungsrate und der Brandlastdichte wird nach dem Sicherheitskonzept des Nationalen Anhangs zu Eurocode 1 Teil 1-2 mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{fi} ermittelt. Der Teilsicherheitsbeiwert hängt ab von

- der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Entstehungsbrandes in der vorgesehenen Nutzung p_1,

- der Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr p_2,
- der Ausfallwahrscheinlichkeit der Löschanlage (falls vorhanden) p_3.

Für die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Entstehungsbrandes in den betroffenen Nutzungseinheiten kann gemäß Tabelle BB.3 [3] für ein Bürogebäude $p_1 = 6{,}2 * 10^{-3}$ 1/a angesetzt werden. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr wird aufgrund des Vorhandenseins einer öffentlichen Feuerwehr mit einer Eingreifzeit > 20 min (Freiwillige Feuerwehr) zu $p_2 = 0{,}5$ angesetzt.

Bei der Berücksichtigung einer Sprinkleranlage werden in [3] zwei Werte für die Ausfallwahrscheinlichkeit angegeben. Eine Sprinkleranlage nach VdS/CEA-Standard die mindestens alle zwei Jahre gewartet wird, wie sie in dem Gebäude LACES installiert ist, wird mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von $p_3 = 0{,}02$ höherwertig bewertet als eine Sprinkleranlage ohne näher spezifizierte Anforderungen ($p_3 = 0{,}05$). Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadenfeuers p_{fi} berechnet sich somit zu:

$p_{fi} = p_1 * p_2 * p_3 = 6{,}2 * 10^{-3}$ 1/a $* 0{,}5 * 0{,}02 = 6{,}2 * 10^{-5}$ 1/a.

Aus der zulässigen Versagenswahrscheinlichkeit p_f und der jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} eines Schadenfeuers kann die zulässige bedingte Versagenswahrscheinlichkeit $p_{f,fi}$ im Brandfall bzw. der damit verknüpfte Zuverlässigkeitsindex β_{fi} gemäß [3] ermittelt werden. Für eine mit „mittel“ angenommene Schadensfolge erhält man für Bürogebäude

$\beta = 4{,}2$ und $p_f = 1{,}3 * 10^{-5}$.

Die zulässige bedingte Versagenswahrscheinlichkeit ermittelt sich somit zu:

$p_{f,fi} = p_f / p_{fi} = 1{,}3 * 10^{-5} / 6{,}2 * 10^{-5} = 2{,}1 * 10^{-1}$.

Damit ist

$\beta_{fi} = 0{,}82$.

Mit der bedingten Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall $p_{f,fi}$ kann nun der Teilsicherheitsbeiwert γ_{fi} für Brandlastdichten und die Wärmefreisetzungsrate bestimmt werden. Es ergibt sich

$\gamma_{fi} = 0{,}79$ für die Brandlastdichte und

$\gamma_{fi} = 0{,}83$ für die Wärmefreisetzungsrate.

Für die Ermittlung des Bemessungsbrandes wird gemäß [3] die 90 %-Fraktile gewählt. Für Bürogebäude beträgt der Wert 584 MJ/m². Dieser charakteristische Wert wird mit dem zuvor berechneten Teilsicherheitsbeiwert von 0,79 multipliziert, um den Bemessungswert zu erhalten [12]:

$q_{fi,d} = \gamma_{fi} * q_{90\%\text{-}Fr} = 0{,}79 * 584 = 461$ MJ/m².

Im Vergleich zum Ansatz des Bemessungsbrandes nach [10] zeigt sich, dass die Bemessungs-Brandlastdichte nach [10] mit 511 MJ/m² auf der sicheren Seite liegend angesetzt wurde. Da der nach [3] ermittelte Teilsicherheitsbeiwert für die Wärmefreisetzungsrate zu $\gamma_{fi} = 0{,}83$ gesetzt werden kann, liegt diese ebenfalls unter dem Ansatz von [10]. Die in [10] geführten Nachweise gelten somit auch bei Berücksichtigung des neuen Sicherheitskonzeptes des im Juli 2009 veröffentlichten Nationalen Anhangs zu Eurocode 1 Teil 1-2.

ERMITTLUNG DER BEANSPRUCHUNGSTEMPERATURZEITKURVE

Für die brandschutztechnische Bemessung der oben im Brandraum liegenden Träger ist grundsätzlich die Heißgastemperatur maßgeblich. In kleinen und mittelgroßen Räumen ist der Temperaturgradient in der Heißgasschicht vergleichsweise gering, sodass für die Bauteilbemessung, unter Berücksichtigung der verzögert erfolgenden Erwärmung der Querschnitte sowie der konservativen Wahl des Brandszenarios, die mittlere Heißgastemperatur für die brandschutztechnische Bemessung herangezogen werden kann [6]. In großen Räumen ist mindestens für die Brandentstehungsphase ein lokaler Brand zu untersuchen. Träger, bzw. Abschnitte von Trägern liegen zeitweise im Bereich des Brandherdes (Plume), der bei der hier konservativ unterstellten ungehinderten Brandausbreitung mit der Zeit durch den Brandraum „wandert“. Die maßgebliche Beanspruchungstemperatur wurde daher aus der Kombination des zeitlich begrenzten lokalen Brandes (Plumetemperatur) und der Heißgastemperaturzeitkurve zusammen gesetzt.

Die Heißgastemperaturzeitkurve wurde auf Grundlage der das maßgebliche Brandszenario beschreibenden Wärmefreisetzungsrate, Annahmen bzgl. der Ventilationsverhältnisse sowie der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile mit dem Mehrraum-Zonenmodell CFAST ermittelt. Zusätzlich wurde mit einem Plumemodell die zeitlich kürzere lokale punktuelle Beanspruchung im Plume- und Flammenbereich untersucht, bei der höhere Temperaturen als in der Heißgasschicht zu erwarten sind.

Für die Simulation mit CFAST wurde die Nutzungseinheit 1 in zwei flächen- und volumengleiche Modellräume unterteilt. Die Ventilationsverhältnisse können einen großen Einfluss auf die sich im Brandraum einstellenden Temperaturen haben. Je größer die Ventilationsöffnungen, desto größer die Wärmeabfuhr. Bei sehr kleinen Ventilationsöffnungen wie sie u. U. zu Beginn des Brandes vorliegen, kann sich ein ventilationsgesteuerter Brand ausbilden, dessen Intensität mit zunehmender Ventilationsfläche wächst bis brandlastgesteuerte Verhältnisse vorliegen. Die genaue Größe der Ventilationsöffnungen während des Brandes ist schwierig vorherzusagen. Sie hängt einerseits vom Nutzerverhalten ab (geöffnete Fenster) und wird andererseits durch die Temperaturentwicklung des Brandes beeinflusst. Aufgrund des großen Einflusses der Ventilationsverhältnisse auf die Temperaturentwicklung sowie des schwierig zu bestimmenden Öffnungsgrades wird der Temperaturzeitverlauf in der Heißgasschicht für verschiedene Öffnungsgrade berechnet.

Um die gegenüber der Heißgastemperatur erhöhte Temperaturbeanspruchung im Brandherdbereich zu berücksichtigen wird die Temperatur lokal im Brandherdbereich mit dem vereinfachten Naturbrandmodell in Eurocode 1 Teil 1-2 Anhang C (Plumemodell nach Heskestad) berechnet. Der Brandraum hat eine Höhe von ca. 2,50 m bis 3 m. Die Höhe der Brandlast über Fußboden beträgt im Regelfall ca. 1 m (Schreibtisch). Auf der sicheren Seite liegend wurde als Beanspruchungstemperatur für die Sekundärträger die Plumecenterlinetemperatur in einer Höhe von 1,50 m über dem Brandherd bestimmt. Um eine lokale Konzentration von Brandlasten zu berücksichtigen wurde die flächenbezogene Brandlast abweichend vom Bemessungsbrand $q'_{f,A}$ = 250 kW/m² für die Zonenmodellsimulation auf der sicheren Seite zu 300 kW/m² angesetzt. Bei einer maximalen Wärmefreisetzungsrate von 46,40 MW beträgt die maximale Brandfläche 154,70 m².

Für die brandschutztechnische Bemessung der im Deckenbereich liegenden Sekundärträger wurde in der Brandentstehungsphase zunächst der lokale Brand direkt unter dem zu untersuchenden Träger maßgebend. Mit zunehmender Zeit ist die Brandlast direkt unter dem Träger jedoch weitgehend aufgezehrt und der Brandherd verlagert sich immer ferner vom zu untersuchenden Träger, sodass die Temperatureinwirkung aus der Heißgasschicht höher ist als die Plumecenterlinetemperatur, die aus dem Abbrand der direkt unter dem Träger verbleibenden Brandlast resultiert. Bild 7 zeigt exemplarisch die maßgebliche Beanspruchungstemperaturzeitkurve für die Sekundärträger als Kombination aus Plume- und Heißgastemperatur.

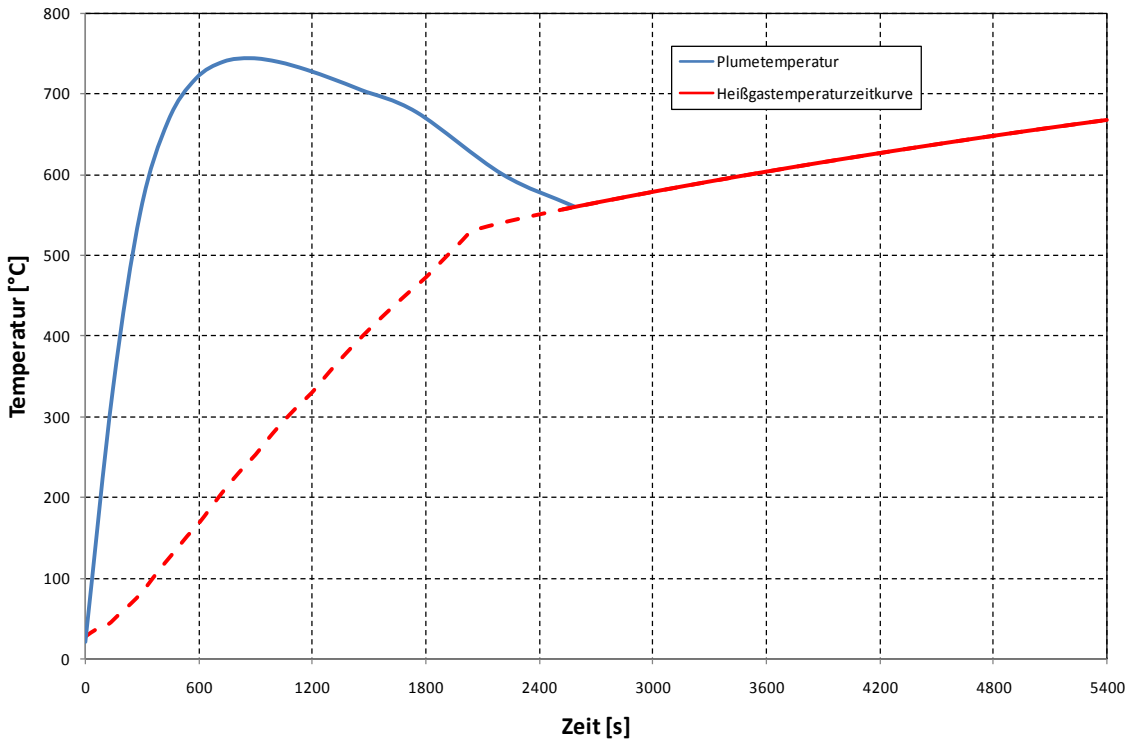


Bild 7 Beanspruchungstemperaturzeitkurve für die Sekundärträger

BRANDSCHUTZTECHNISCHE BEMESSUNG

Allgemeines

Die brandschutztechnische Bemessung der Fachwerkdiagonalen und Sekundärträger wurde auf Temperaturebene nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren des Eurocodes 3 Teil 1-2 [2] durchgeführt. Hierfür wurde mit einer thermischen Analyse die Erwärmung der Querschnitte berechnet, anschließend erfolgte unter Berücksichtigung der Lastausnutzung die Bemessung nach dem Verfahren mit kritischer Temperatur. Die thermische Analyse erfolgte für die zu untersuchenden Querschnitte der Diagonalen und Sekundärträger unterschiedlicher Wandungsdicken zunächst für ungeschützte Querschnitte. Aufgrund der hohen Erwärmung einiger Querschnitte wurde anschließend eine thermische Analyse dieser Querschnitte unter Berücksichtigung eines dämmschichtbildenden Anstrichs mit einer Aufschäumdicke von 15 mm (F 30-DSB) untersucht. In [9] ist ein im Rahmen eines Forschungsvorhabens entwickeltes Verfahren veröffentlicht worden, mit dem die Erwärmung DSB-geschützter Stahlprofile berechnet werden kann. Das Verfahren ist zwar nicht genormt, wurde jedoch im Rahmen des Forschungsvorhabens durch Nachrechnung zahlreicher Versuche validiert und ist bereits mehrfach in der Praxis angewendet worden.

Die thermische Analyse wurde mit dem FE-Modell ANSYS durchgeführt. Die verwendeten thermischen Materialeigenschaften entsprechen Eurocode 3 Teil 1-2 bzw. Eurocode 2 Teil 1-2.

Diagonalen

Im Rahmen der thermischen Analyse mit ANSYS wurden Fachwerkdiagonalen (Rundquerschnitte) mit den Abmessungen 400 x 20 mm, 400 x 30 mm, 400 x 40 mm und 400 x 70 mm untersucht. Für diese ungeschützten Fachwerkdiagonalen (d = 400 mm) ergaben sich die in Tabelle 1 zusammengestellten Ergebnisse, wobei

T_{max} max. Stahltemperatur,

zul. μ_0 max. zulässiger Ausnutzungsfaktor für $T_{max} <= \Theta_{a,cr}$.

Tabelle 1 Temperatur ungeschützter Diagonalen

Mindestwandstärke Diagonale [mm]	20	30	40	70
$T_{max.}$ [°C]	659,5	618,2	607,3	529,4
zul. $\mu_{0.}$	0,30	0,40	0,43	0,69

Gemäß Eurocode 3 Teil 1-2 und Nationalem Anhang kann der maximal zulässige Ausnutzungsfaktor, der sich bei voller Lastausnutzung ergibt, vereinfacht angenommen werden zu $\mu_0 = 0{,}59$.

Bei voller Lastausnutzung können die Diagonalen mit einer Wandungsdicke von 70 mm ungeschützt ausgeführt werden. Für die schlankeren Querschnitte ist eine Beschichtung mit einem DSB erforderlich, dies wurde rechnerisch nachgewiesen [10].

In Bild 8 wird exemplarisch der Temperaturzeitverlauf für die ungeschützte Diagonale mit der Wandungsstärke 70 mm gezeigt.

Der Tragwerksplaner konnte durch Variation der Parameter Lastausnutzung und Wandungsdicke flexibel ermitteln, welche Querschnitte geschützt werden müssen. Dadurch gelang es den Großteil der Diagonalen ungeschützt auszuführen. Lediglich in den Randbereichen, dort wo die größten Querkräfte im Fachwerkträger auftreten und die Lastausnutzungen auch bei großer Wandungsdicke hoch sind, war eine Beschichtung erforderlich.

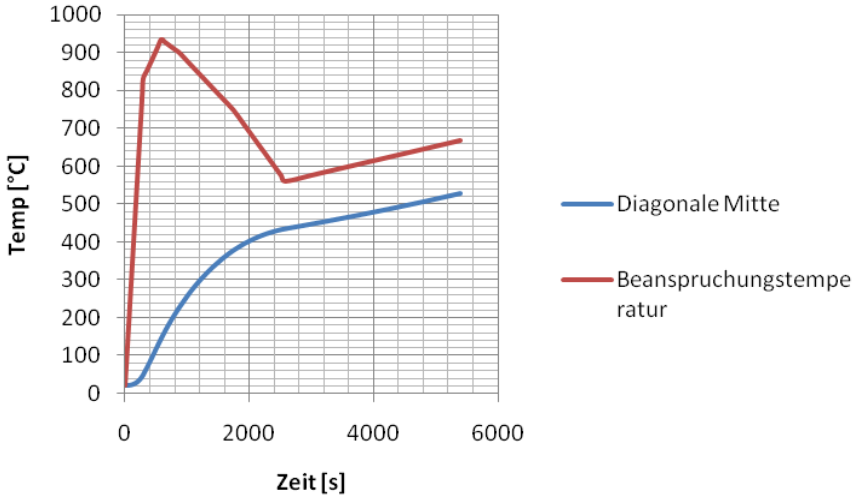


Bild 8 Temperaturverlauf Wandstärke 70 mm ungeschütztes Profil

Sekundärträger

Im Rahmen der thermischen Analyse wurden Sekundärträger (I-Profile) mit einer Trägerhöhe von ca. 60 cm und Wandungsdicken im Obergurt und Steg von 20 mm und im Untergurt von 35 mm, 40 mm, 43 mm untersucht. Der Obergurt der Sekundärträger ist teilweise von der Betonplatte der Decke umschlossen (Bild 9).

Für die ungeschützten Sekundärträger ergaben sich für den Untergurt die in Tabelle 2 zusammengestellten Ergebnisse:

Tabelle 2 Temperatur Untergurt ungeschützter Sekundträger

Mindestwandstärke Untergurt [mm]	35	40	43
T_{max} Untergurt [°C]	626	623	621
zul. μ_0	0,38	0,39	0,40

Für die Stege der Sekundärträger wurde gemäß den Angaben des Tragwerksplaners für alle Querschnitte eine Wandungsstärke von 20 mm und eine Ausnutzung des Steges von $\mu_0 = 0{,}18$ angesetzt. Die Ergebnisse der thermischen Analyse unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wandungsstärken des Untergurtes sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Die kritische Stahltemperatur beträgt bei einer Lastausnutzung der Stege von $\mu_0 = 0{,}18$ $\theta_{crit} = 741°C$, so dass die Stegprofile ungeschützt ausgeführt werden können.

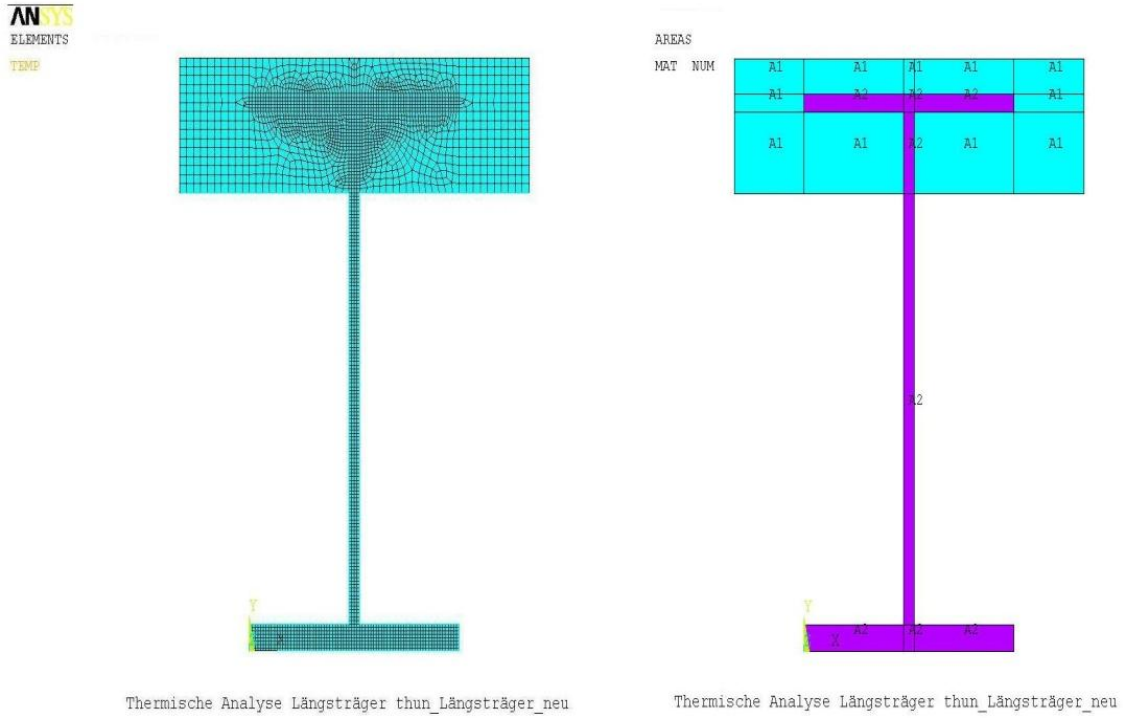


Bild 9 Diskretisierung der Sekundärträger

Tabelle 3 Temperatur Steg ungeschützter Sekundträger

Mindestwandstärke Steg in mm	20	20	20
T_{max} Steg [°C]	635	628	624
zul. μ_0	0,384	0,392	0,397

Anschlüsse

Die Stahltemperatur ist, aufgrund der im Bereich des Anschlusses örtlich vorhandenen höheren Massigkeit, in den Verbindungen in der Regel niedriger als in den zu verbindenden Bauteilen.

Die Schraubanschlüsse wurden entsprechend der Lastausnutzung dimensioniert. Der temperaturabhängige Verlauf der Zug- und Scherfestigkeit von

Schraubverbindungen kann mit Hilfe der Angaben aus DIN EN 1993-1-2 [2] bewertet werden (Bild 10). Grundsätzlich wurden die Schraubanschlüsse mit einem dämmschichtbildenden Anstrich der Qualität F 30 geschützt.

Festigkeit und Duktilität von Schweißverbindungen beginnen erst ab Temperaturen von oberhalb 300°C abzusinken (Bild 10). Der Festigkeitsabfall der Schweißverbindung erfolgt langsamer als bei Schrauben, so dass der Nachweis der Schweißverbindungen bei gleicher Lastausnutzung automatisch gegeben ist.

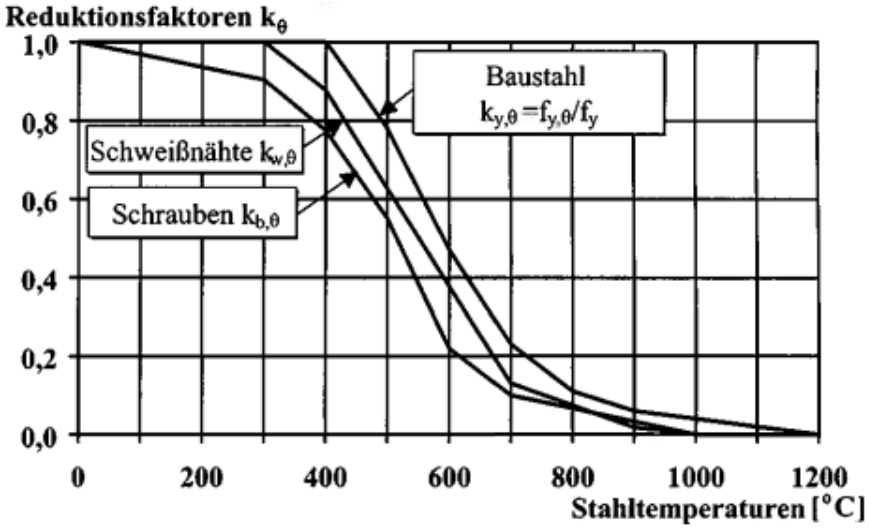


Bild 10 Temperaturabhängiger Festigkeitsabfall von Schrauben und Schweißnähten nach DIN EN 1993-1-2 [2]

SCHLUSSBETRACHTUNG

Mit einer leistungsorientierten Brandschutzbemessung auf Grundlage eines Naturbrandszenarios nach Eurocode 1 Teil 1-2 mit dem Verfahren mit kritischer Stahltemperatur nach Eurocode 3 Teil 1-2 konnte nachgewiesen werden, dass für die untersuchten Stahlbauteile im Gebäude Laces eine feuerbeständige Bekleidung nicht erforderlich ist. In Abhängigkeit der Lastausnutzung der Profile ist ein dämmschichtbildender Anstrich der Qualität F 30 ausreichend, teilweise können die Bauteile ungeschützt ausgeführt werden. Die geplante flächendeckende Sprinklerung wurde bei der Bemessung auf der sicheren Seite liegend nicht angesetzt, da zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch kein Sicherheitskonzept verfügbar war. Vergleichend wurde im Nachgang in [12] die Ermittlung der thermischen Einwirkungen auch nach dem neuen Sicherheitskonzept des Nationalen Anhangs [3] zu Eurocode 1 Teil 1-2 durchgeführt. Der Vergleich ergab keine wesentlichen Abweichungen bei der Ermittlung des Bemessungsbrandes.

Da eine leistungsorientierte Brandschutzbemessung zurzeit nur im Einzelfall mit Zustimmung der Bauaufsichtsbehörde durchgeführt werden kann, erfolgte im

Vorfeld eine intensive Abstimmung mit den Behörden und Planungsbeteiligten. Die Nachweise wurden durch einen Prüfingenieur geprüft [4].

Der Beitrag zeigt, dass mit einer leistungsorientierten Brandschutzbemessung nachweislich Anforderungen an Stahlbauteile verringert werden können, sodass die Konstruktion wirtschaftlicher ausgelegt werden kann. Der Aufwand des Nachweises wird bei einer derartigen Vorgehensweise allerdings erheblich höher. Solange die Eurocodes noch nicht in die Liste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen worden sind und die Bauordnungen die leistungsorientierten Brandschutznachweise als Regelnachweis noch nicht zulassen, können diese Nachweise auch in naher Zukunft nur im Einzelfall angewendet werden. Es bleibt zu hoffen, dass mittelfristig leistungsorientierte Brandschutznachweise regelmäßig angewendet werden können, sodass eine flexible, wirtschaftliche und risikogerechte Bauweise auch im Hinblick auf den Brandschutz ermöglicht wird.

DANKSAGUNG

Der Verfasser bedankt sich bei der Fa. Adidas, namentlich Herrn Krebs und Frau Krepold, für die Standfestigkeit und Unterstützung im langwierigen, doch letztlich erfolgreichen Baugenehmigungsprozess sowie für die unkomplizierte Freigabe der Erstellung dieses Beitrages.

LITERATUR

[1] DIN EN 1991-1-2:2003-09 - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke.

[2] DIN EN 1993-1-2:2006-10 - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten; Teil 1-2: Allgemeine Regeln; Tragwerksbemessung für den Brandfall.

[3] DIN EN 1991-1-2/NA - Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter; Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Entwurf Juni 2009.

[4] Schaumann, P.: Bericht über die Prüfung von bauordnungsrechtlichen Bestimmungen durch einen Sachverständigen im BV LACES Herzogenaurach, Oktober 2008.

[5] Hosser, D.: Mehr Flexibilität durch leistungsorientierte Brandschutzvorschriften. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutztage ’08, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 202, Braunschweig 2008, ISBN 978-3-89288-185-8

[6] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), 2009.

[7] Siegfried, W.: Doppelfassaden, Brandversuche und Analysen. vfdb-Jahresfachtagung 1995, Frankfurt, 11. bis 15. Juni 2005, Tagungsband. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 1995, S. 219 – 239.

[8] 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.

[9] Dorn, T.: Rechnerische Simulation der Wirkung dämmschichtbildender Beschichtungen bei der brandschutztechnischen Auslegung von Stahlbauteilen. In: Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Hosser. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 173, 2003.

[10] Brandschutztechnische Detailstellungnahme 07B351-G6, hhpberlin Ingenieure für Brandschutz, August 2008.

[11] 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.

[12] Mühlhäusler, A.: Brandschutznachweise für eine weit gespannte Stahl-Fachwerkkonstruktion mit verschiedenen Brandbeanspruchungen und Berechnungsverfahren. Diplomarbeit am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 2009.

[13] Niemöller, H.; Winkler, P.: Brandschutzkonzept Nr. 07B351-G5 zum Bauvorhaben LACES Herzogenaurach von hhpberlin Ingenieure für Brandschutz Niederlassung München.

BRANDSCHUTZKONZEPTE FÜR GEBÄUDE IN HOLZBAUWEISE BIS ZUR GEBÄUDEKLASSE 5

Dirk Kruse und Michael Dehne
Dehne, Kruse Brandschutzingenieure, Gifhorn

EINLEITUNG

Der traditionelle Baustoff Holz ist im Zuge der industriellen Revolution Mitte des 19. Jahrhunderts und dem damit verbundenen Übergang von der handwerklichen Fertigung zur industriellen Massenproduktion aus vielen Bereichen durch neue, technisch herstellbare Baustoffe wie Stahl, Stahlbeton und in jüngster Zeit auch Kunststoffe verdrängt worden. Der Tiefpunkt der Holzverwendung wurde in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts durchschritten. Vermutlich passte der altbewährte Baustoff Holz nicht in das moderne Weltbild und den allgemeinen Fortschritts- und Wachstumsglaube jener Jahre [1].

Erst als Ende der 1980er Jahre erkannt wurde, dass der technische Fortschritt mit einem immens steigenden Ressourcen- und insbesondere Energieverbrauch erkauft wurde, der die natürlichen Lebensgrundlagen der kommenden Generationen gefährdet, ist die nachhaltige Entwicklung (sustainable development) zunehmend in den Blickpunkt des Interesses gerückt. Die Zukunftsaufgaben wurden erstmals im Rahmen der Rio-Konferenz 1992 formuliert und auf den Folgekonferenzen 1995 in Berlin und 1997 in Kyoto weiter präzisiert [2,3]

Angesichts der Größe des Problems muss das Umdenken in Richtung einer stärkeren Umweltvorsorge in allen Bereichen ansetzen, also auch im Bauwesen, das grundsätzlich immer mit einer gewissen Umweltbelastung verbunden ist. Die Grundlagen für eine stärkere Verwendung des bedeutendsten, durch Syntheseleistungen der Natur entstehenden, Rohstoffes Holz im Bauwesen wurden maßgeblich durch das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig gelegt. Durch theoretische Grundlagenuntersuchungen und ein umfangreiches Brandversuchsprogramm wurde der Nachweis erbracht, dass das hohe brandschutztechnische Sicherheitsniveau in Deutschland auch bei Gebäuden in Holzbauweise im mehrgeschossigen Bereich aufrechterhalten werden kann. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen sind in die Novellierung der Musterbauordnung sowie in die Richtlinie für brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) [4,5] eingeflossen.

MB0 2002 UND MUSTER-HOLZBAURICHTLINIE

Fünf Jahre nach der Erarbeitung eines ersten Entwurfes liegt die Richtlinie für brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) mittlerweile seit November 2004 als Muster vor und wurde bereits in zehn Bundesländern eingeführt.

Tabelle 1 Zusammenstellung der Bundesländer mit bauaufsichtlich eingeführter M-HFHHolzR

Bundesland	M-HFHHolzR eingeführt	Bundesland	M-HFHHolzR eingeführt
Baden- Württemberg	-/-	Niedersachsen	-/-
Bayern	Ja	Nordrhein- Westfalen	-/-
Berlin	Ja	Rheinland- Pfalz	-/-
Brandenburg	-/-	Saarland	Ja
Bremen	-/-	Sachsen	Ja
Hamburg	Ja	Sachsen- Anhalt	Ja
Hessen	Ja	Schleswig- Holstein	Ja
Mecklenburg- Vorpommern	Ja	Thüringen	Ja

Prinzipiell erlaubt die M-HFHHolzR in Verbindung mit einer entsprechend novellierten Landesbauordnung Holzbauten mit bis zu fünf Vollgeschoßen. Die Anzahl der nach dieser Konstruktionsrichtlinie erbauten Objekte steigt seit 2004 sukzessive an. Auch in den Bundesländern (z.B. Bremen, Nordrhein-Westfalen), in denen nach Tabelle 1 noch das alte Baurecht Gültigkeit hat, sind mehrgeschossige Holzbauten umgesetzt worden oder es sind zumindest entsprechende Objekte geplant (vgl. Bild 1).

Bild 1 Auswahl umgesetzter oder geplanter mehrgeschossiger Holzbauten (GK 4 und GK 5)

Die Beschränkung gemäß MBO auf eine Fußbodenhöhe von 13 m des obersten Aufenthaltsraumes für Holzbauten kann bei der Nachverdichtung innerstädtischer Quartiere Probleme aufwerfen. In etlichen deutschen Großstädten (z.B. Berlin, Hamburg) sind die Gebäude in vielen Stadtteilen bis knapp unter die Hochhausgrenze (GK 5) geführt. Aus städtebaulicher Sicht ist daher eine Nachverdichtung durch Gebäude in Holzbauweise aufgrund der Beschränkung auf die Gebäudeklasse 4 zunächst nicht möglich.

Die Bebauung einer Baulücke durch ein mehrgeschossiges Holzgebäude setzt ein ganzheitliches Brandschutzkonzept voraus, in dem für die spezifischen Risken der mehrgeschossigen Holzbauweise geeignete Kompensationsmaßnahmen erarbeitet und begründet werden.

SPEZIFISCHE RISIKEN DER MEHRGESCHOSSIGEN HOLZBAUWEISE

Die risikoerhöhenden Faktoren, die sich bei der Holzbauweise gegenüber einer üblichen Massivbauweise ergeben, wurden ursprünglich durch das iBMB formuliert [6,7]. Insbesondere sind dies:

- Erhöhung der Brandlastdichte durch die brennbare Tragkonstruktion
- Gefahr eines Hohlraumbrands bei Einbrand in die Holztafelbauteile
- Eintreten eines verzögerten Tragfähigkeitsverlustes durch versteckten Weiterbrand im Inneren der Bauteile (Glutnester)
- Möglichkeit der Brandweiterleitung über Installationsöffnungen und
- Mangelnde Rauchdichtigkeit im Bereich von Eckfugen

Diese genannten Risiken lassen sich durch eine Reihe von konstruktiven Maßnahmen, in der der M-HFHHolzR beschrieben sind, beherrschen. Das wesentliche Element stellt dabei die Kapselung der brennbaren Tragkonstruktion dar. Zu beachten ist allerdings, dass die Mindestanforderungen der M-HFHHolzR ausschließlich für die Gebäudeklasse 4 definiert wurden. In der Gebäudeklasse 5 liegt ein erhöhtes Risiko vor (vgl. Bild 2).

Im Vergleich zur Gebäudeklasse 4 sind die erhöhten Risiken der Gebäudeklasse 5:

- Nutzungseinheiten bis 1.600 m² möglich und damit potenziell größere Brandszenarien in Nutzungseinheiten
- Potenziell größere Brandszenarien aufgrund der größeren Gebäudeabmessungen
- Erhöhte Anzahl von im Brandfall betroffenen Personen
- Längere vertikale Rettungswege für die Bewohner
- Längere vertikale Angriffswege für die Feuerwehr

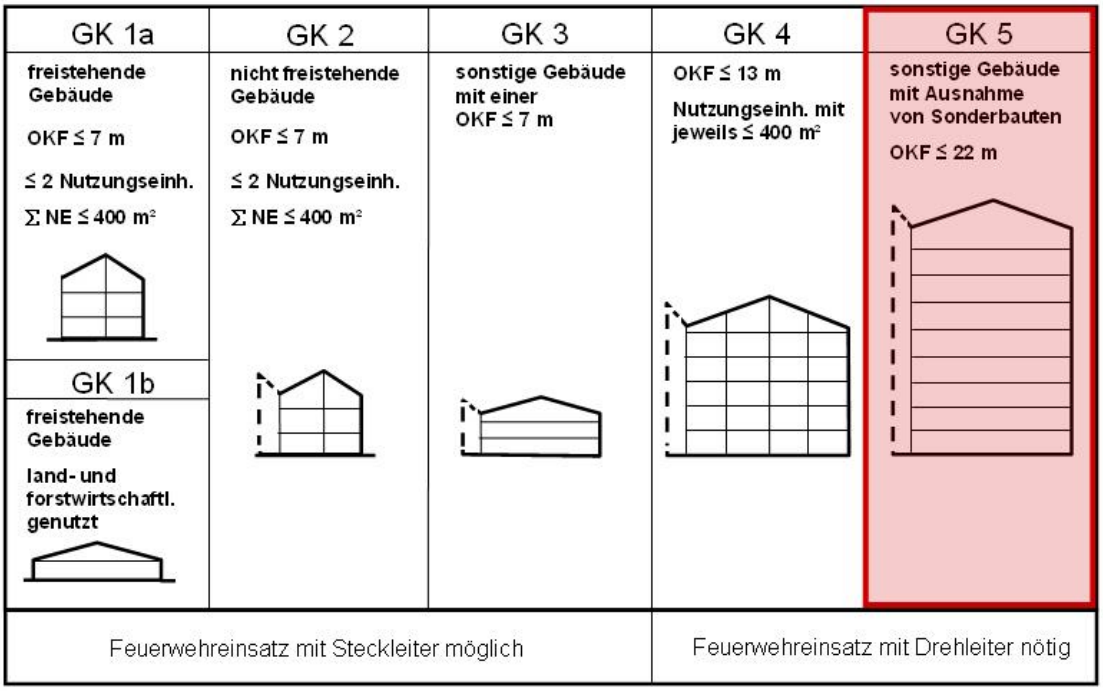


Bild 2 Zuordnung des Gebäudes in die Einteilung der Gebäudeklassen gemäß Berliner Bauordnung

Die notwendigen baulichen und anlagentechnischen Kompensationsmaßnahmen, um auch in der Gebäudeklasse 5 mit Holzgebäuden das allgemein akzeptierte Sicherheitsniveau zu erreichen, werden anhand eines 7-geschossigen Gebäudes in Berlin erläutert (Bild 3).

Bild: Kaden und Klingbeil

Bild 2 Baulücke in Berlin Prenzlauer Berg (Foto: Kaden Klingbeil)

7-GESCHOSSIGES STADTHAUS IN BERLIN

In Berlin Prenzlauer Berg wurde die zulässige Fußbodenhöhe des obersten Aufenthaltsraums nochmals um zwei Geschosse erhöht, und zwar bis auf 3 m unterhalb der Hochhausgrenze. Die sich hierdurch ergebenden Abweichungen von der Berliner Bauordnung mussten mit einem Brandschutzkonzept begründet werden und entsprechende Kompensationsmaßnahmen waren erforderlich.

Lage und Abmessungen des Gebäudes

Das Grundstück befindet sich an der Esmarchstrasse 3 in 10407 Berlin. Die Bebauung besteht aus einem 7-geschossigen Hauptbaukörper und einem erdgeschossigen Nebengebäude.

Der Hauptbaukörper besitzt die Abmessungen von ca. 12,5 m x 13,9 m. Das offene Treppenhaus befindet sich abgesetzt in einem Abstand von ca. 3,10 m vom Hauptbaukörper. Die Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen des Hauptbaukörpers liegt bei ca. 19,4 m. Die größte Bruttonutzfläche einer Nutzeinheit beträgt ca. 148 m². Das Nebengebäude wird in F 90-Qualität vom Hauptbaukörper abgetrennt.

Nutzung des Gebäudes

Das Gebäude dient überwiegend der Wohnnutzung. Im Erdgeschoss ist eine Büronutzung (Architekturbüro) geplant. Im Erdgeschoss befinden sich darüber hinaus die Technikräume. Ein Kellergeschoss ist nicht vorgesehen. Das Nebengebäude dient als Kellerersatz. Hier befinden sich Lagerräume für die Bewohner des Gebäudes.

Baurechtliche Einstufung

Nach § 2 Abs. (3) der BauO Bln wird das Gebäude in die Gebäudeklasse 5 eingestuft. Diese Gebäudeklasse beinhaltet die Gebäude mit einer Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen > 13 m. Da die Fußbodenhöhe hier < 22 m ist, wird das Gebäude nicht als Hochhaus eingestuft.

Das Tragwerk ist grundsätzlich feuerbeständige auszuführen.

Brandschutztechnische Lösungen

Die Tragkonstruktion wurde über eine entsprechende Überdimensionierung der Holzquerschnitte so ausgelegt, dass sie die Anforderung an den Feuerwiderstand von 90 Minuten erfüllt. Besondere Sorgfalt verlangte dabei die brandschutztechnische Ausbildung der Knoten und Anschlüsse. Hier mussten z.T. Sonderlösungen entwickelt werden. Ein vorzeitiger Einsturz des Gebäudes im Brandfall ist daher ausgeschlossen.

Um das Risiko einer erhöhten Brandlastdichte aufgrund der Verwendung brennbarer Baustoffe zu beherrschen, wurde eine Kapselung $K_2$60 nach DIN EN 13501 und gemäß den Konstruktionsvorschriften der M-HFHHolzR vorgesehen. Die Bekleidung besteht innen aus zwei jeweils 18 mm dicken Gipsfaserplatten, die nach dem Abspachteln der Fugen sofort die malerfertige Ansicht bildet. Auf der Außenseite wurde eine Kapselung aus 1x 12,5 mm Gipsfaserplatte in Kombination mit einer 100 mm Steinwolllamelle mit 8 mm mineralischem Putzsystem ausgeführt. Ein vorzeitiges Brennen der Tragkonstruktion ist also innerhalb der ersten 60 Minuten nicht möglich, sofern die Qualität der Bauausführung sicher gestellt ist. Für 60 Minuten ist also eine Gleichwertigkeit zu einem feuerbeständigen Gebäude gegeben.

In Verbindung mit einer vernetzten Brandmeldeanlage nach DIN 14675 kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb von 60 Minuten nach Brandbeginn ein Löschangriff der Berliner Feuerwehr erfolgt, so dass de facto kein wesentlicher Unterschied zu Stahl- oder Massivbauten besteht.

Das Risiko eines schwer beherrschbaren Hohlraumbrandes oder. der Bildung von Glutnestern innerhalb der Konstruktion wurde durch konstruktive Maßnahmen auf nahezu Null reduziert. Die tragenden, aussteifenden und raumabschließenden Außenwände wurden in Massivholzbauweise (s. Bild 4), die Innenwände als Metallständerwände jeweils mit nichtbrennbaren Bauteiloberflächen ausgebildet. Die tragenden Stützen im Erdgeschoss und die Gebäudeabschlusswände wurden in Stahlbetonbauweise hergestellt. Die Decken wurden als Holzbetonverbundelemente mit teilweise sichtbarer Untersicht eingebaut.

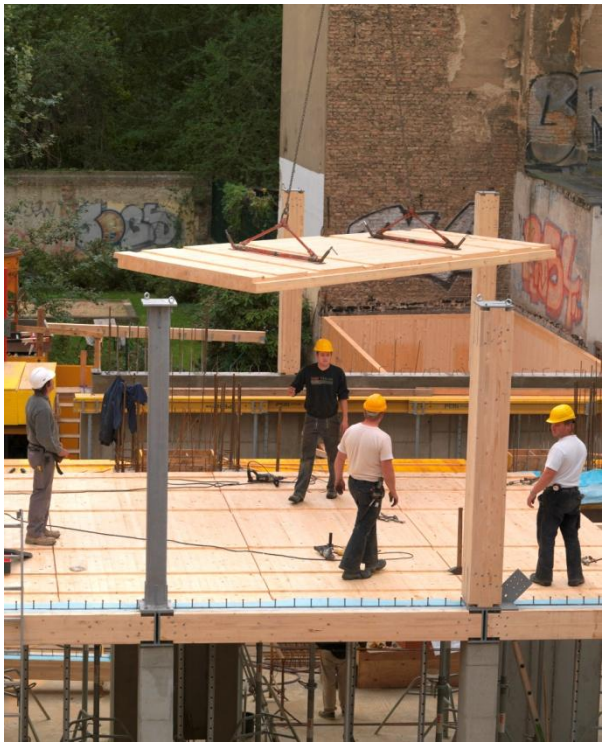


Bild 4 Aufbau der Holzmassivelemente (Foto: Kaden Klingbeil)

Ein Hohlraumbrand ist damit nicht möglich, zumal die notwendige vertikale Installation des Gebäudes in Installationskernen aus Stahlbetonschächten erfolgte. Die horizontale Installation erfolgte konsequent in Vorwandinstallationsebenen (vgl.Bild 5), in den Metallständerwänden oder in der Betonschicht des Holzbetonverbundelementes.

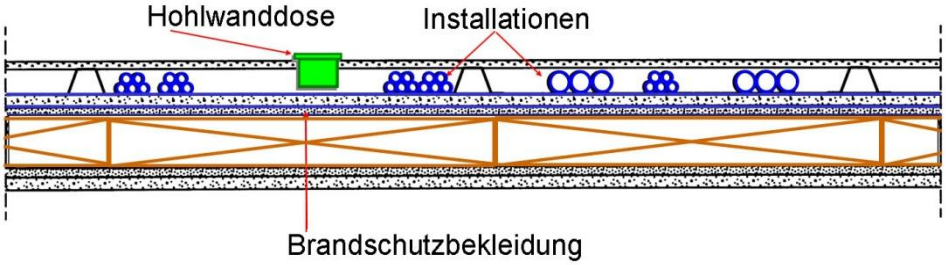


Bild 5 Prinzipielle Ausführung einer Vorwandinstallation

Die Rauchdichtigkeit zwischen den Nutzeinheiten wird über die Decken realisiert, da mit Ausnahme des 2. Obergeschoßes jedes Geschoß eine eigene Nutzeinheit bildet. Die Decken wurden als Holzbetonverbundelemente bestehend aus 16 cm dickem Brettschichtholz (Zugzone) und einer 10 cm dicken Betonschicht (Druckzone) ausgeführt. Bei Brandbeanspruchung von oben verhalten sich diese Decken aufgrund der oberseitigen Betonschicht ähnlich wie eine herkömmliche Stahlbetondecke. Anders als die Wandoberflächen wurden die Deckenunterseiten in Sichtholzqualität ausgeführt. Im Küchenbereich wurde aufgrund des höheren Risikos die gleiche Brandschutzbekleidung aus 2 x 18 mm Gipsfaserplatte wie auf den Innenseiten der tragenden und raumabschließenden Wände gewählt. Die sonstigen Deckenunterseiten wurden durch eine transparente Brandschutzbeschichtung geschützt; damit wird die Baustoffklasse von normal entflammbar zu schwer entflammbar gemäß DIN 4102-1 verbessert.

Die erhöhten Risiken der Gebäudeklasse 5 wurden durch die Ausbildung von Brandabschnitten über die Geschossdecken, sowie ein detailliert ausgearbeitetes Flucht- und Rettungswegkonzept, kompensiert.

Die Grundfläche des Hauptbaukörpers wurde zunächst auf unter 200 m² festgelegt. In der weiteren Planung wurde die Grundfläche zu 175 m² definiert. Damit ergibt sich auch die maximale Größe einer Nutzungseinheit. Aufgrund von Erschließungsflächen in den jeweiligen Geschossen wurde eine maximale Größe einer Nutzungseinheit von 148 m² erreicht. Damit ist in Verbindung mit der Brandmeldeanlage eine wirkungsvolle Brandbekämpfung für die Berliner Feuerwehr gewährleistet, da ein Brandereignis auf einen vergleichsweise kleinen Brandabschnitt beschränkt bleibt.

Auch im eigentlich unmöglichen Fall eines Vollbrandes über alle Geschosse würde die brandbeaufschlagte Fläche zwischen den beiden Brandwänden des Gebäudeabschlusses lediglich ca. 1.000 m² betragen. In einem Gebäude der Gebäudeklasse 4 könnte im genauso unwahrscheinlichen Fall eines Vollbran-

des über alle Geschosse zwischen den Brandwänden immerhin eine Fläche von 8.000 m² betroffen sein.

Die sichere Evakuierung der Bewohner trotz längerer vertikaler Rettungswege ist durch ein detailliert ausgearbeitetes Fluchtwegkonzept sicher gestellt. Die Fluchtweglänge bis zum Treppenraum beträgt maximal 20 Meter. Zulässig wären nach BauO Bln 35 Meter. Das Treppenhaus ist in Massivbauweise (Stahlbeton) ausgeführt und steht losgelöst vom Hauptbaukörper in einem Abstand von ca. 3,10 Meter (s. Bild 6).

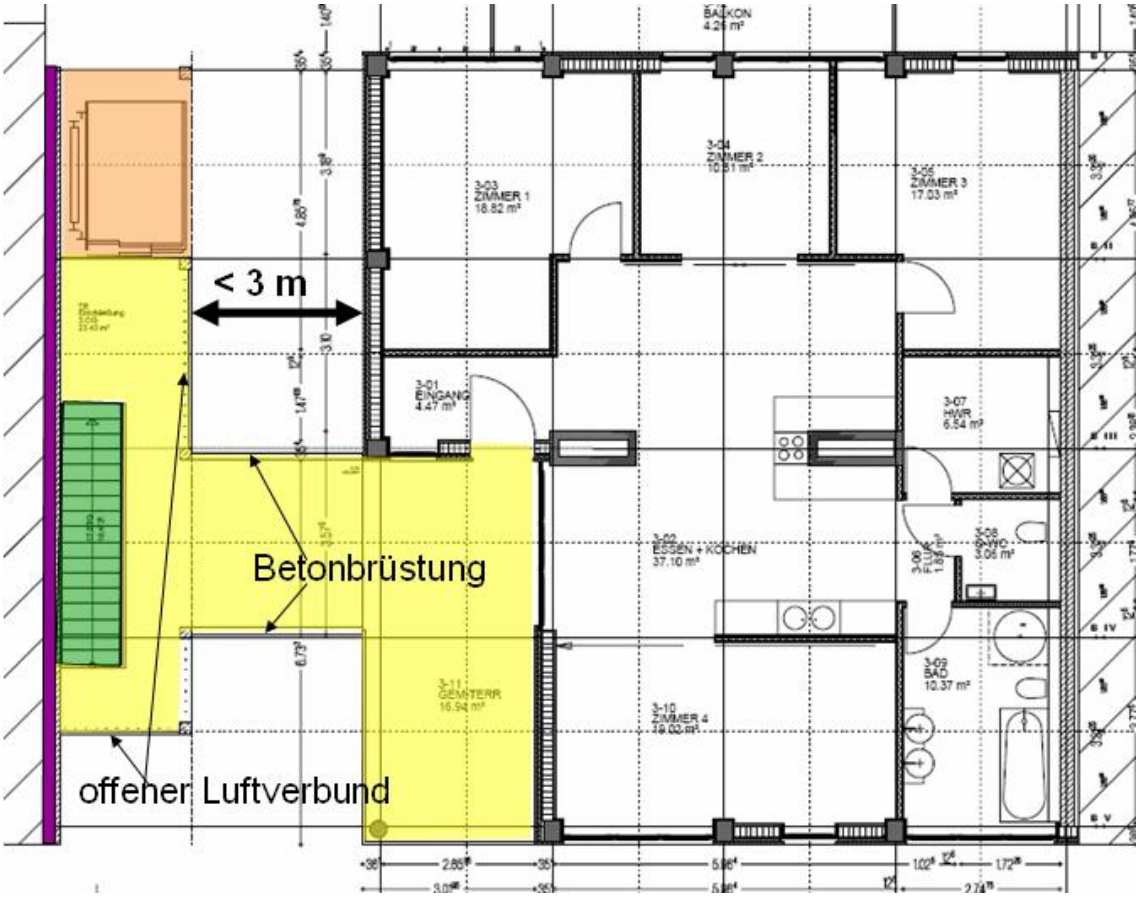


Bild 6 Treppenraum getrennt vom Hauptbaukörper

Die Erschließung erfolgt über wannenförmig ausgebildete feuerbeständige Stahlbetonbalkone. Ein Ausfall des Treppenraums, z.B. durch Raucheintritt aus einer brennenden Nutzungseinheit, kann daher mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Für die Berliner Feuerwehr stellt der Treppenraum ebenfalls eine optimale Situation her. Der Löschangriff kann aus einem sicheren Bereich heraus auf Ebene des Brandes erfolgen, ohne dass eine Drehleiter erforderlich ist. Die Flucht- und Rettungswegsituation ist daher signifikant besser zu beurteilen als bei einem vergleichbaren Massivgebäude, zumal aufgrund der Brandmeldeanlage von einer frühzeitigeren Alarmierung der Bewohner und der Feuerwehr auszugehen ist.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit einer Fußbodenhöhe des obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen von ca. 19 m wird bei dem diskutierten Gebäude die in Berlin zulässige Höhe von Holzbauten um 6 m und damit um zwei Geschosse überschritten. Dennoch liegt im vorliegenden Fall kein unzulässig hohes Risiko vor. Die Rettungswegsituation ist deutlich besser als bei vielen Neu- und Bestandsbauten in Massivbauweise. Die typische Berliner Innenhofsituation macht den Einsatz einer Drehleiter vielfach unmöglich, so dass bei der üblichen Berliner Bauhöhe nur noch das Sprungkissen als 2. Rettungsweg bleibt. Zudem haben wir im Altbestand häufig noch die Holztreppen und Vertäfelungen in den Treppenräumen mit den leider aus der Presse bekannten möglichen fatalen Folgen.

Im vorliegenden Fall kann der Ausfall des im offenen Luftverbund liegenden und brandlastfreien Treppenraums aus Stahlbeton praktisch ausgeschlossen werden. Davon profitiert auch die Feuerwehr, die zudem eine trockene Steigleitung für die rasche Vorbringung eines Löschangriffs erhält. Die flächendeckende Brandmeldeanlage sorgt zum einen für eine rasche Alarmierung der Personen und zum anderen ist hierdurch ein deutlich schnelleres Eingreifen der Berliner Feuerwehr möglich. Die Erhöhung der Brandlast durch die brennbare Konstruktion wird beherrscht, indem die Wände innen entsprechend mit Gipsfaserplatten (2 x 18 mm) und außen mit Steinwolllamellen eingekapselt werden. Für mindestens 60 Minuten beteiligen sich die betreffenden Bauteile somit nicht am Brandgeschehen. Die Decken erhalten im Küchenbereich ebenfalls eine Brandschutzbekleidung $K_2$60 und ansonsten eine Brandschutzbeschichtung, um bezüglich des vertikalen Brandüberschlags (Flammenaustritt aus dem Fenster) keine schlechteren Bedingungen zu schaffen als bei Massivbauten. Es sei an dieser Stelle auch angemerkt, dass bei allen Bauweisen zunächst das Mobiliar am Brand beteiligt ist. Die Anschlüsse werden streng nach den Vorgaben der M-HFHHolzR gefertigt, so dass auch die Rauchdichtigkeit nicht schlechter ist als bei Massivbauten. Vor allem jedoch kann der bei Holztafelbauten mögliche Hohlraumbrand, der von der Feuerwehr nur schwer bekämpft werden kann, im vorliegenden Fall gänzlich ausgeschlossen werden. Denn es werden ausschließlich massive Holz- bzw. Holzbetonverbundkonstruktionen verwendet.

Der Feuerwiderstand aller tragenden und raumabschließenden entspricht den Anforderungen der Berliner Bauordnung (F 90). Die Abweichung besteht einzig in der Verwendung von brennbaren Baustoffen.

Insgesamt wird im vorliegenden Fall durch das Zusammenwirken von baulichen und anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen ein mindestens gleichwertiges Sicherheitsniveau zu üblichen Massivbauten geschaffen.

AUSBLICK

Auch in Zukunft wird es einen gewissen Bedarf für mehrgeschossige Holzbauten auch in der Gebäudeklasse 5 bei Bauherren und Architekten geben. An-

strengungen diese Bauweise in eine Regelbauweise im Rahmen einer Überarbeitung der MBO zu überführen, erachten die Autoren zum derzeitigen Zeitpunkt als nicht zweckmäßig. Zunächst gilt es, in der Gebäudeklasse 4 mit dem Holzbau weitere Erfahrungen zu sammeln. Dies auch vor dem Hintergrund von Qualitätssicherungsproblemen gebauter Beispiele aus der jüngeren Zeit. Unabhängig davon ist es auch zum heutigen Zeitpunkt möglich, im Rahmen einer Abweichung vom Baurecht auch höhere Holzgebäude zu realisieren. In diesen Fällen kann dann über die Bauaufsichten sicher gestellt werden, dass erfahrene Fachplaner mit einem Schwerpunkt Brandschutz im Holzbau hinzugezogen werden.

LITERATUR

[1] Glos, P.: Holz – Potenziale des nachhaltigen Baustoffes. Informationsdienst Holz Spezial, Bonn August 2008.

[2] LOSKE, R., BLEISCHWITZ, R.: Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. 4. Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag, 1997.

[3] Bolte, A.; Ilisch, P. L.:Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Naturschutz, AFZ-DerWald, 62, 2007.

[4] Musterbauordnung – MBO- , Fassung November 2002.

[5] Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (Muster-Holzbaurichtlinie - M-HFHHolzR), Fassung Juli 2004.

[6] Hosser, D.; Kampmeier, B.: Bewertung des Brandverhaltens unbekleideter flächiger massiver Holzbauteile im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau unter Berücksichtigung des geltenden nationalen Sicherheitsniveaus sowie der DIN EN 1995-1-2, Abschlussbericht im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Juli 2008.

[7] Becker, J; Tichelmann, K; Hosser, D; Wesche, J: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise. Forschungsbericht im Auftrag der Deutschen .Gesellschaft für Holzforschung, Teil 1, Juli 1997

SITZUNG 4

LEITFADEN INGENIEURMETHODEN
DES BRANDSCHUTZES

Sitzungsleitung: H. Hagen, Wiesbaden

VFDB-LEITFADEN INGENIEURMETHODEN DES BRANDSCHUTZES – ÜBERBLICK UND WESENTLICHE NEUERUNGEN DER 2. AUFLAGE 2009

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

EINLEITUNG

Im Mai 2006 hatte die Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) den „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ als 1. Auflage [1] auf der Homepage der vfdb und des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig veröffentlicht. Seitdem wurde er viele tausend Mal von interessierten Fachleuten aus dem In- und Ausland heruntergeladen. Viele Zuschriften und Kommentare bestätigen, dass der Leitfaden für die praktische Anwendung von Ingenieurmethoden hilfreich ist und dazu beiträgt, die bisher noch sehr uneinheitlichen Vorgehensweisen und Annahmen zu harmonisieren und Fehler durch Verlassen des abgesicherten Anwendungsbereichs oder Verwenden unzutreffender Eingangsdaten zu vermeiden. Angesichts der stetigen Weiterentwicklung der Ingenieurmethoden war von vornherein eine Aktualisierung des Leitfadens in Zeitintervallen von 2 bis 3 Jahren vorgesehen. Im Mai 2009 ist nun die 2. Auflage [2] erschienen, die neuere Erkenntnisse berücksichtigt, redaktionelle Klarstellungen vornimmt und mit Navigationshilfen und Verlinkungen noch anwenderfreundlicher gestaltet ist.

KONZEPT UND GLIEDERUNG DES LEITFADENS

Das vfdb-Referat 4 „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ hatte sich bei seiner Gründung im Jahr 1997 zum Ziel gesetzt, die modernen Ingenieurmethoden des Brandschutzes, die für die Planung und Bewertung von Brandschutzmaßnahmen mehr und mehr an Bedeutung gewinnen, in einem Leitfaden zusammenfassend zu beschreiben und ihre sachgerechte Anwendung anhand von Beispielen zu erläutern. Zwei Internationale Brandschutz-Symposien (IBS) der vfdb im Mai 2001 in München [3] und im Juni 2005 in Hannover [4] wurden genutzt, um den Entwurf des Leitfadens der Fachwelt vorzustellen und am internationalen Stand von Wissenschaft und Technik zu spiegeln. Nach Einarbeitung der gewonnenen Erkenntnisse und Berücksichtigung von Korrekturhinweisen und Ergänzungsvorschlägen konnte anlässlich der vfdb-Jahresfachtagung 2006 in Salzburg die 1. Auflage Mai 2006 des Leitfadens [1] veröffentlicht werden. Auf Wunsch des Referats 4 wurde dabei einer frei im Internet verfügbaren Download-Version der Vorzug vor einer kostenpflichtigen Druckfassung des damals ca. 340 Seiten starken Technischen Berichtes gegeben. Das erleichterte eine rasche Verbreitung bei Brandschutzsachverständigen, Bauaufsichtsbehörden, Feuerwehren und Bauherren und die gewünschte Angleichung des Kenntnisstandes.

Der aktuelle Leitfaden ist in 10 Kapitel und 3 Anhänge gegliedert:

1 Konzept und Anwendung des Leitfadens
2 Erfassung des Gebäudes
3 Schutzziele und Leistungskriterien
4 Brandszenarien und Bemessungsbrände
5 Modelle für die Brandsimulation
6 Brandschutztechnische Nachweise von Bauteilen und Tragwerken
7 Anlagentechnischer und abwehrender Brandschutz
8 Personensicherheit in Rettungswegen
9 Personenstromanalysen mit rechnerischen Nachweisverfahren
10 Risikomethoden und Sicherheitskonzept

Anhang

A1 Bezeichnungen und Symbole
A2 Anwendungsbeispiel
A3 Mitarbeiter im vfdb-Referat 4

Die einzelnen Kapitel wurden durch 5 Arbeitsteams und 4 Ad hoc-Gruppen erarbeitet und im ständigen Arbeitskreis des Referats 4 beraten. Eine Übersicht der Referatsstruktur und der Mitarbeiter findet sich im Internet unter http://www.vfdb.de/index.php?content=referat4

Der Aufbau des Leitfadens entspricht dem realen Ablauf einer Projektbearbeitung mit Ingenieurmethoden des Brandschutzes mit den in Bild 1 rechts dargestellten Arbeitsschritten. Zum Vergleich ist die klassische Brandschutzauslegung „nach Vorschrift“ im linken Bildteil gezeigt.

NEUERUNGEN DER 2. AUFLAGE

Übersicht

Die intensivere Auseinandersetzung der Anwender mit den Grundlagen der Ingenieurmethoden und Eingangsdaten führte, neben vielen lobenden Kommentaren, auch zu einigen kritischen Fragen und Hinweisen, denen bei der weiteren Bearbeitung im Referat 4 nachgegangen wurde. Auch aus eigenen Anwendungen der Referatsmitglieder und Veröffentlichungen in Fachzeitschriften ergab sich an verschiedenen Stellen Klärungs- und Änderungsbedarf. Insgesamt konnten in den Jahren 2007 und 2008 nochmals wesentliche Verbesserungen erzielt werden, die zu der jetzt vorliegenden 2. Auflage Mai 2009 des Leitfadens [2] geführt haben.

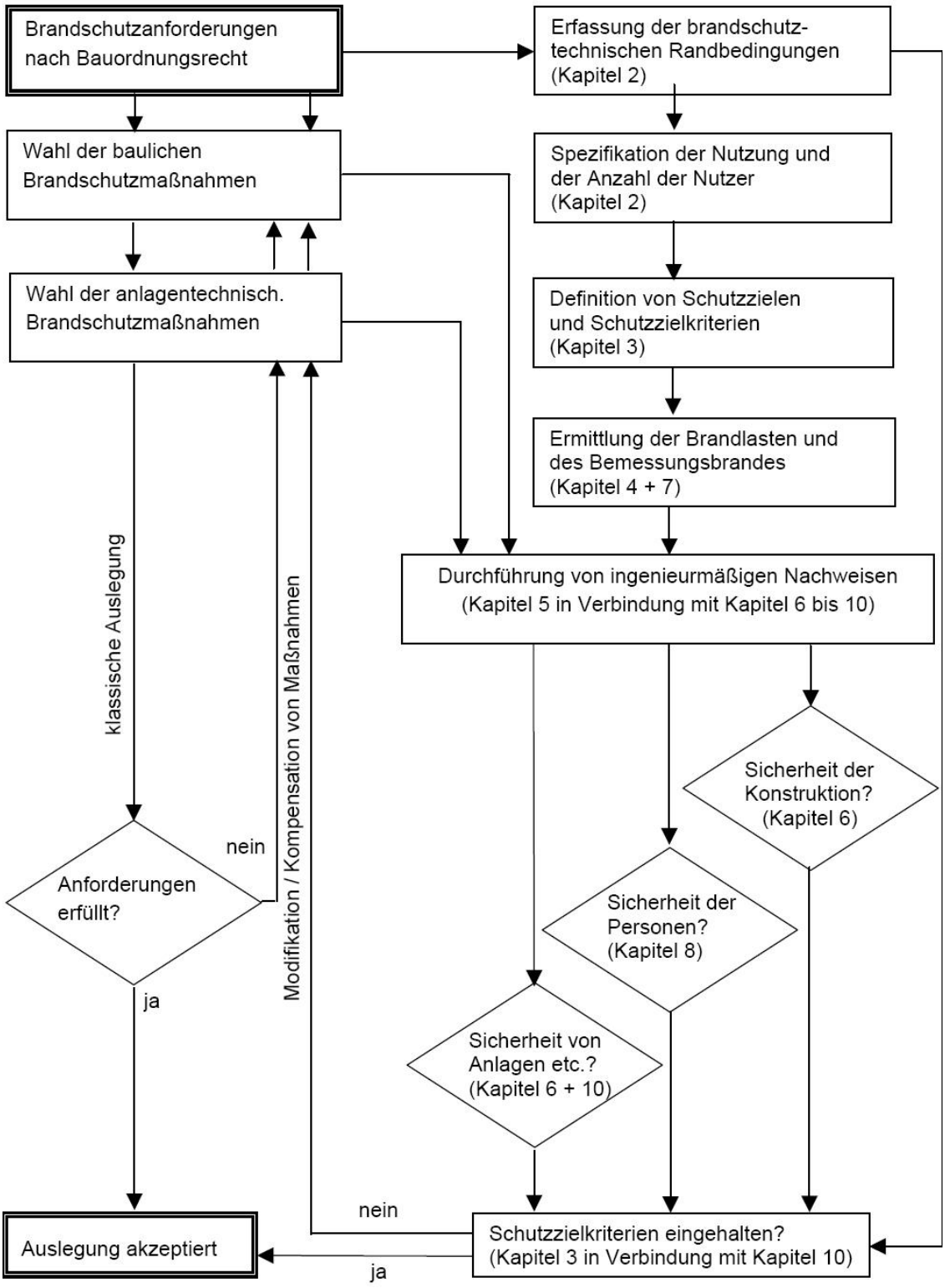


Bild 1 *Einsatzbereich von Ingenieurmethoden (rechter Bildteil) im Vergleich zu der klassischen Vorgehensweise (linker Bildteil) bei der brandschutztechnischen Auslegung*

Im Einzelnen wurde die 2. Auflage gegenüber der 1. Auflage in folgenden Punkten überarbeitet (vgl. Gliederung):

- Die Kapitel 1 und 2 wurden lediglich redaktionell überarbeitet und gestrafft.
- Im Kapitel 3 wurde der Zusammenhang zwischen Schutzzielen, Nachweisverfahren und Leistungskriterien deutlicher herausgearbeitet.
- Das Kapitel 4 unterscheidet jetzt bei scheinbar widersprüchlichen Literaturangaben zu einzelnen Kenngrößen der Bemessungsbrände zwischen empfohlenen Standardwerten und Werten für spezielle Randbedingungen.
- Im Kapitel 5 wurden aufgrund von Kommentaren und Wünschen aus der Praxis ergänzende Erläuterungen und Interpretationen aufgenommen.
- Die Beschreibung der Nachweisverfahren im Kapitel 6 wurde stärker auf die inzwischen veröffentlichten Brandschutzteile der Eurocodes und die zugehörigen Nationalen Anhänge abgestellt.
- Das Kapitel 7 stellt Modelle und Daten zur Wirksamkeit und Zuverlässigkeit anlagentechnischer und abwehrender Brandschutzmaßnahmen bereit, die bei der Dimensionierung der baulichen Brandschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.
- Die Kapitel 8 und 9 wurden nur redaktionell überarbeitet. Die Beurteilungsgrößen für quantitative Schutzziele der Personensicherheit wurden aus Kapitel 3 in Kapitel 8 verlagert und werden hier ausführlicher erläutert.
- Im Kapitel 10 wurde das semi-probabilistische Sicherheitskonzept ersetzt und an die Regelungen im Nationalen Anhang zum Brandschutzteil des Eurocode 1 angeglichen, die für Nachweise des baulichen Brandschutzes in Deutschland bindend werden.
- Der Anhang 1 wurde wesentlich erweitert.
- Im Anhang 2 wird am Beispiel eines Hörsaalgebäudes die gesamte Nachweiskette von den Schutzzielen über Brandszenarien und Bemessungsbrände, Brandsimulationen, Nachweise des Tragwerks und der Personengefährdung sowie Entfluchtungsanalysen demonstriert und erläutert.
- Der Anhang 3 enthält die aktuelle Organisationsstruktur des Referats 4.

Nachfolgend wird zusammengefasst auf die Hintergründe der inhaltlichen Änderungen eingegangen.

Kapitel 3 - Schutzziele und Leistungskriterien

Die Diskussion in Fachkreisen über die Schutzziele des Brandschutzes und die Zuordnung von funktionalen Anforderungen und Leistungskriterien dauert noch an, so dass für die 2. Auflage des Leitfadens auf eine grundlegende Überarbeitung des Kapitels 3 verzichtet wurde. Es wurde aber ein neuer Abschnitt 3.5.3 eingefügt, der in Form einer Matrix verdeutlicht, wie die öffentlich-rechtli-

chen Schutzzielen bei klassischer Vorgehensweise nach Vorschrift bzw. bei Anwendung von Ingenieurmethoden mit funktionalen Anforderungen, zugehörigen Nachweisen und Leistungskriterien verknüpft sind oder werden können. Quantitative Angaben zu den Leistungskriterien wurden aus Kapitel 3 ausgelagert und finden sich jetzt bei den entsprechenden Nachweisen in den Kapiteln 5 bis 9.

Durch eine (elektronische) Verlinkung wird der Anwender aus der Matrix direkt zu den jeweiligen Nachweiskapiteln geführt. Redaktionell wurden die Systematik der Verknüpfungen und die verwendeten Begriffe an die internationalen Vorgaben von ISO/TC 92/SC 4 „Fire Safety Engineering“ angeglichen.

Kapitel 4 – Brandszenarien und Bemessungsbrände

In diversen Stellungnahmen zur 1. Auflage des Leitfadens war kritisiert worden, dass die Angaben im Kapitel 4 zu den Bemessungsbrand-Szenarien und Bemessungsbränden von den Anwendern unterschiedlich interpretiert werden können. Insbesondere die aus der internationalen Fachliteratur zusammengetragenen Werte zu wichtigen Brandgrößen weisen eine große Bandbreite auf. Dem wurde durch zusätzliche Erläuterungen der Hintergründe und Anwendungsbereiche begegnet. Außerdem wurde zwischen „Standardwerten“ für übliche Randbedingungen und Werten für spezielle Situationen unterschieden, die in 8 Tabellen des Kapitelanhangs ausgelagert wurden.

Für weitere Informationen zum neuen Kapitel 4 wird auf den Beitrag von Wiese und Riese [5] verwiesen.

Kapitel 5 – Modelle für die Brandsimulation

Zum Kapitel 5 gab es gleich nach dem Erscheinen der 1. Auflage des Leitfadens zahlreiche Rückfragen, Änderungs- und Ergänzungswünsche, die im Referat 4 Anlass für eingehende Diskussionen und weitergehende Untersuchungen gaben und die im Ergebnis zu einer gründlichen redaktionellen Überarbeitung des Kapitels geführt haben. Ein neuer Abschnitt 5.1.1 „Überblick“ führt den Anwender quasi durch das Kapitel und erleichtert ihm das Auffinden der für die verschiedenen Fragestellungen geeigneten Modelle. Hinsichtlich der Modelle selbst haben sich keine wesentlichen neuen Erkenntnisse ergeben. Offen blieb die Frage, ob ein gesprinklerter Brand wie ein lokal begrenzter Brande mit reduzierter Wärmefreisetzungsrate behandelt und mit Hilfe von Plume-Modellen berechnet werden kann. Da hinsichtlich des Heißgasmassenstroms und der Einmischung andere Verhältnisse herrschen als beim ungesprinklerten Brand, können die Plume-Formeln nur eine grobe Näherung sein.

Weitere Erläuterungen zu den Simulationsmodellen, ihrer Absicherung durch Versuchsergebnisse und den empfohlenen Anwendungsbereichen finden sich in einem Beitrag von Siegfried [6] zur vfdb-Jahresfachtagung 2009.

Kapitel 6 – Brandschutztechnische Nachweise von Bauteilen und Tragwerken

Ende 2006 sind die Brandschutzteile der Eurocodes in Deutschland als DIN EN-Normen erschienen. Die für die Anwendung in Deutschland notwendigen Nationalen Anhänge liegen seit Juni 2009 als Normentwürfe vor und sollen im März 2010 als DIN EN-Normen veröffentlicht werden [7]. Dann werden diese neuen Normen nach einer gewissen Übergangszeit die DIN 4102-4 für die Brandschutzbemessung tragender Bauteile in Deutschland ablösen. Angesichts dieser Entwicklung wurde das Kapitel 6 des Leitfadens bereits jetzt stärker auf die künftigen Regelungen der Eurocodes ausgerichtet. Deren Hintergründe werden erläutert und Empfehlungen für die Anwendung gegeben. Die Nachweise nach den derzeit noch gültigen DIN-Normen werden nur noch der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Zur näheren Information über die brandschutztechnischen Nachweise nach den Eurocodes wird auf [8], [9] verwiesen.

Kapitel 7 – Anlagentechnischer und abwehrender Brandschutz

Das Kapitel 7 des Leitfadens liefert die notwendigen Grundlagen und Daten, um anlagentechnische und abwehrende Brandschutzmaßnahmen bei Nachweisen mit Ingenieurmethoden des Brandschutzes berücksichtigen zu können. Hierzu gehören einerseits Modelle zur Beschreibung der Auswirkungen auf den Verlauf eines (Bemessungs-)Brandes und die Brandwirkungen und andererseits Daten zur Zuverlässigkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit im Anforderungsfall. Insbesondere an den Angaben zur Ausfallwahrscheinlichkeit in der 1. Auflage des Leitfadens wurde seitens der Hersteller von Anlagen und auch aus Feuerwehrkreisen Kritik geübt. Dies wurde in dem zuständigen Arbeitsteam zum Anlass genommen, weitere Mitglieder mit speziellem Sachverstand aufzunehmen, die Datenbasis zu verbreitern und das Kapitel dann redaktionell gründlich zu überarbeiten.

Weitere Informationen und Erläuterungen finden sich in dem Beitrag von Dehne und Klinzmann [10].

Kapitel 8 und 9 – Personensicherheit und Personenstromanalyse

Zu den Kapiteln 8 und 9, die für Nachweise der sicheren und ausreichend langen Benutzbarkeit von Rettungswegen von Bedeutung sind, hat es aus der Praxis kaum Kritik oder Änderungswünsche gegeben. Deshalb wurden lediglich einzelne redaktionelle Verbesserungen vorgenommen.

Die Anhaltswerte für die Beurteilung der Personensicherheit wurden aus dem Kapitel 3 in das Kapitel 8.5 überführt. Durch ausführlichere Erläuterungen wurde auf Unsicherheiten in der Praxis bei der Interpretation der angegebenen alternativen Beurteilungsgrößen und ihrer Bandbreiten reagiert.

Weitere Erläuterungen und Hintergrundinformationen zu Nachweisen der Personensicherheit wurden in einer eigenen Fachsitzung des Referats 4 bei der vfdb-Jahresfachtagung 2007 gegeben [11], [12], [13].

Kapitel 10 – Risikomethoden und Sicherheitskonzept

Im Hinblick auf die Anwendung der Brandschutzteile der Eurocodes in Deutschland wurde ein übergreifendes Sicherheitskonzept erarbeitet, das in den Nationalen Anhang zum Eurocode 1 Teil 1-2 [14] eingeflossen ist. Da dieses Konzept künftig grundsätzlich für alle Nachweise auf der Basis von Brandsimulationsrechnungen gelten soll, musste das davon abweichende Sicherheitskonzept der 1. Auflage des Leitfadens ersetzt werden.

Ausführliche Erläuterungen zu dem neuen Sicherheitskonzept geben Weilert und Albrecht in [15] sowie Dehne und Klinzmann in [10] in Bezug auf die Berücksichtigung von anlagentechnischen und abwehrenden Brandschutzmaßnahmen.

Anhang 1 – Bezeichnungen und Symbole

Durch Hinweise von Anwendern war deutlich geworden, dass in den verschiedenen Kapiteln des Leitfadens zum Teil unterschiedliche Bezeichnungen und Symbole für dieselben Parameter verwendet wurden. Deshalb wurden während der gesamten Überarbeitsphase von den verschiedenen Arbeitsteams die verwendeten Begriffe zusammengetragen und untereinander abgeglichen. Als Ergebnis ist der neue, deutlich erweiterte Anhang 1 entstanden, der jetzt eine einheitliche Grundlage für den gesamten Leitfaden darstellt und auch in der Praxis zur Vereinheitlichung der Begriffe des Brandschutzingenieurwesens beitragen kann.

Anhang 2 – Anwendungsbeispiel

Das zusammenhängende Anwendungsbeispiel in der 1. Auflage des Leitfadens wurde in der Praxis als sehr hilfreich empfunden, weil es die Bearbeitung eines konkreten Projektes mit Hilfe des Leitfadens Schritt für Schritt – quasi als Musterlösung – vorführt und erläutert.

Aufgrund der redaktionellen Überarbeitung der einzelnen Kapitel der 2.Auflage war das Anwendungsbeispiel hinsichtlich der Querverweise, einzelner Modelle und der Anwendung des Sicherheitskonzeptes anzupassen. Die Nachweise zur Personensicherheit wurden dabei ergänzt.

Wesentliche Teile des Anwendungsbeispiels werden in dem Beitrag von Hohm und Albrecht [16] vorgestellt.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes hat sich seit seinem erstmaligen Erscheinen im Mai 2006 in der Praxis vielfach bewährt. Er beschreibt die nach dem Stand der Technik verfügbaren Methoden und Eingangsdaten für die Berechnung natürlicher Brandverläufe und Brandeinwirkungen und für Nachweise der Standsicherheit brandbeanspruchter Tragwerke und der Personensicherheit im Brandfall.

Die 2. Auflage Mai 2009 berücksichtigt neuere Erkenntnisse sowie Hinweise und Anregungen von Anwendern, ist anwenderfreundlich und enthält umfangreiche Anwendungsbeispiele. Wichtige Neuerungen sind konkretere Vorgaben für Bemessungsbrände, Ansätze zur Berücksichtigung anlagentechnischer und abwehrender Brandschutzmaßnahmen bei der Dimensionierung baulicher Brandschutzmaßnahmen und ein übergreifendes semi-probabilistisches Sicherheitskonzept. Auch die 2. Auflage ist frei im Internet verfügbar und kann von der Homepage der vfdb oder des iBMB heruntergeladen werden:

http://www.vfdb.de/download/Leitfaden_Ingenieurmethoden_Juni_2009.pdf

http://www.ibmb.tu-braunschweig.de/brandschutz/downloads/gate.php?name=Leitfaden2009.pdf

Ein besonderer Vorteil des elektronischen Fassung besteht in der konsequenten Verlinkung zwischen den einzelnen Kapiteln des Leitfadens, so dass der Anwender während der Bearbeitung von brandschutztechnischen Nachweisen von der Übersicht über die einzelnen Arbeitsschritte in Kapitel 1 und die Zusammenstellung der Grundlagen nach Kapitel 2, 3 und 4 zu den Nachweisen in den Kapiteln 5 bis 10 geführt wird.

Trotz der deutlichen Fortschritte gegenüber der 1. Auflage von 2006 kann jedoch auch die 2. Auflage des Leitfadens noch nicht allen Wünschen und Erwartungen der Praxis gerecht werden. Der Stand von Wissenschaft und Technik und die einsetzbare Rechentechnik werden sich auch künftig weiterentwickeln. Das vfdb-Referat 4 wird die internationale Entwicklung bei den Ingenieurmethoden eng verfolgen und neue Erkenntnisse zeitnah im Leitfaden berücksichtigen. Außerdem wird der Einfluss unterschiedlicher Modelle mit ihren jeweiligen Modellunsicherheiten und streuender Eingangsdaten anhand von weiteren Anwendungsbeispielen untersucht und diskutiert. Nach etwa 3 Jahren soll dann die 3. Auflage des Leitfadens veröffentlicht werden.

Alle Nutzer der 2. Auflage sind herzlich eingeladen, Kommentare zur Anwendbarkeit und Hinweise zu entdeckten Fehlern und offenen Fragen an die Adresse des Autors zu richten, vorzugsweise per E-Mail unter

d.hosser@tu-braunschweig.de

LITERATUR

[1] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04/01, 1. Auflage Mai 2006. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. und D. Hosser (Hrsg.), 2006.

[2] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. und D. Hosser (Hrsg.), 2009.

[3] 9. Internationales Brandschutz-Symposium „Ingenieurmethoden für die Brandsicherheit“, München, 25. Und 26. Mai 2001, Kurzreferate. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), Braunschweig 2001.

[4] 10. Internationales Brandschutz-Symposium „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, Hannover, 6. und 7. Juni 2005, Kurzreferate. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), Braunschweig 2005.

[5] Wiese, J.; Riese, O.: Brandszenarien und Bemessungsbrände für die numerische Brandsimulation. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[6] Siegfried, W.: Stand der Brandsimulationsmethoden. In: 58. Jahresfachtagung der vfdb, Mannheim, 24. bis 27. Mai 2009. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2009.

[7] Hosser, D.: Brandschutzbemessung nach den Eurocodes – Vorgaben für die Anwendung in Deutschland. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[8] Richter, E.: Brandschutztechnische Bemessung von Betonbauwerken nach Eurocode 2 Teil 1-2. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[9] Schaumann, P.; Bahr, O.: Brandschutzbemessung von Stahl- und Verbundtragwerken nach den Eurocodes 3 und 4. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[10] Dehne, M.; Klinzmann, C: Berücksichtigung anlagentechnischer und abwehrender Maßnahmen bei Brandschutznachweisen mit Ingenieurmethoden. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09,

Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[11] Hagen, H.: Personenrettung nach Vorschrift. In: 56. Jahresfachtagung der vfdb, Leipzig, 20. bis 23. Mai 2007. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2007.

[12] Hagen, H.: Personenrettung nach Vorschrift. In: 56. Jahresfachtagung der vfdb, Leipzig, 20. bis 23. Mai 2007. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2007.

[13] Schneider, V.: Sicherheitskriterien und Nachweisverfahren für die Personensicherheit. In: 56. Jahresfachtagung der vfdb, Leipzig, 20. bis 23. Mai 2007. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2007.

[14] Forell, B.: Niveau der Personensicherheit von Versammlungsstätten – Nachweis nach vfdb-Leitfaden. In: 56. Jahresfachtagung der vfdb, Leipzig, 20. bis 23. Mai 2007. Altenberge: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), 2007.

[15] Weilert, A.; Albrecht, C: Übergreifendes Sicherheitskonzept für Brandschutznachweise mit Ingenieurmethoden. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Heft 208, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[16] Hohm, V.; Albrecht, C: Beispiele zur Anwendung des Leitfadens bei der Erstellung von leistungsorientierten Brandschutznachweisen. In: Hosser, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Heft 208, 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

BRANDSZENARIEN UND BEMESSUNGSBRÄNDE FÜR DIE NUMERISCHE BRANDSIMULATION

Jürgen Wiese
Sachverständigenbüro Halfkann + Kirchner, Erkelenz
Olaf Riese
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EINLEITUNG

Dieser Beitrag befasst sich mit der systematischen Beschaffung von Eingangsdaten für numerische Brandsimulationen und erläutert die Hinweise, die der „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ [1] zu dieser Thematik liefert. Dabei wird insbesondere auf die Aspekte näher eingegangen, die im Abschnitt 4 des Leitfadens „Brandszenarien und Bemessungsbrände“ für dessen 2. Auflage Mai 2009 fortgeschrieben worden sind.

Es wird die Einbindung der Bemessungsbrand-Szenarien und der Bemessungsbrände in den ingenieurgemäßen Ablauf der Brandschutzplanung aufgezeigt und erläutert. Der enge Zusammenhang zwischen den festgelegten Schutzzielen und einer szenarienbezogenen Brandschutzplanung wird anhand von praxisnahen Beispielen verdeutlicht.

DAS „SYSTEM BRANDSCHUTZ“

Bedeutung von Bemessungsbränden

Das „System Brandschutz“ ist ein Sicherheitssystem, in dem den erkannten Gefahren/Gefährdungen entsprechend der für erforderlich erachteten Sicherheitsaspekte aufeinander abgestimmte Schutzmaßnahmen mit jeweils anerkannter Zuverlässigkeit entgegengestellt werden. Dabei wird der „Lastfall Brand“ als ein seltenes Ereignis betrachtet, über dessen Auftretenswahrscheinlichkeit, Ausprägung/Verlauf und Schadenerwartung Annahmen getroffen werden müssen. Ebenso müssen zu verhindernde Ereignisse bzw. Ereignisfolgen von akzeptierten Ereignissen bzw. Ereignisfolgen abgegrenzt werden (Restrisiko-Betrachtungen).

Die Beachtung dieser System-Eigenschaften ist eine Voraussetzung für die Anwendung von ingenieurgemäßen Brandschutzplanungen zur Erreichung insbesondere öffentlich-rechtlicher Sicherheitsvorgaben bzw. Sicherheitsniveaus. Gleiches gilt auch für andere konkrete Schutzinteressen, die in der Brandschutzplanung berücksichtigt werden sollen (z. B. Sachwertschutz-Interessen).

Bauordnungsrechtliche Kriterien

Das bauordnungsrechtliche „System Brandschutz“ basiert nach „starr festgelegten Regeln“ vorwiegend auf den Säulen

- pauschal festgelegter Schutzziel-Vorgaben,
- fest zugeordneter Brandschutzmaßnahmen mit vorgegebenen Leistungsmerkmalen - in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und der Gebäudenutzung als „Regelvorgaben“,
- und einem bestimmten Sicherheitskonzept, das dem „normativ festgelegten Lastfall Brand“ die geforderte Leistungsfähigkeit der konkret vorgegebenen Brandschutzmaßnahmen gegenüberstellt und bewertet.

Dieses System (s. Bild 1) funktioniert vorwiegend aufgrund rückblickender Brandanalysen unter besonderer Beachtung

- erkannter Brandgefahren und Brandgefährdungen,
- beobachteter Praxiserfahrungen mit der realen Wirkung vorgeschriebener Maßnahmen durch Bewertung der erkannten Brandfolgen und
- festgelegter Versagensmodelle für die Einzelmaßnahmen sowie akzeptierter Versagenswahrscheinlichkeiten des „Gesamtsystems Brandschutz“ im Einzelfall (akzeptierte Restrisiken).

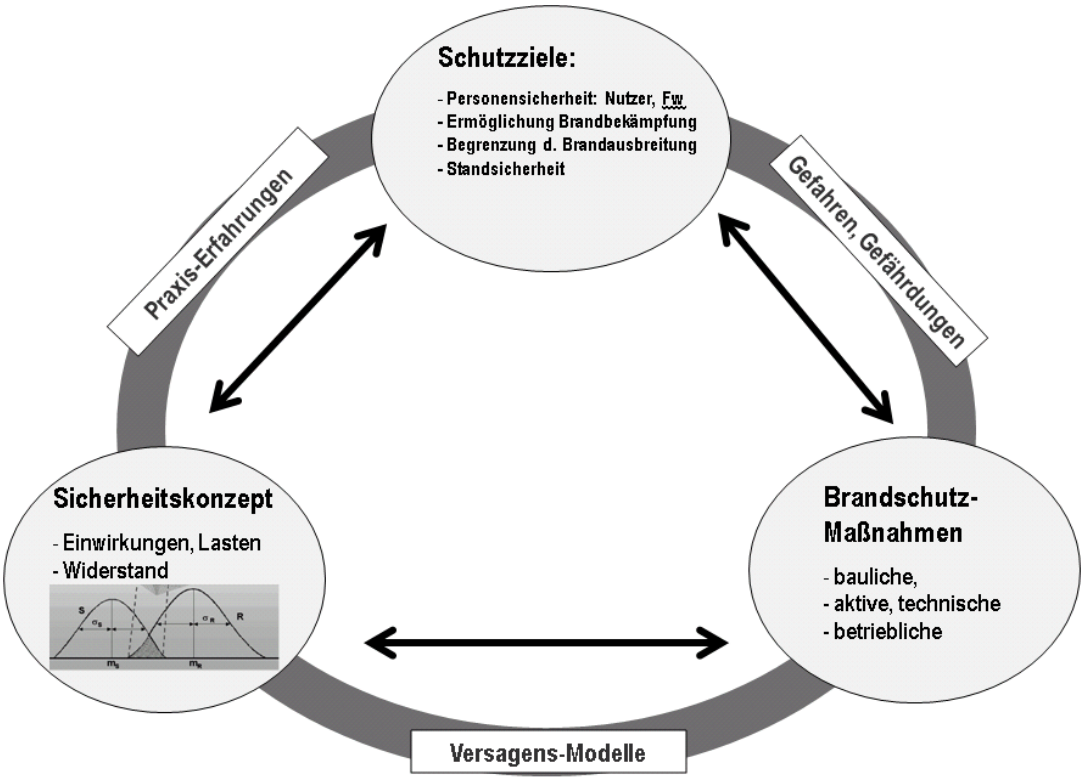


Bild 1 System Brandschutz: mit starren Regeln

Da dieses bauordnungsrechtliche System für den Brandschutz die Brandrisiken lediglich sehr grob unterscheiden und klassifizieren kann, müssen auch die zugeordneten erforderlichen Brandschutzmaßnahmen diesen „Risikoklassen“ entsprechend grob und „auf der sicheren Seite liegend“ in einem entsprechenden Klassensystem vorgegeben werden.

Diese Zuordnung von Brandschutzmaßnahmen zu den jeweiligen Brandrisiko-Klassen kann auf viele Teilaspekte von realen Einzelfällen nicht realitätsnah eingehen und wird daher als „starr“ und teilweise als überdimensioniert empfunden und bezeichnet. Es muss sich zwangsläufig an den größeren Risiken einer Risikogruppe orientieren und stellt daher für viele Praxisfälle tatsächlich eine brandschutztechnische Überdimensionierung dar, die ggf. im Einzelfall ohne Unterschreitung des erforderlichen Sicherheitsniveaus auch reduziert werden kann.

Andererseits mögen einzelne Praxisfälle bei dieser pauschalen Risikobewertung und Maßnahmenvorgabe unzureichend Berücksichtigung gefunden haben mit der Folge, dass hierfür ggf. die vorhandenen Restrisiken real höher sind als allgemein angenommen und dass somit bislang unvermutete Sicherheitslücken bestehen.

Methoden des Brandschutz-Ingenieurwesens

Ergänzt man das bauordnungsrechtliche, starre Brandschutz-System durch die Anwendung von Ingenieurmethoden für die Brandschutz-Planung (s. Bild 2), so werden

- zum Einen die zu erreichenden Schutzziele durch objektbezogene, funktionale Anforderungen ergänzt bzw. ersetzt (es wird quasi vorgegeben, wohin man möchte und nicht mehr der exakte Weg zu diesem Ziel), und
- zum Anderen der „Lastfall Brand“ den Gegebenheiten des speziellen Einzelfalles mit seinen spezifischen Rahmenbedingungen objekt- und schutzzielspezifisch angepasst.

Auf den Vorgaben von Bemessungsbrand-Szenarien und von Personenschutz-Szenarien (s. Bild 3) kann dann mittels rechnergestützter Simulationen

- zunächst das Brandgeschehen modelliert (nachgebildet) und die Ausbreitung von Brandprodukten rechnerisch prognostiziert werden
- sowie die Charakteristik von Personenströmen zur Bewertung von Räumungsszenarien näherungsweise beschrieben werden.

Der vfdb-Leitfaden [1] geht auf die Personenschutz-Aspekte im Kapitel 9 ein. Ferner lässt sich beispielsweise aus den Brandeinwirkungen auf Bauteile deren Trag- und Verformungsverhalten rechnerisch bestimmen und es lassen sich Aussagen zur Standsicherheit von Bauteilen und Konstruktionen treffen.

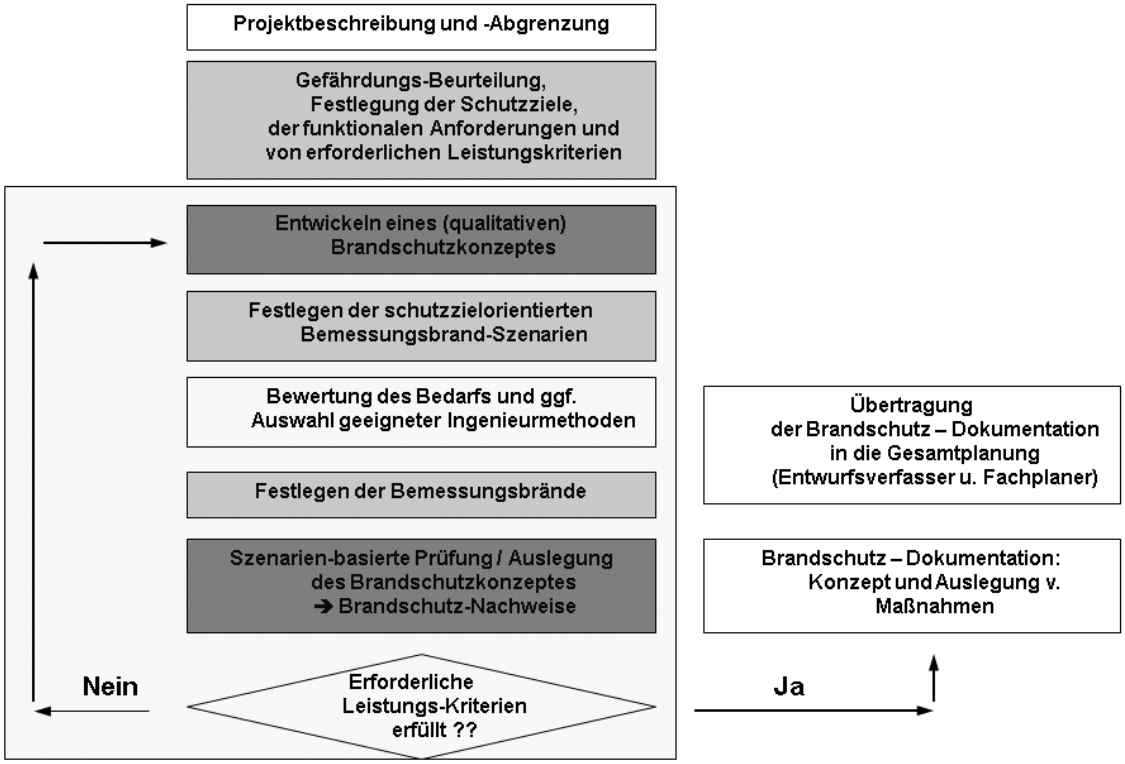


Bild 2 Brandschutzplanung mit Methoden des Brandschutz-Ingenieurwesens

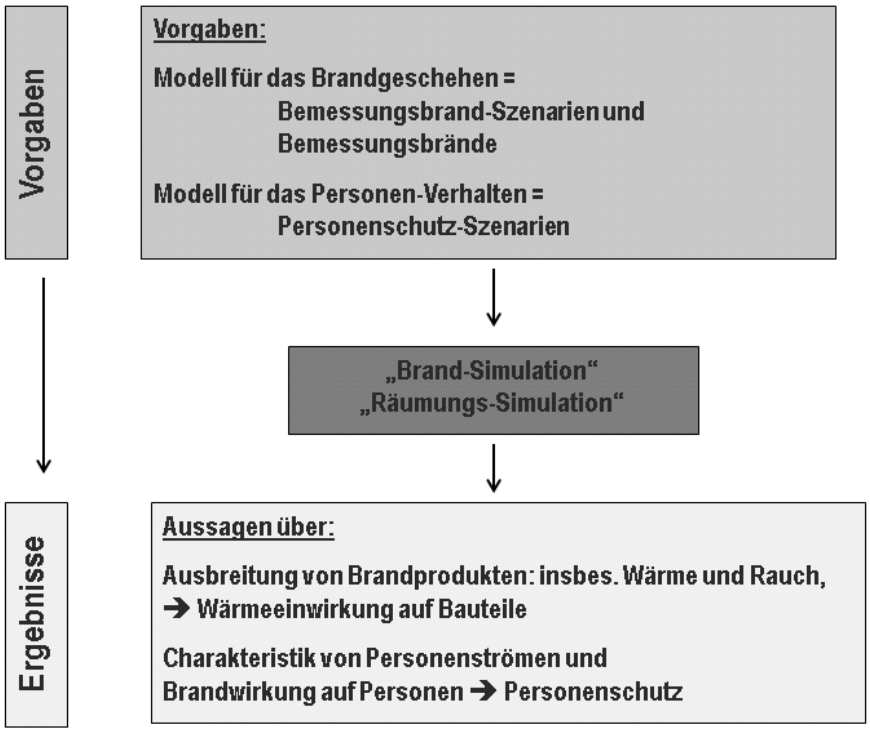


Bild 3 Simulationen des Brandschutz-Ingenieurwesens: Abhängigkeit der Aussagen von der Qualität der Vorgaben

Das „ingenieurgemäße System Brandschutz“, das auf objektbezogenen Modellen für das Brandgeschehen und für das Personenverhalten aufbaut, stellt eine Erweiterung der traditionellen Betrachtungsweise dar; es fügt sich seiner Zweckbestimmung entsprechend allerdings in deren grundsätzlich zutreffende Zusammenführung von Sicherheitsaspekten, Schutzzielbetrachtungen und Anforderungen an Maßnahmen harmonisch ein. Dieses System kann in so fern als Ergänzung der traditionellen Vorgehensweise verwendet werden; es kann aber - als Ausblick - auch bei entsprechender Ausgestaltung in Form eines „performance based codes“ als Ersatz für die bekannten Regelvorschriften verwendet werden.

Die Festlegung der Rechenannahmen sowohl hinsichtlich des zeitlichen Eintritts bzw. Ablaufs von Schlüsselereignissen im Brandfall als auch im Hinblick auf die zu erwartenden Größenordnungen der Brandereignisse bestimmt letztlich jede berechnete Vorhersage bezüglich des zu erwartenden Brandgeschehens, der damit verbundenen Brandfolgen und somit der materiellen Auslegung des Brandschutzes zur Erreichung der Schutzziele. Die verantwortliche Auseinandersetzung mit den Vorgaben für die Brandsimulationen in Form von Bemessungsbrand-Szenarien und Bemessungsbränden stellt einen ganz wesentlichen Kern des „ingenieurmäßigen Systems-Brandschutz“ dar (s. Bild 4).

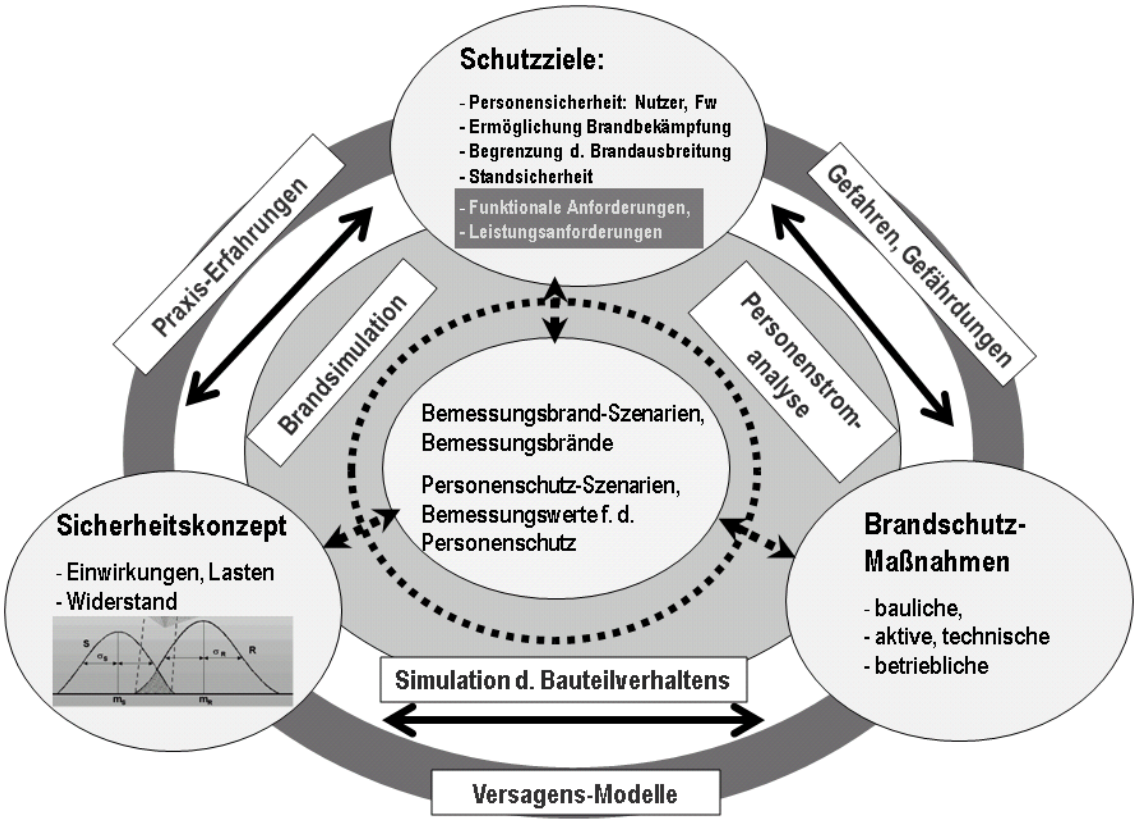


Bild 4 System Brandschutz:
mit starren Regeln und mit ingenieurgemäßen Ansätzen

FESTLEGUNG VON VORGABEN FÜR BRANDSIMULATIONEN

Vorarbeiten verfolgen unter anderem das Ziel, für das jeweilige Gebäude und die anzunehmenden Nutzungsverhältnisse zunächst im Rahmen einer vorläufigen Risikoanalyse mögliche Brandereignisse (fire scenarios, Brandszenarien) zu finden und zu beschreiben.

Im Rahmen dieser „Gefährdungs-Beurteilung“ (siehe vfdb-Leitfaden Kap. 1.3 und Kap. 2) müssen Informationen über die Beschaffenheit des Gebäudes einschließlich seiner haustechnischen und brandschutztechnischen Einrichtungen gesammelt werden. Der Brand und seine Entwicklung (Zündung, Ausbreitung) werden hierfür unter Berücksichtigung entscheidender Brandlasten (Art und Menge brennbarer Stoffe; Lagerungsart), anzunehmender Ventilationsverhältnisse und äußerer Einwirkungen (Löschmaßnahmen) zunächst ebenfalls näherungsweise umrissen und die zugehörigen Annahmen festgelegt (verbal beschrieben).

Die Beachtung der Wechselwirkungen zwischen den Brandrisiken, den Brandszenarien und den Schutzzielen erfordert zunächst vorläufige Risikoanalysen, deren Ergebnisse beispielsweise in Form einer „Risikomatrix“ für alle betrachteten Ereignisse dargestellt werden können (s. Bild 5).

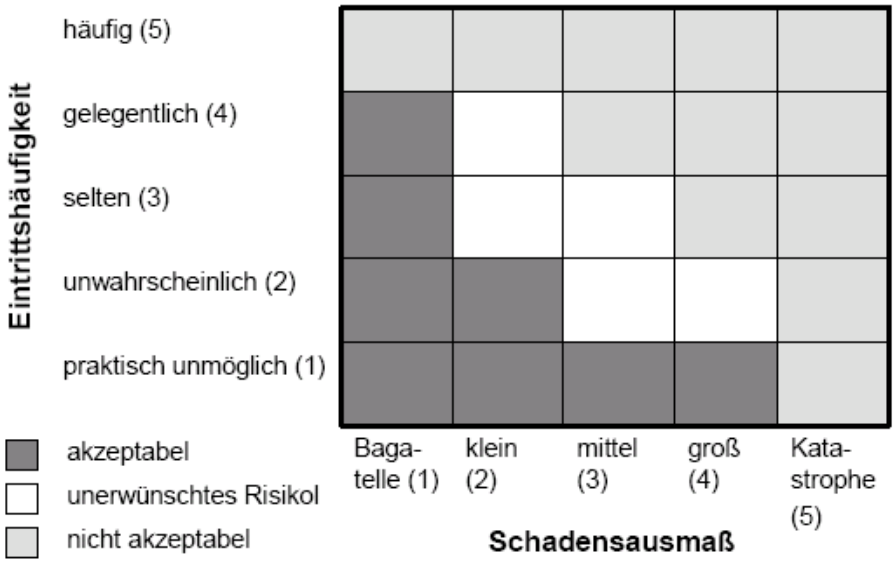


Bild 5 Darstellung der Risikobewertung eines Brandereignisses (vfdb-Leitfaden Kap. 3.2 (Brandszenarios)) in einer Risikomatrix

Ereignisse mit „nicht akzeptablen Schadenerwartungen“ müssen grundsätzlich verhindert werden. Sofern allerdings „Katastrophen-Schäden“ nur bei praktisch nicht zu erwartenden Randbedingungen („praktisch unmöglich“) auftreten könnten, kann man im Rahmen des Sicherheitskonzepts für den Hochbau derartige Ereignisse als akzeptiertes Restrisiko bei den weiteren Betrachtungen

außer Acht lassen. Man kann sich dann auf die „unwahrscheinlichen“ beschränken, d. h. Brandszenarien mit hoher Schadenerwartung, deren Auftretenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung üblicher Verhältnisse nicht vernachlässigbar gering ist.

Sofern die ingenieurgemäße Vorgehensweise auf spezielle Schutzinteressen und Sicherheitskonzepte angewendet wird, können allerdings gerade diese „unwahrscheinlichen“ worst-case-Fälle im Mittelpunkt des Interesses stehen und dürfen nicht vernachlässigt werden (wie Aspekte des Sachwertschutzes, des Umweltschutzes).

Mit den Rechenannahmen müssen alle wahrscheinlichen Brände abgedeckt werden; dies bedeutet für die Anwendungspraxis eine Berücksichtigung von etwa 90 % bis 95 % aller während der erwarteten Lebensdauer des Objektes möglichen Brandszenarien und Brandverläufe.

Die nachfolgende Darstellung verdeutlicht am Beispiel einer Gauß-Normalverteilung die Bedeutung der „90%-Fraktile“ für die Auftretenswahrscheinlichkeit der zu berücksichtigenden Brandereignisse: Eine Auslegung des Brandschutzes auf der Basis von Mittelwerten (oder auch von Häufigkeiten unter Berücksichtigung der Standardabweichung) ist in der Regel für das Erreichen der erforderlichen Brandsicherheit nicht ausreichend und nicht zulässig:

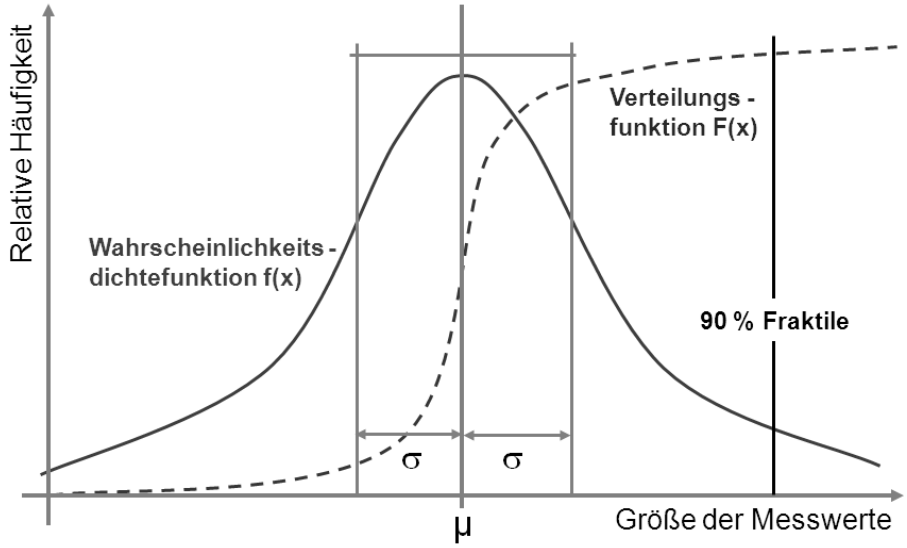


Bild 6 Wahrscheinlichkeitsdichte f(x)- und Verteilungsfunktion F(x) einer Normalverteilung, Darstellung der 90 % Fraktile, μ Mittelwert (Erwartungswert), σ Standardabweichung

Für die Auslegung des Brandschutzes mit den Methoden des Brandschutz-Ingenieurwesens müssen seltene (aber mögliche) Bemessungsbrand-Szenarien mit kleinen Auftretenswahrscheinlichkeiten und mit kritischen Brandfolgen gewählt werden.

BEMESSUNGSBRAND-SZENARIEN

Bemessungsbrand-Szenarien beschreiben real mögliche oder konstruierte Brandverläufe mit fixierten Schlüsselereignissen, die eine Gruppe von als kritisch erkannten, real möglichen und hinreichend wahrscheinlichen Brandereignissen (Brandszenarien, siehe oben) in sich vereinigen. Dies betrifft insbesondere den Brandort innerhalb des Gebäudes und die Begleitumstände im näheren Umfeld des Brandherdes (Zündinitial, Brandentwicklung).

In der Regel ist im Rahmen einer ingenieurgemäßen Brandschutzplanung die Analyse mehrerer dieser Bemessungsbrand-Szenarien in Form von rechnergestützten Parameterstudien erforderlich. Dazu müssen diese Bemessungsbrand-Szenarien allerdings zuvor in konkret bezifferte Bemessungsbrände übertragen werden.

Grundsätze zur Identifizierung der maßgeblichen Bemessungsbrand-Szenarien

Aus der Vielzahl möglicher Brandszenarien müssen (zur Verringerung der Zahl zu bewertender Einzelfälle) Bemessungsbrand-Szenarien entwickelt werden, die für die weiteren Betrachtungen die maßgebende Zusammenfassung der erkannten Möglichkeiten für „kritische Brandentwicklungen“ unter Beachtung der Auftretenswahrscheinlichkeit und der Schadenerwartung darstellen.

Ziele und Aufgaben von Bemessungsbrand-Szenarien sind

- einerseits „auf der sicheren Seite liegende Aussagen“ (➔sicheres Gebäude), die
- andererseits im Rahmen einer wirtschaftlich optimierbaren Brandschutzplanung genutzt werden können (➔Kostenminderung für die erforderlichen Maßnahmen).

Ferner sollen sie

- den rechentechnischen Aufwand zur realitätsnahen Beurteilung der Gesamtsituation reduzieren (➔Begrenzung des Analyseaufwandes).

Zur Identifizierung der maßgeblichen Bemessungsbrand-Szenarien aus der Vielzahl der denkbaren Brandszenarien sollen im Folgenden Hilfestellungen gegeben werden.

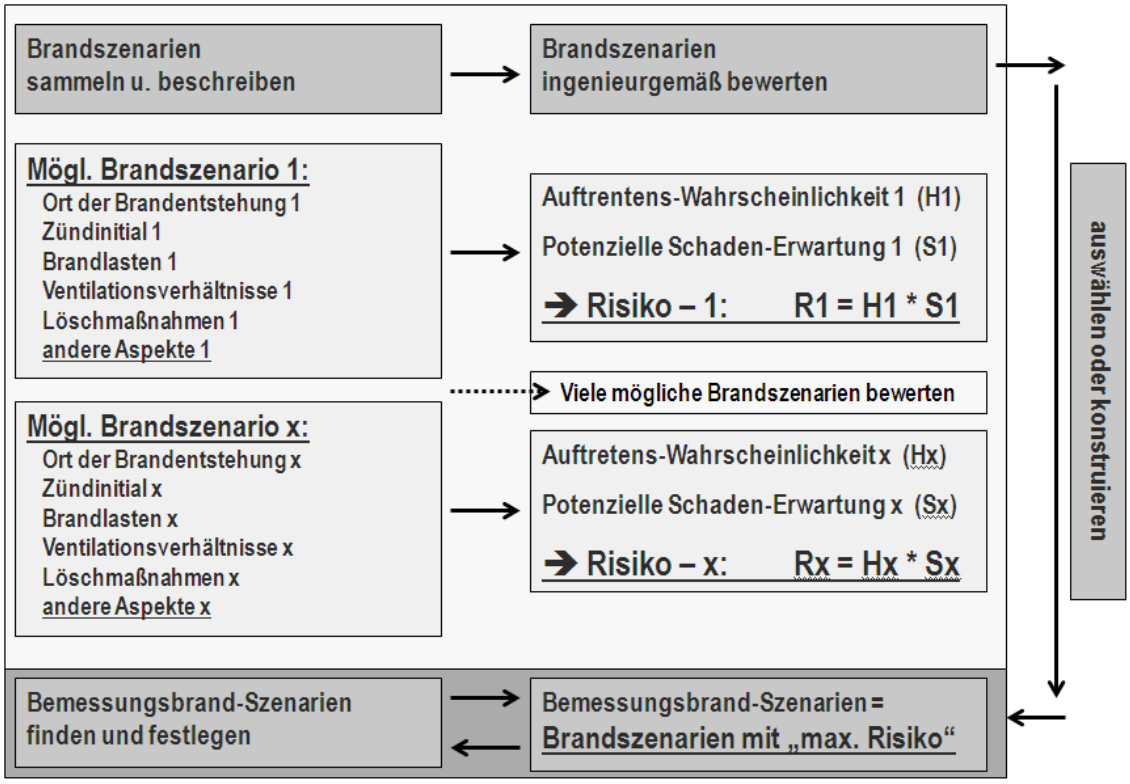


Bild 7 Systematik zur Festlegung von Bemessungsbrand-Szenarien

Identifizierung der maßgeblichen Bemessungsbrand-Szenarien

Aufgrund unterschiedlicher Schutzziele und erwarteter Schadensausmaße sind in der Regel unterschiedliche Bemessungsbrand-Szenarien maßgeblich.

a) Identifizierung anhand schutzzielentsprechender Brandphasen

Für die erste Orientierung kann folgende Zuordnung der Schutzziele zu den Brandphasen verwendet werden:

- Personenschutz-Aspekte der Nutzer:

  Die Phase der Vorbrennzeit wird vernachlässigt und ist Bestandteil der Sicherheitskonzeption / zusätzliche Sicherheitsreserve, die nicht durch Brandsimulationen über der Zeit quantifiziert wird.

  Die Phase der frühen Brandentwicklung und -ausbreitung betrifft vorwiegend die Nutzer, die Phase nach einer fortgeschrittenen Brandausbreitung die Einsatzkräfte der Feuerwehr im Zuge von Löschmaßnahmen.

- Fremdrettung:

  In wie weit eine planmäßige Fremdrettung von Nutzern eines Gebäudes Grundlage der Brandschutzplanung ist und welche Gegebenheiten dabei zu beachten sind wird, im Brandschutzkonzept unter Beachtung objektspezifi-

scher Kriterien festgelegt. Hierauf ist unmittelbar Bezug zu nehmen; eine pauschale Vorgabe von Brandphasen ist im vfdb Leitfaden nicht vorgesehen.

- Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten durch die Feuerwehr:

  Grundsätzlich gehen Brandschutzkonzepte bei der Bewertung der Wirksamkeit von manuellen Löschmaßnahmen vom Innenangriff der Feuerwehr während der Phase der Brandausbreitung aus.

- Standsicherheit und Raumabschluss im Brandfall:

  Fort- und vollentwickelte Brände, die im Allgemeinen bei „kleinen“ Räumen als Vollbrände in ganzen Raum und bei „übergroßen Räumen“ als lokal begrenzte Brände mit zeitlich veränderlicher Brandfläche in Erscheinung treten. Das lokale Brandgeschehen „frisst sich“ durch den gesamten Gebäudeabschnitt.

- Sachwertschutz:

  Die Konkretisierung der Schutzziele hängt stark vom Einzelfall ab; hierfür können keine allgemeingültigen Hinweise angegeben werden.

b) Identifizierung anhand der Abschätzung des zu erwartenden Schadens

- Die zu erwartenden Brandfolgen/Schadenbilder aller Brandszenarien werden beschrieben und bewertet. Dabei wird der Ausfall qualifizierter Brandschutzmaßnahmen in der Regel nicht berücksichtigt.

- Gesamtbewertung durch eine Risikobestimmung und Auswahl der Bemessungsbrand-Szenarien mit den größten Risiken.

  Kriterium für die Auswahl ist das erwartete Schadenausmaß über die Lebensdauer des Gebäudes. Dabei werden – gedanklich – die Auftretenswahrscheinlichkeiten der Ereignisse mit den erwarteten Schadenhöhen multipliziert. Dies geschieht in der Regel auf der Grundlage von verfügbarem Expertenwissen/Einschätzungen („engineering judgement“ und „expert judgement“).

Brandübertragungen auf andere Objekte (z. B.: Gebäude der Nachbarschaft) und die Brandausbreitung auf andere Gebäudeabschnitte durch Verlust des Raumabschlusses (andere Geschosse, andere brandschutztechnisch abgetrennte Bereiche - wie Brandabschnitte) sind zu berücksichtigen.

In internationalen Regelwerken zum Brandschutzingenieurwesen wird das Bemessungsbrand-Szenarium insbesondere aus der Bewertung des Ausfalls vorgesehener oder vorhandener Brandschutzmaßnahmen abgeleitet. Die entsprechenden deutschen Gremien berücksichtigen den Ausfall von Sicherheitsmaßnahmen grundsätzlich im Sicherheitskonzept bei der Ermittlung von Teilsicherheitsbeiwerten.

Elemente von Bemessungsbrand-Szenarien

Folgende Einflussfaktoren auf das Brandgeschehen sind bei der Beschreibung des bzw. der maßgeblichen Bemessungsbrand-Szenarien mindestens zu berücksichtigen:

a) Unveränderliche Parameter aus dem Objekt

- Brandraumgeometrie,

b) Variable Parameter

- Art (Brandlast, brennbare Stoffe), Größe und Lage des Brandherds (der Brandquelle),
- Zündquellen/Zündinitiale sowie Art und Lagerung der zuerst in Brand geratenen Stoffe / Gegenstände für die Betrachtung „lokaler Brandszenarien“,
- Art des Brandes (Brandentstehungsphase, Brandausbreitungsphase, lokal begrenzter voll entwickelter Brand, Vollbrand im Brandraum),
- Ventilations- und Öffnungsbedingungen,
- Auslösebedingungen aktiver (anlagentechnischer) Maßnahmen und deren Einfluss auf das Ereignis.

c) Sonderfälle (zu betrachten nur im Ausnahmefall)

- besondere Ereignisse / seltene und außergewöhnliche Ereignisse (beispielhaft: Brandstiftung mit mehreren Brandentstehungsorten und Brandbeschleuniger),
- Szenarien, bei denen vorgesehene Brandschutzmaßnahmen nicht oder nicht bestimmungsgemäß funktionieren.

d) Äußere Einflüsse

- Brandeinwirkungen von außen (Brände anderer Objekte, Dach- und Fassadenbrände),
- Windeinflüsse.

Hinweise zur systematischen Beschreibung von Bemessungsbrand-Szenarien

In der Regel sind für jedes Brandszenarium folgende Aspekte zu beschreiben:

a) Lage des Brandherdes

- Der Raum oder die Stelle in einem Raum wird angegeben, wo ein Brand ausbrechen kann, der große bzw. gefährliche Auswirkungen haben kann.
- In der Regel sind in einem Raum mehrere Brandentstehungsorte möglich und gleich wahrscheinlich; dann wird einer davon festgelegt, der abdeckend

für die anderen Brandorte ist. Ist das nicht möglich, müssen gegebenenfalls mehrere Brandentstehungsorte angenommen werden.

b) Brandlast und Brandentstehung

- Die in den Brand mit hoher Wahrscheinlichkeit involvierte Brandlast wird beschrieben (Art, Lage und Lagerung, Menge, Brandausbreitungsgefahr).
- Die Brandentstehung (Anfangs-Wärmefreisetzung zu Beginn der Brandausbreitungs-Phase) und ggf. die zuerst in Brand gesetzten Gegenstände werden festgelegt.
- Aus den Angaben ergibt sich für den Bemessungsbrand insbesondere die Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

c) Ventilationsbedingungen des Brandraumes

- Öffnungen des Brandraumes (wie Fenster, Türen, RWA, etc.) werden im Hinblick auf ihre Öffnungsflächen bzw. auf ihre Leistungskriterien (Volumenstrom), ihre Anordnung im Gebäude und einschließlich ihrer Öffnungsbedingungen beschrieben.

d) Art des Brandes

- Es wird die primär relevante Brandphase benannt und festgelegt, ob es sich um einen brandlastgesteuerten Brand (ausreichend Verbrennungsluft vorhanden) oder um einen ventilationsgesteuerten Brand handelt.

e) Einfluss der Anlagentechnik auf den Brandverlauf und das Brandszenarium

- Bei Berücksichtigung anlagentechnischer Maßnahmen (z. B. automatische Feuerlöschanlagen wie Sprinklerung) ist eine Begrenzung der „ungestörten“ Brandausbreitung möglich. Dazu werden Kriterien für die Aktivierung dieser Anlagetechnik festgelegt und deren Auswirkungen auf das Brandereignis beschrieben.

  Es wird grundsätzlich von der auslegungsgemäßen Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen ausgegangen.
- Eine direkte Berücksichtigung der anlagentechnischen Maßnahmen bei der Festlegung von Bemessungsbrand-Szenarien über die bewirkte Begrenzung des Brandverlaufes kommt jedoch nur in Ausnahmefällen in Betracht (unter Berücksichtigung der Schutzzielkonkretisierung, abhängig von den Konsequenzen eines Ausfalls).

f) Feuerwehrangriff

- Die Berücksichtigung der Brandbekämpfungsmaßnahmen der Feuerwehr (Wirksamkeit der Brandbekämpfung) auf den Brandverlauf und das Eingreifen der Feuerwehr in das Bemessungsbrand-Szenario ist mit der zuständigen Brandschutzdienststelle in jedem Einzelfall abzustimmen.

- In der Regel lässt sich der Feuerwehreinsatz nicht in einem Zeitregime konkret festlegen, da sich die Entscheidungen der Einsatzleitung nach der tatsächlich örtlich vorgefundenen Lage und den tatsächlich verfügbaren Einsatzkräften und Einsatzmitteln richten müssen. Häufig können allerdings Planungsgrundsätze für den Feuerwehreinsatz für eine ingenieurgemäße Bewertung und Einbindung der Feuerwehr in Brandsimulationen verwendet werden.

g) Äußere Einflüsse

- Ob und ggf. in wie weit die Berücksichtigung von Windeinflüssen für die jeweiligen Untersuchungen wichtig sind, wird im Einzelfall entschieden und dargestellt.

Berücksichtigung aktiver Brandschutzmaßnahmen

Die Bemessungsbrand-Szenarien ergeben sich in der Regel unter Berücksichtigung der planmäßigen physikalischen Wirkung der vorgesehenen bzw. vorhandenen aktiven und passiven Brandschutzmaßnahmen, soweit die jeweiligen Schutzziele dies zulassen. Der Ausfall dieser Maßnahmen ist Bestandteil der Bewertung von Restrisiken und mündet in die Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten im Sicherheitskonzept (siehe auch: vfdb-Leitfaden, Kap. 7 und 10).

Als „Sonderfall“ können Szenarien deterministisch analysiert werden, bei denen einzelne oder mehrere der vorgesehenen Brandschutzmaßnahmen ausfallen und nicht bestimmungsgemäß funktionieren. Diese Fälle werden in der Regel nicht für die Begründung von Brandschutzkonzepten betrachtet sondern zur Abschätzung von Brandfolgen außergewöhnlicher Szenarien im Rahmen der Risikobetrachtung („Dennoch-Fall“).

Beispiele für die Berücksichtigung von Löschanlagen

Löschanlagen (insbesondere Sprinkleranlagen mit anerkannt hoher Zuverlässigkeit und Wirksamkeit) werden bei der Festlegung von Bemessungsbrand-Szenarien vielfach berücksichtigt. Dass dies allerdings abhängig vom Schutzziel nicht in allen Fällen angemessen ist, wird nachfolgend beschrieben.

1. Bemessung von Rauchabzugsanlagen zur Unterstützung der Brandbekämpfung:

Funktionale Anforderung zur Konkretisierung des Schutzziels „wirksame Rauchableitung im Brandfall“ und deren Bewertung:

- Die Feuerwehreinsatzkräfte sollen nach dem Eintreffen an der Einsatzstelle (also am Zugang zum Brandobjekt) Sichtbedingungen vorfinden, die ihnen eine Orientierung im Gebäude und das Auffinden der Brandstelle ermöglichen.

- Wenn wegen des Ausfalls angesetzter Feuerlöschanlagen ein wirksamer Innenangriff nicht mehr möglich ist, dann breitet sich der Brand innerhalb des Brandabschnittes weiter aus und es kommt zum Maximalschaden (d. h. die akzeptierte Brandabschnittsgröße).

Anrechenbarkeit der Feuerlöschanlage:

- Ja, denn die Konsequenzen aus deren Ausfall sind akzeptabel.

2. Bemessung der Standsicherheit von Konstruktionsbauteilen mehrgeschossiger Gebäude:

Funktionale Anforderung zur Konkretisierung des Schutzziels „Standsicherheit im Brandfall“ und deren Bewertung:

- Das Gebäude bzw. größere Teile davon und sein Haupttragwerk dürfen im Brandfall nicht einstürzen und dadurch Personen (auch die Einsatzkräfte der Feuerwehr) oder die Nachbarschaft gefährden.
- Wenn wegen des Ausfalls angesetzter Feuerlöschanlagen das Gebäude im Brandfall einstürzt, weil dann ggf. die Feuerwehreinsatzkräfte das Brandgeschehen nicht mehr rechtzeitig kontrollieren und begrenzen konnten, und in der Folge Personen und die Nachbarschaft gefährdet werden, ist dies nicht hinnehmbar: Das Gebäude muss in seinem Haupttragwerk jedem denkbaren Brandgeschehen ausreichend Widerstand leisten können ohne zu versagen; das gilt insbesondere auch für den Fall, dass vorhandene Löschanlagen ausfallen.

Anrechenbarkeit der Feuerlöschanlage:

- Nein, denn die Konsequenzen aus deren Ausfall sind nicht akzeptabel.

BEMESSUNGSBRÄNDE

Neben der qualitativen Beschreibung der Brandszenarien und der Brandentstehungsorte ist eine quantitative Vorgabe der Brandentwicklung als Eingangsgröße für Brandsimulationen erforderlich. Sie beschreibt die wesentlichen Brandparameter in ihrer zeitlichen Entwicklung.

Bemessungsbrände können nicht alle möglichen Brandereignisse auf der „sicheren Seite“ mit abdecken (insbesondere die „praktisch unmöglichen“); sie müssen allerdings die seltenen, aber noch hinreichend wahrscheinlichen Brandgefahren in ihrer Gesamtheit erfassen. Im Rahmen der Erarbeitung von Brandschutzkonzepten wird von der Annahme ausgegangen, dass der Brand nur an einer Stelle im Gebäude beginnt. Eine gleichzeitige Brandentstehung an mehreren Stellen im Objekt - wie sie bei Brandstiftung möglich ist - wird nach öffentlich-rechtlichen Sicherheitskriterien nicht berücksichtigt. Für die Beurteilung von Sicherheitsaspekten und Schutzzielen des Objektschutzes und des Sachwertschutzes können solche Brandszenarien allerdings maßgeblich sein.

Bemessungsbrände sind idealisierte, mathematische Konkretisierungen von Bemessungsbrand-Szenarien in Bezug auf die zeitliche Entwicklung von primären Brandwirkungen (meist der Wärmefreisetzungsrate).

Der Brandverlauf und Grundsätze seiner Modellierung

Die verschiedenen Brandentwicklungsstadien eines „natürlich“ verlaufenden Brandes (ohne äußere Einwirkungen durch Löschmaßnahmen) sind in Bild 8 dargestellt.

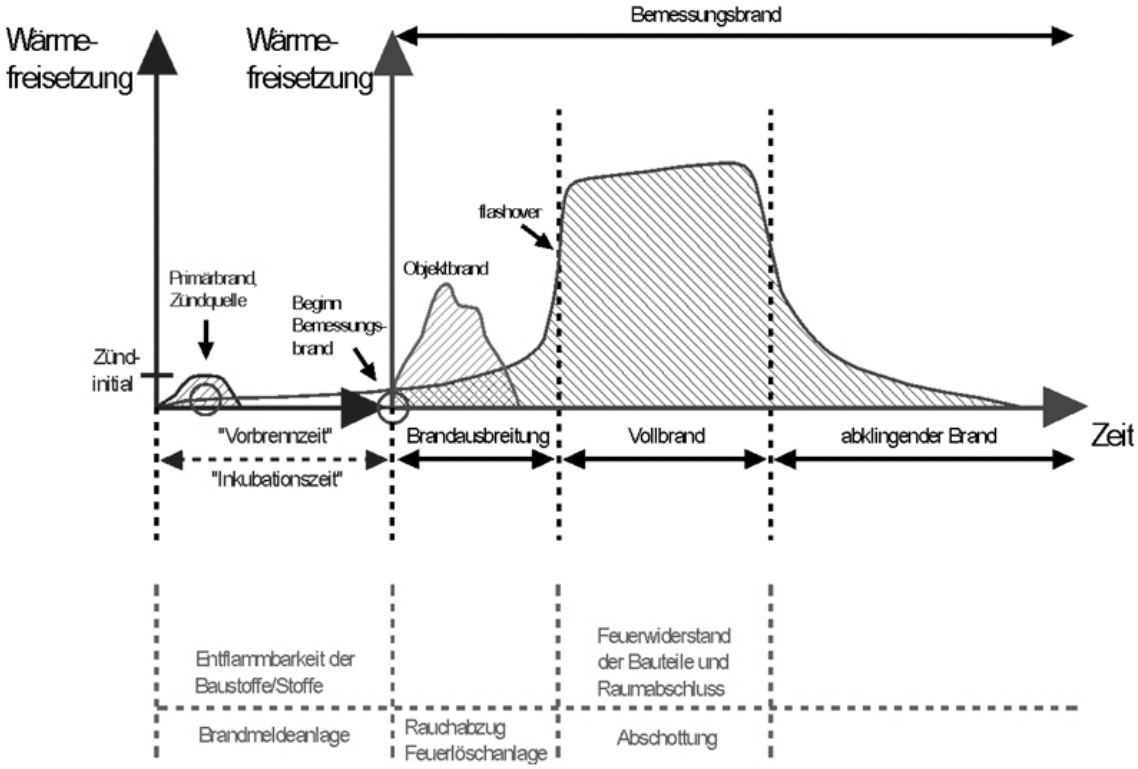


Bild 8 Brandentwicklungsphasen beim "natürlichen Brand"

Der Bemessungsbrand stellt die zeitabhängige Freisetzungsrate von Wärme, chemischen Produkten und sichttrübenden Partikeln dar. Die zeitlichen Verläufe für die Entstehungsraten von Wärme- und Rauchprodukten werden auch als „Quellterm“ bezeichnet.

Bevor sich das Brandgeschehen zu einem offenen Flammenbrand entwickelt und sich aus eigener Kraft weiter ausbreitet, steht der Brand unter dem Einfluss des Zündinitials und des Brandverhaltens der unmittelbar involvierten Brennstoffe. Diese Brandphase (die „Vorbrennzeit“ oder „Inkubationsphase“) lässt sich in der Regel bei den üblichen hochbaulichen Nutzungsverhältnissen nicht konkret angeben; sie wird daher zugunsten der Sicherheit (als „zeitliche Sicherheitsreserve“) vernachlässigt:

Der rechnerische Brandbeginn wird im Allgemeinen mit der Entstehung eines sich weiter ausbreitenden Flammenbrandes gleichgesetzt. Damit werden die in der Brandschutzplanung nutzbaren Zeitspannen zwischen einer zuverlässigen Branderkennung schon während der Vorbrennzeit bis zum offenen Flammenbrand rechnerisch quasi verschenkt. Brandschutzkonzepte erwarten in dieser Zeitspanne häufig allerdings erste betriebliche Reaktionen auf eine Brandfrüherkennung, so dass die rechnerische Bewertung der Brandfolgen unter diesem Aspekt grundsätzlich „auf der sicheren Seite“ liegt.

Bei der Aufstellung/Ableitung des Bemessungsbrandes müssen die Phänomene und Entwicklungen des Brandes vorausschauend konkret angegeben werden. Einfluss auf den Brandverlauf nehmen:

- die Art der Zündung (Zündinitial, zuerst in Brand geratenes Material),
- brennbare Stoffe, deren Art und Verteilung sowie deren spezifische Oberflächen, über die eine thermische Stoffaufbereitung (Pyrolyse) erfolgen kann,
- charakteristische Stoffdaten zu Abbrandverhalten, Rauchpotentialen, Packdichte, Nutzung,
- Masse der Brandlast,
- mögliche Brandfläche (-ausdehnung) im Raum der Brandentstehung,
- Raumgeometrie einschließlich Öffnungen,
- Größe und Lage von Ventilationsöffnungen mit deren Öffnungsbedingungen, eventuell zeitlich abgestuft,
- Flashover-Bedingungen,
- wärmespezifische Parameter der Bauteile,
- Wärmeverluste außerhalb des Raumes (Flammen vor den Öffnungen),
- insgesamt freisetzbare Wärmefreisetzungsrate innerhalb des Brandraumes.

In der Regel wird die Brandentwicklung über die Wärmefreisetzungsrate bzw. die Brandausbreitungsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der vorgenannten Aspekte als Bemessungsbrand vorgegeben. Für die rechnerische Ermittlung von Brandprodukten werden als „Stoffwerte“ beispielsweise Komponenten von Rauchpotenzialen angegeben. Der Bemessungsbrand beschreibt normalerweise eine „ungestörte“ Brandentwicklung, also insbesondere den Brandverlauf bei ausreichender Sauerstoffzufuhr (brandlastgesteuerte Verbrennung) und zunächst auch ohne Einwirkung von Löschmaßnahmen.

Bei angenommener Konstanz des unteren Heizwertes über der gesamten Branddauer wird näherungsweise die Massenverlustrate (Abbrandrate) proportional zur Wärmefreisetzungsrate angesetzt. Da auch - für über die Branddauer konstant angenommene „Yield“-Anteile - die Freisetzungsraten der gebildeten chemischen und sichttrübenden Produkte proportional mit dem Masseverlust der Brandlast angenommen werden, ist zur Festlegung eines Bemessungs-

brandes die zeitliche Entwicklung der Wärmefreisetzungsrate zusammen mit der stofflichen Charakterisierung der Brandgüter näherungsweise ausreichend. Verbrennungsmodelle, die Verbrennungsvorgänge realitätsnah beschreiben und berücksichtigen können, sind zurzeit noch in der Entwicklung und stehen der Allgemeinheit noch nicht ausreichend zur Verfügung (s. auch Kap. 5 des vfdb-Leitfadens).

Damit kann die Wärmefreisetzungsrate („heat release rate -HRR-") als zentrale Informationsquelle herangezogen werden. Von der Wärmefreisetzungsrate lässt sich dann im Regelfall die Entstehungsrate weiterer Brandprodukte inklusive der Rauchpartikel ableiten.

Je nachdem, welche Informationen zum konkreten, nutzungsbezogenen Beurteilungsszenario vorliegen, werden für den Bemessungsbrand entweder spezielle objektspezifische Parameter oder vereinfachte Naturbrandmodelle nach sogenannten „Design-fire-Ansätzen" oder auch für bestimmte brandschutztechnische Auslegungen normativ festgelegte Bemessungsbrände zu Grunde gelegt.

Informationen zum Verlauf der Wärmefreisetzungsrate können auf unterschiedliche Weise gefunden werden, z. B.:

a) durch Experimente (ähnliche Brandlast bei ähnlichen Raum- und Ventilationsbedingungen),

b) durch Berechnungen

- Nachbildung der Brandentwicklung und -ausbreitung mit Hilfe eines Verbrennungsmodells - nicht gebräuchlich, weil für breite Anwendungsfälle noch nicht gesichert
- Berechnung der Brandentwicklung (Brandausbreitung und Feuerübersprünge) durch Berechnung von Erwärmung, Pyrolyse und Zündung weiterer Brandlasten ausgehend von einer kleinen Primärbrandstelle - bedingt möglich

c) durch Vereinbarung auf der Basis von Schadenauswertungen oder anderer Erkenntnisse

- Verwendung von in der Literatur genannten fertigen Bemessungsbrandkurven für Spezialfälle (z. B. brennendes Sofa)

d) durch normative Vorgaben und technische Regelwerke

- Bemessung nach vereinfachten theoretischen Ansätzen unter Nutzung von Kennwerten aus der Literatur (wie z. B. q, H_u, $\dot{m}$, v_{aus}) - bei ausreichendem Datenmaterial wird Gegenrechnen mit verschiedenen Ansätzen empfohlen.

Schematisierter Verlauf von Bemessungsbränden

Der im Bild 8 gezeigte Brandverlauf wird für die mathematische Formulierung weiter vereinfacht und schematisiert (Bild 9).

Der Ablauf der Brandphasen wird grob in die Brandentwicklungs- und Brandausbreitungsphase (bis t_1), die Vollbrandphase (t_1 bis t_2) und den abklingenden Brand (t_2 bis t_3) unterteilt.

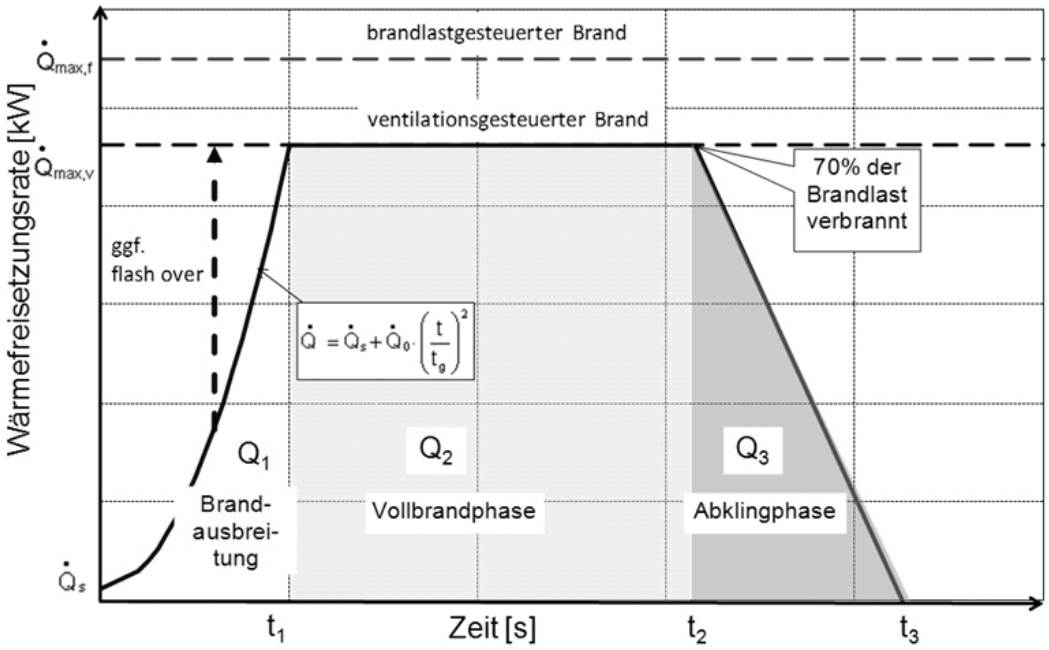


Bild 9 Schematisierter Brandverlauf für einen "natürlichen Brand" mit den Brandphasen: Brandausbreitung, Vollbrand und abklingender Brand

Die im Bild 9 enthaltenen Bezeichnungen bedeuten im Einzelnen:

$\dot{Q}_s$ Wärmefreisetzungsrate zum Zeitpunkt t_0, an dem der Entstehungsbrand vom Schwelbrand in einen sich ausbreitenden Brand übergeht (Beginn Bemessungsbrand, s. Bild 8),

$\dot{Q}_0$ = 1000 kW,

t_g Faktor zur Beschreibung der Brandentwicklung; der Zahlenwert entspricht der Branddauer [in s] bis zum Erreichen einer Brandstärke von 1 MW.

$\dot{Q}_{max,v}$ maximale Wärmefreisetzungsrate des ventilationsgesteuerten Brandes,

$\dot{Q}_{max,f}$ maximale Wärmefreisetzungsrate des brandlastgesteuerten Brandes,

Q_{1-3} Brandlast (Bestimmtes Integral der Wärmefreisetzungsratenkurve), die in den einzelnen Brandphasen umgesetzt wird.

a) Modellierung des Brandes während der Vorbrennzeit

Die Größe $\dot{Q}_s$ beschreibt vereinfacht den Brand am Ende der „Vorbrennzeit"; sie hängt vom Zündinitial und vom originär brennenden Objekt ab und kann im Allgemeinen zu $\dot{Q}_s$ = 25 kW angesetzt werden.

b) Modellierung des Brandes während der Brandausbreitung

Zunächst haben Brandexperimente sowohl an einzelnen brennbaren Gegenständen als auch in Brandräumen gezeigt, dass die Wärmefreisetzungsrate näherungsweise mit der Branddauer überproportional zunimmt und näherungsweise einem t^2-Gesetz genügt. Dementsprechend werden für Nutzungsarten mit normativ festlegbaren Brandbelastungen diesen Nutzungsarten spezifische Bandentwicklungsgeschwindigkeiten zugeordnet und im vfdb-Leitfaden genannt.

Diesen „$\alpha \cdot t^2$"-Beziehungen können geometrische Brandausbreitungsgeschwindigkeiten v_{aus} [m/min], bezogen auf die Grundfläche des Brandraumes, zugeordnet werden. Auch hierfür finden sich einige orientierende Angaben im Leitfaden. Die Ermittlung der Wärmefreisetzungsrate erfolgt dann über die spezifische Abbrandrate der beteiligten brennbaren Stoffe in [kg/m²•min], wobei hier der Flächenbezug auf die dem Brand ausgesetzte Stoffoberfläche gemeint ist und nicht die zugehörige Grundfläche des Brandraumes. Daraus lassen sich für die jeweiligen Gegenstände / Brandlasten typische Zeitverläufe der Wärmefreisetzungsrate entwickeln oder experimentell bestimmen.

Da das Brandverhalten von Stoffen grundsätzlich keine „stoffkonstante" Größe ist und immer von den jeweiligen Brandbedingungen abhängt, muss bei der Anwendung von veröffentlichten Werten stets auf die Anwendungsbereiche dieses Zahlenmaterials geachtet werden.

Grundsätzlich darf für den deutschen Bereich festgehalten werden, dass sich das Abbrandverhalten von Stoffen mit dem m-Faktor der DIN 18230-2 für ingenieurgemäße Brandmodellierungen nicht ausreichend zuverlässig abbilden lässt; der m-Faktor ist als Grundlage von Brandmodellierungen im Sinne des Brandschutz-Ingenieurwesens eher ungeeignet.

c) Modellierung des Vollbrandes

Der Vollbrand liegt vor, wenn sich die Brandfläche auf den ganzen Brandraum erstreckt. In dieser Brandphase kann keine weitere Brandausbreitung mehr stattfinden und die Wärmefreisetzungsrate bleibt konstant.

In „übergroßen“ Räumen können sich auch vollentwickelte Brände auf Teilabschnittsflächen ereignen. Als Folge der Brandausbreitung (auch und gerade wenn diese Räume brandschutztechnisch nicht wirksam durch raumabschließende Wände oder Decken unterteilt sind) werden dann ggf. alle Flächen dieser Räume nicht gleichzeitig sondern nacheinander vom „lokalen Vollbrand“ betroffen.

d) Modellierung des abklingenden Brandes

Für die Phase des abklingenden Brandes wird näherungsweise eine linear mit der Branddauer sinkende Wärmefreisetzungsrate im Brandraum angesetzt.

Unstetigkeiten im Verlauf des Bemessungsbrandes

Im Weiteren werden besondere Ereignisse, die den stetigen, natürlichen Brandverlauf stören und zu besonderen Unstetigkeiten führen, aufgelistet:

a) Ventilationsgesteuerte Brände

Der sich bei eingeschränkter Zufuhr von „Verbrennungsluft“ ergebende, ventilationsgesteuerte Abbrand wird von vielen Rechenmodellen unter Beachtung des globalen oder lokalen Sauerstoffangebotes erkannt und modelliert; bei anderen Verfahren muss dies der Anwender separat überprüfen; dazu müssen die für den ungestörten Abbrand erforderlichen und die durch die Raumöffnungen nachströmenden Sauerstoffmengen berechnet und ausgegeben werden. Eine entsprechende Abweichung vom quantitativen Verlauf des ursprünglich vorgegebenen Bemessungsbrandes ist zu dokumentieren.

Bei einem ventilationsgesteuerten Abbrand können sich die Schadstoffausbeuten und das Rauchpotenzial ändern. Als Richtwert für feste Stoffe gilt ein heizwertbezogener Sauerstoff-Bedarf von ca. 13-15 [kJ/gO_2].

b) Die plötzliche Brandausbreitung im Brandraum (Flashover-Phänomene)

Für „kleine Räume“ kann die plötzliche Brandausbreitung im ganzen Brandraum anhand von empirischen „Flashover-Bedingungen“ realitätsnah vorhergesagt werden. Als bekannteste Flashover-Bedingung ist die Temperatur in der Heißgasschicht bekannt; sie wird mit Werten zwischen 500 °C und 600 °C angegeben. Daran gekoppelt sind Flashover-Modelle, die insbesondere die Wärmefreisetzung im Brandraum mit der Größe der Ventilationsöffnungen koppeln und einem „A•√H“-Gesetz folgen.

Dem gegenüber wird in der Praxis eher weniger beachtet, dass

- auch der thermische Impuls aus der Heißgasschicht zur Durchzündung führt, wenn er etwa 10 % bis 15 % über der kritischen Wärmestromdichte der Brandlasten liegt und
- wenn sich brennbare Pyrolysegase aus Brandraumbereichen mit lokal unvollständiger Verbrennung in anderen Brandraumbereichen entzünden

und dort zu „Sekundärbränden“ führen. Dies erhöht die angenommene horizontale Brandausbreitungsgeschwindigkeit des Bemessungsbrandes erheblich und erfordert eine Korrektur im Rechengang

Bild 10 veranschaulicht diesen Effekt. Diese Brandausbreitungspfade und –phänomene treten auch über die Grenzen nicht wirksam baulich abgetrennter Brandräume hinaus auf und können in diesen angrenzenden Räumen zu verheerenden Brandwirkungen führen.

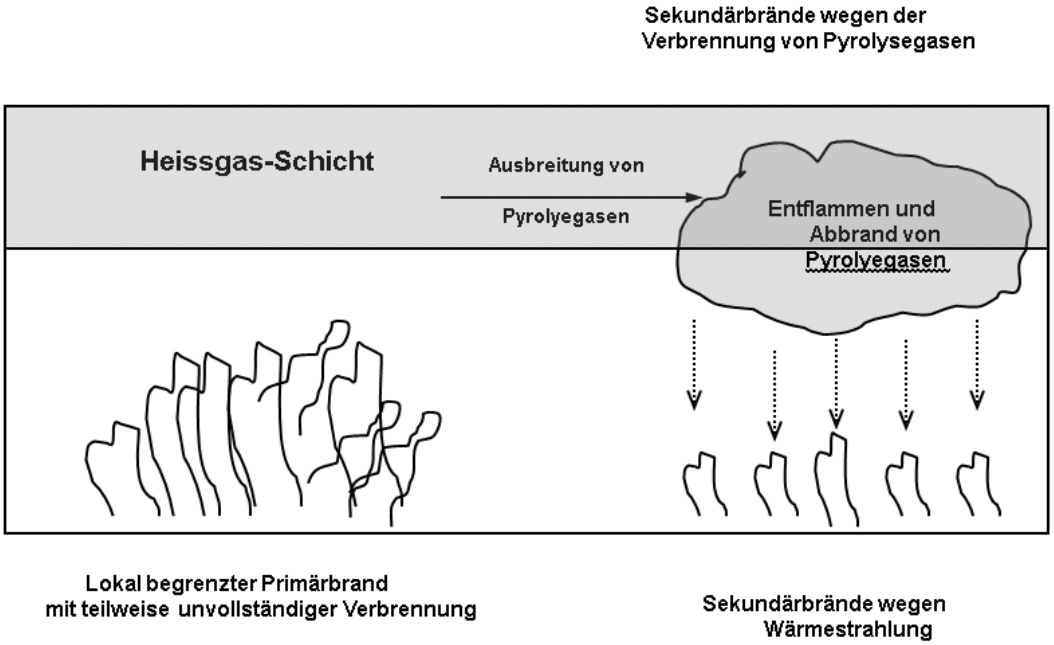


Bild 10 Brandausbreitung durch Abbrand unverbrannter Pyrolysegase des Primärbrandes abseits des Primärbrandes im Brandraum

c) Die Aktivierung und Wirkung von Löschmaßnahmen

Einfluss auf den Verlauf der Wärmefreisetzungsrate hat die Berücksichtigung von Löschmaßnahmen. Bild 11 zeigt den prinzipiellen Verlauf eines Bemessungsbrandes in Abhängigkeit von der Effektivität der Löschmaßnahme.

Zu unterscheiden sind Löschmaßnahmen der Feuerwehr und automatische Löschanlagen. Bei Berücksichtigung der Sprinklerwirkung im Rahmen ingenieurgemäßer Nachweise wird im Allgemeinen die Kurve für die „Brandbeherrschung“ (s. Bild 11) empfohlen.

Nur bei günstigen Randbedingungen und bei relativ schneller Aktivierung (kleine Werte für t_{akt}) kann auch von einer Brandlöschung ausgegangen werden.

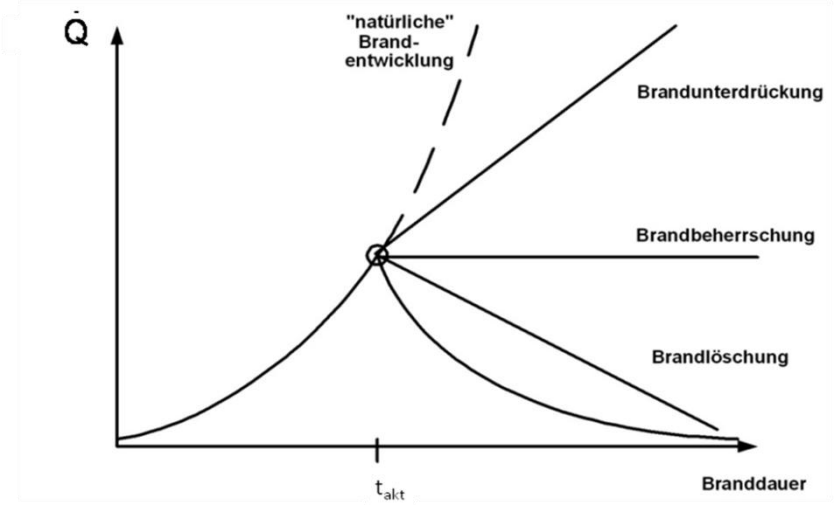


Bild 11 Modellcharakteristiken für den Einfluss von Löschmaßnahmen auf die Entwicklung eines Bemessungsbrandes

Kontrolle von Bemessungsbränden im Rechengang

Aufgrund der Festlegungen der Bemessungsbrand-Szenarien ergeben sich Bemessungsbrände, die den rechnerischen Brandsimulationen zunächst zu Grunde gelegt werden. Im Zuge der Berechnungen können Verhältnisse aufgezeigt werden, die von den Grundannahmen der Bemessungsbrand-Szenarien abweichen. Daher müssen die Rechenannahmen der Bemessungsbrand-Szenarien anhand der Rechenergebnisse überprüft werden; gegebenenfalls sind dann Modifikationen des Bemessungsbrand-Szenarios erforderlich und erneute Berechnungen.

Angaben Freisetzung von Brandgasen und deren Zusammensetzung

Neben den thermischen Auswirkungen von Bränden sind die sichttrübenden und toxischen Eigenschaften von Brandgasen entscheidend für den Nachweis der Personensicherheit. Da mit den Simulationsmodellen im Regelfall keine Verbrennung gerechnet wird, sondern die Brandwirkungen einer Brandverlaufskurve folgen, müssen auch die Rauchanteile, die im Brandverlauf entstehen können, vorgegeben werden. Vorzugeben sind die Ausbeuten Y_{CO2}, Y_{CO} und $Y_{Ruß}$ in Gramm Rauchanteil pro Gramm verbrannten Stoffs [g/g] und das Rauchpotenzial D_m in [m²/g].

Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten, Quellterme der Rauchausbeuten zu bestimmen.

a) wenn die Brandstoffe hinreichend genau in Art und Menge abgeschätzt werden können:

   Bestimmung der anteiligen Rauchausbeuten der Brandstoffe lt. Angaben im SFPE-Handbuch [2, 3] und Summenbildung zu den vorgenannten 4 Größen.

b) wenn keine konkreten Angaben zu Brandstoffen vorliegen:

Die Stoffverteilungen der jeweiligen Nutzung und der Brandphase können prozentual unter Berücksichtigung der Angaben in Tabelle 1 und Tabelle 2 abgeschätzt werden. Weitere Angaben zu den Tabellen siehe [1].

In der Tabelle 1 sind die entsprechenden Werte für Kunststoffe enthalten in Tabelle 2 für zellulosehaltige Stoffe.

Tabelle 1 Übersicht zu statistisch gesicherten Y- und Dm-Werten für Kunststoffe

Kunststoff / Brandphase	Y_{CO2}	Y_{CO}	$Y_{Ruß}$	D_m
	g/g	g/g	g/g	m²/g
gut ventiliert - min	0,86	0,05	0,06	0,10
gut ventiliert - mittel	0,97	0,07	0,11	0,134
gut ventiliert - max	1,12	0,09	0,17	0,173
unterventiliert - min	1,45	0,11	0,07	0,14
unterventiliert - mittel	1,93	0,17	0,13	0,44 *)
unterventiliert - max	2,57	0,27	0,20	0,64 **)
*) Mittelwert plus Standardabweichung, **) außer Polystyrol mit einem D_m-Wert von 1,0 m²/g				

Tabelle 2 Übersicht zu statistisch gesicherten Y- und D_m-Werten für Zellulose

Zellulose / Brandphase	Y_{CO2}	Y_{CO}	$Y_{Ruß}$	D_m
	g/g	g/g	g/g	m²/g
gut ventiliert - min	---	0,004	0,02	0,06
gut ventiliert - mittel	0,83	0,034	0,053	0,10
gut ventiliert - max	---	0,09	0,09	0,10
unterventiliert - min	1,25	0,07	---	---
unterventiliert - mittel	1,52	0,15	0,12	0,22
unterventiliert - max	---	0,23	---	---

Brennbare Flüssigkeiten lassen sie je nach Art in der Rauchausbeute sowohl den Größen der zellulosehaltigen Brandstoffe (z. B. Methanol, Ethanol) als auch den Kunststoffen zuordnen (z. B. Benzin, n-Hexan).

Rauchausbeuten für Cyanwasserstoff (HCN) müssen unter Berücksichtigung der möglichen im System vorkommenden Brandstoffe der Literatur [4] entnommen werden. Die Berechnung von HCN-Konzentrationen stellt den extremen Ausnahmefall im Rahmen der Anwendung von Ingenieurmethoden des Brandschutzes dar.

Die nicht ausgefüllten Felder bleiben weiteren Bearbeitungen vorbehalten. Die hierzu erforderlichen Größen können zurzeit nicht mit ausreichender Sicherheit bereit gestellt werden.

Hinweise zur Berücksichtigung von Windeinflüssen

Der vfdb-Leitfaden geht auf die Quantifizierung von Windeinflüssen als „äußere Einwirkung“ auf die Verhältnisse im Inneren von Gebäuden nicht detailliert ein. In der Realität ist die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von Feuer und Wind nicht vernachlässigbar, so dass im Brandfall auch von Wind-Wetterlagen ausgegangen werden muss. Ob Windeinwirkungen im Nachweis berücksichtigt werden müssen, ergibt sich aus der Schutzzielkonkretisierung und aus den Bemessungsbrand-Szenarien.

Detaillierte Hilfestellungen zur Festlegung von „Windlast-Werten“ sollen ggf. in der nächsten Ausgabe des vfdb-Leitfadens veröffentlicht werden.

BEISPIEL: BEMESSUNGSBRAND FÜR DIE AUSLEGUNG VON RAUCHABZUNGSANLAGEN IM INDUSTRIEBAU

Schutzziel-Vorgaben und funktionale Anforderungen

Im Industriebau soll bei Räumen über 1600 m² Größe mit Rauchabzugsanlagen erreicht werden, dass die Feuerwehr nach Eintreffen an der Einsatzstelle ausreichende Sichtverhältnisse vorfindet bzw. schnell herstellen kann, um den Brandherd aufzufinden und wirksame Löschmaßnahmen einleiten zu können. Hierfür werden in der MIndBauRl aus dem Jahre 2000 „raucharme Schichten“ von mindestens 2,5 m über den von der Feuerwehr für die Brandbekämpfung zu begehenden Ebenen für erforderlich und für ausreichend erachtet.

Bemessungsbrand-Szenarien

Tabelle 3 stellt die Ausgangssituation zusammen und Tabelle 4 beschreibt das geforderte Nachweis-Ziel für das Beispiel.

Tabelle 3 Beispiel für die Ausgangssituation

Gebäudeart und Nutzung	eingeschossiger Industriebau ohne höhere Ebenen und Galerien
Brandraum	mindestens 1600 m², lichte Höhe mindestens 6 m rechteckförmiger Grundriss
Abschottung des Brandraumes	Umfassungswände ohne besondere Brandschutzeigenschaften, zunächst geschlossen
Brandlasten	brennbare Stoffe als typische lokale Brandlastanhäufung innerhalb des Brandraumes: es muss von einem kritischen Brand ausgegangen werden, der sich in einem Bereich mit Brandlasten über der objektspezifisch durchschnittlichen Brandlastdichte ereignet (90 %-Fraktile) [1])
Ventilation im Brandraum	Alle Umfassungsbauteile zunächst zu, kein Einfluss von Lüftungsanlagen
Zündquelle zuerst in Brand geratener Gegenstand	beliebig, es wird von einem „Startereignis“ ausgegangen, das bereits eine Brandfläche von ca. 0,10 m² betrifft (ca. 30 cm * 30 cm) und bei „üblicher Brandbelastung“ eine spezifische Wärmefreisetzung [2]) von ca. 300 kW/m² leistet (Zündinitial ca. 30 kW).
Personen (Zahl, Zustand)	manuelle Löschmaßnahmen durch Mitarbeiter werden nicht unterstellt: ungehinderte Brandausbreitung
Brandschutztechnische Infrastruktur	keine automatischen Löschanlagen Alarmierung der Feuerwehr unterschiedlich: a. zeitgleich mit dem rechnerischen Brandbeginn (aBMA) b. 5 Minuten nach rechnerischem Brandbeginn (Alarmierung der Feuerwehr durch Mitarbeiter) c. 15 Minuten nach rechnerischem Brandbeginn (keine organisierte Alarmierung, Zufall, Wahrnehmung des Brandes von außen)
Betriebliche Situation	keine besondere Festlegungen

1) Das der Bemessung zugrunde zu legende Ereignis muss die weit überwiegende Mehrzahl der sich möglicherweise ereignenden Szenarien abdecken (nicht 100%, nicht worst case). Die Begrenzung auf einen Abdeckungsgrad von mindestens 90% aller denkbaren Fälle bedeutet praktisch allerdings auch, dass als Bemessungswerte keine Durchschnittswerte (50%-Fraktile) verwendet werden können.

Im Gegensatz zur Bewertung lokaler Szenarien muss bei Vollbrandszenarien (für die Bauteilbemessung) der Mittelwert der objektspezifischen Brandlastverteilung ausgegangen werden, weil sich das Gesamt-Brandszenario ja in der Regel über die gesamte Fläche erstreckt, was somit die Ungleichförmig-keit der Brandlastverteilung aufhebt.

2) Standardwert für die Bemessung von NA nach DIN 18232-2

Tabelle 4 Nachweisziele

Personensicherheit	Personen fliehen, bevor Rettungswege gefährdet sind. Rauchabzugsanlagen leisten nominell keinen Beitrag zur Rettungswegsicherheit für die Nutzer.
Brandbekämpfung	Feuerwehr benötigt für den Innenangriff ausreichende Sichtverhältnisse auf den Rettungs- und Angriffswegen
Strategie Sicherheitsnachweises	Ungehinderte Brandausbreitung wird bis zum Wirksamwerden erster Löschmaßnahmen der Feuerwehr unterstellt. Danach wird das Brandereignis nicht weiter betrachtet, weil es außerhalb des Betrachtungszeitraumes liegt.
Akzeptanzkriterien künftig nicht mehr ausdrücklich genannt	Benutzbarkeit der Angriffswege für die Feuerwehr ist gegeben, solange folgende Bedingungen eingehalten sind: - raucharme Schicht > 2,50 m über der Laufebene - bis zum angenommenen Wirksamwerden erster Löschmaßnahmen, danach wird keine Anforderung mehr gestellt.
Zeitschema für den Nachweis	- 0, 5, 15 Minuten Alarmierungsdauer, siehe oben - 10 Minuten ab Alarmierung bis zum Eintreffen erster Einsatzkräfte vor dem Gebäude - 2 Minuten Erkundung und Aufbau Wasserversorgung - 2 Minuten Innenangriff bis zum Wirksamwerden erster Löschmaßnahmen Beurteilungs-Zeitspannen: 14, 19 und 29 Minuten ==> 15 Minuten und 30 Minuten Hinweis: Die Schutzzielkonkretisierung der Berufsfeuerwehren beziffern das Eintreffen des ersten Fahrzeuges (10 Funktionen) mit 8 Minuten und eine Einsatzstärke von 16 Funktionen mit 13 Minuten nach Alarmierung.

Brandlasten und spezifische Wärmefreisetzungen

Die kritischen Szenarien für die Verrauchung treten in Verbindung mit lokalen Brandlastanhäufungen auf, da hier sowohl die Entstehungsrate von sichttrübendem Brandrauch besonders hoch ist als auch die Voraussetzungen für die Wirksamkeit von Löscharbeiten schwierig sind.

Angaben von Brandlastdichten in der Fachliteratur sind in der Regel auf die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen abgestellt und stellen dementsprechend auf die gesamte Grundfläche bezogene Mittelwerte dar. Für eine objektspezifische Bewertung der Gefahrenlage im Zusammenhang mit der Rauchentwicklung bei lokal begrenzten Szenarien sind demgegenüber die

lokalen Brandlastspitzenwerte der jeweiligen Nutzungen zu berücksichtigen. Da eine „worst-case-Betrachtung“ nicht erforderlich ist (nicht 100 % der möglichen Szenarien müssen abgedeckt sein), ist die nicht vorhersehbare maximale „Spitzen-Brandbelastung“ auch nicht abzuschätzen sondern ein Wert für die 90 %-Fraktile auf Teilflächen, die sich aus objektbezogenen Brandlasterhebungen auch ermitteln lässt.

Normativ festgelegte Bemessungswerte

Normative Regelungen zur Bemessung von Rauchabzugsanlagen gehen für die Brandausbreitungsphase von folgenden flächenspezifischen Wärmefreisetzungsraten aus:

- Auslegung natürlicher Rauchabzugsanlagen [DIN 18232-2]: 300 kW/m²,
- Auslegung maschineller Rauchabzugsanlagen [DIN 18232-5]: 600 kW/m².

Dabei wird die zeitliche Vergrößerung der rechnerischen Brandfläche in folgenden Stufen unterschieden (Bemessungsgruppen der DIN 18232):

- 0,15 m/min geringe Brandausbreitungsgeschwindigkeit in alle Richtungen,
- 0,25 m/min übliche Brandausbreitungsgeschwindigkeit in alle Richtungen,
- 0,45 m/min hohe Brandausbreitungsgeschwindigkeit in alle Richtungen.

Die Brandfläche ist hierbei die auf den Boden des Brandraumes projizierte Fläche, die vom aktuellen Brandgeschehen betroffen ist.

Die Brandausbreitungsgeschwindigkeit hängt primär von der Art und Lagerungsdichte der brennbaren Stoffe ab.

Die Brandausbreitungsgeschwindigkeit ist stark von der Brandlast und ihrer Anordnung abhängig und kann kaum rechnerisch exakt vorhergesagt werden, ohne dass sehr spezielle, experimentelle Voruntersuchungen durchgeführt worden sind. Daher wird international üblich die Brandentwicklungsgeschwindigkeit pauschal für verschiedene Nutzungsarten festgelegt, ohne dafür die oben beschriebenen Details der Brandlasten und ihrer Beteiligung am Brandgeschehen zu betrachten.

Für die unterschiedlichen Stufen der Brandausbreitungsgeschwindigkeiten ergeben sich die in Bild 12 dargestellten standardisierten Verläufe der Wärmefreisetzungsraten über der Branddauer.

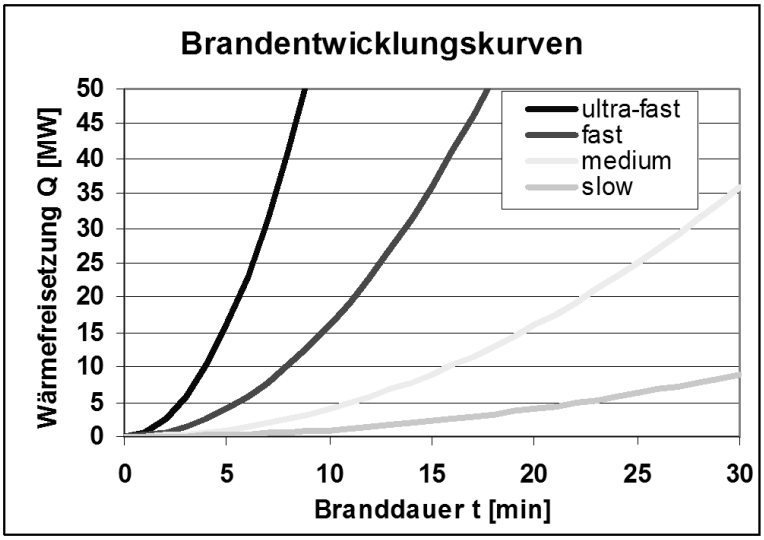


Bild 12 Standardisierte Zeitverläufe der Wärmefreisetzungsrate für unterschiedliche Brandentwicklungsgeschwindigkeiten

Bemessungswerte aufgrund von Brandlast-Annahmen

Wichtig ist die Tatsache, dass brennende Gegenstände durch Pyrolyse an ihren freien Oberflächen brennbare Gase freisetzen, die im Weiteren verbrennen. Die Produktion dieser brennbaren Gase ist also einerseits abhängig von der Pyrolyserate und damit vom betroffenen Material und andererseits von der Art und Menge der erhitzten Oberflächen „im Brandbereich“ und somit von der dort vorhandenen Zahl und Gestalt der Gegenstände.

Typische Werte sind hier die spezifische Abbrandgeschwindigkeit [kg/min] der Stoffe (bezogen auf die „brennende Oberfläche“) und der spezifische Energieinhalt der Stoffe als Heizwert [kWh/kg]. Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang:

Wärmefreisetzungsrate = brennende Oberfläche • Abbrandgeschwindigkeit • Heizwert der Stoffe

Q [kW] = A_{Brand} [m²] • r [kg/(m²min)] • H_u [kWh/kg] • 60 [min/h]

Orientierend wird auf die Angaben in Tabelle 5 und Tabelle 6 hingewiesen.

Tabelle 5 Typische Werte zum Abbrandverhalten von Stoffen

Stoff	spezifische Abbrandgeschwindigkeit [kg/(m²•min)]	Heizwert [kWh/kg]
Holz in Brettform	0,7 bis 1,0	4,8
Kunststoffe: PU, PVC	0,5 bis 0,7	5,0 bis 7,0
Kunststoffe: PE, PP, PS	0,4 bis 0,5	10 bis 12
Diese Werte müssen im Einzelfall durch brandlastspezifische Werte ersetzt werden; hier sollen die Werte nur zu Plausibilitätszwecken als Orientierungswerte verwendet werden.		

Unter Anwendung dieser Daten auf die brennenden Oberflächen von am Brandgeschehen beteiligten Stoffen und Waren lässt sich die jeweilige Wärmefreisetzungsrate näherungsweise ermitteln. Als Beispiel für eine sehr gute Korrelation dieser Stoff-Werte mit experimentell festgestellten Werten an Gegenständen kann hier auf amerikanische Brandversuche mit Holzpalettenstapeln unterschiedlicher Lagerhöhe verwiesen werden (Tabelle 6).

Tabelle 6 Wärmefreisetzung beim Abbrand von Palettenstapeln aus [1]

Waren	Lagerungsart	Lagerungshöhe [m]	Geschwindigkeit der Brandentwicklung	max. spezifische Wärmefreisetzungsrate [kW/m^2] *)
Holzpaletten (Abmessungen: 1,2 x 1,2 x 0,14 m; Feuchtigkeitsgrad 6,0 - 12,0 %)	gestapelt / Blocklagerung	0,5	mittel - schnell	1.249
Holzpaletten (Abmessungen: 1,2 x 1,2 x 0,14 m; Feuchtigkeitsgrad 6,0 - 12,0 %)	gestapelt / Blocklagerung	1,5	schnell	3.746
Holzpaletten (Abmessungen: 1,2 x 1,2 x 0,14 m; Feuchtigkeitsgrad 6,0 - 12,0 %)	gestapelt / Blocklagerung	3,0	schnell	6.810
Holzpaletten (Abmessungen: 1,2 x 1,2 x 0,14 m; Feuchtigkeitsgrad 6,0 - 12,0 %)	gestapelt / Blocklagerung	4,9	schnell	10.215
*) Diese Werte sind auf die Grundfläche (auf die Aufstellfläche der Paletten) bezogen.				

Man erkennt hier sehr deutlich den starken Einfluss der Brandlastdichte bezogen auf die Grundfläche auf die flächenspezifische Wärmefreisetzung. Man erkennt aber ebenfalls, dass die normativ festgelegten Wärmefreisetzungsraten

zur Bemessung von Rauchabzugsanlagen weit unterhalb dieser möglichen Werte liegen und somit sehr große Brände auf Teilflächen nicht abdecken.

Die Abschätzung der vom Brand betroffenen Oberflächen des Brandgutes ist sehr schwierig und wird in der Praxis üblicherweise nicht direkt durchgeführt. Bild 13 zeigt die Abschätzung der Brandleistung einer Europalette.

Design Fire: Europalette im Vollbrand

Wärmefreisetzung einer Europalette (Näherung)				
Material:	Holz			
	Dichte ρ		650 kg / m³	
	Abbrandgeschwindigkeit v_ab		1 mm/min	
	Heizwert Hu		4,8 kWh/kg	
	spez. Abbrand r_Punkt	r_Punkt =	0,001 [m/min] * 650 [kg/m³] * 60 [min/h]	
		r_Punkt =	39 [kg/m²*h] brennender Oberfläche	
Europalette	Grundfläche A		1 m²	
	brennende Oberfläche Af		1,6 m²	Bretter oben: 2 Oberflächen; je ca. 0,8 m²
	Gewicht Masse		20 - 24 kg	
Design Fire	Abbrand / Palette	M_Punkt =	Af * r =	1,6 [m²] * 39 [kg/m²*h]
				62,4 [kg/h]
	Wärmefreisetzung	Q_Punkt =	M_Punkt * Hu =	62,4 [kg/h] * 4,8 [kWh/kg]
	Heat Release Rate; HRR	Q_Punkt =		299,5 kW
Eine brennende Europalette setzt 299,5 kW frei.				
Vollständige Verbrennung unterstellt.				

Bild 13 Abschätzung der Brandleistung einer Europalette: 300 kW

Zur Anwendung kommen häufig Erkenntnisse über das Abbrandverhalten von einzelnen Gegenständen oder von typischen Brandlastkonfigurationen aus Realbrandversuchen unter brandlastgesteuerten Abbrandverhältnissen (bei unbegrenzter Luftzufuhr). Diese Daten für „einzelne brennende Gegenstände“ werden dann über alle vom Brandgeschehen betroffenen Brandlasten addiert und so alle vom Brand betroffenen Brandlasten gemeinsam und zusammenfassend betrachtet. Derartige Betrachtungen erfordern zusätzliche Erkenntnisse über die Brandausbreitungsgeschwindigkeit (in der Fläche) und über die Dauer bis zum völligen Ausbrand dieser Gegenstände: Es müssen die gemessenen Brandverlaufskurven addiert werden und nicht die Maximalwerte der einzeln gemessenen Wärmefreisetzungsraten.

Sofern eine Begrenzung der Brandausbreitung nicht sichergestellt und somit rechnerisch nicht unterstellt werden kann, muss bei großen Räumen von einer fortschreitenden Brandausbreitung ausgegangen werden. In diesem Zusammenhang muss zwischen der anfänglichen Brandentwicklung und der weiteren Brandausbreitung unterschieden (siehe auch Bild 10 „Sekundärbrände durch Pyrolysegase).

Angemessene flächenspezifische Wärmefreisetzungsrate

Für industrielle Risiken schwankt die flächenspezifische Wärmefreisetzungsrate in realen Schadenfällen nach Tewarson [5] zwischen 90 und 620 kW/m²; dabei handelt es sich um einen über die gesamte Abschnittsfläche gemittelten Betrag, der im Bereich von Brandlastanhäufungen erheblich größer sein kann. Unterstellt man jeweils Brandlastspitzen im Bereich von Materialanhäufungen, die um 100 % über den Mittelwerten liegen, so ist die spezifische Wärmefreisetzungsrate auf diesen Teilbereichen mit intensiverem Brandgeschehen (gegenüber dem Durchschnittswert) etwa in den Grenzen zwischen 180 und 1240 kW/m² anzusetzen. Diese Werte werden beispielsweise durch die Versuchsergebnisse mit Holzpalettenstapeln (s. o.) tendenziell bestätigt.

Die als normative Festlegung üblicherweise verwendete spezifische Wärmefreisetzungsrate von 300 kW/m² erweist sich aus den vorstehenden Überlegungen für die Anwendung im Rahmen des Brandschutzingenieurwesens als zu gering.

ZUSAMMENFASSUNG

Grundlage für die numerische Brandsimulation ist die Festlegung geeigneter Brandszenarien und Bemessungsbrände. Dabei spielen die objektbezogen konkretisierten Schutzziele mit ihren funktionalen Anforderungen an die Leistung des Brandschutzes und die Zuverlässigkeit der eingesetzten Brandschutzmaßnahmen eine wesentliche Rolle.

Die Verläufe der maßgebenden Bemessungsbrände können zunächst durch die Vorgabe der zeitlichen Entwicklung der Wärmefreisetzungsrate charakterisiert werden. Daraus lassen sich dann weitere Informationen über die Entstehungsraten von Brandprodukten (wie Rauchgaskomponenten) modellhaft ableiten.

In dem aktuellen Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes [1] werden in Kapitel 4 "Brandszenarien und Bemessungsbrände" die wesentlichen Elemente zusammengetragen, die notwendig sind, um für ein gewähltes Bemessungsbrand-Szenario einen geeigneten Bemessungsbrand zu erarbeiten. Grundlage hierfür sind Erfahrungswerte, die Tabellen des Anhangs zu Kapitel 4 zusammengestellt worden sind.

Diese Erfahrungswerte decken bis zu einem gewissen Grad die Realität ab, insbesondere wenn ihnen eine statistisch gesicherte Verteilung zu Grunde liegt. Der Anwender der Ingenieurverfahren steht aber im Einzelfall immer wieder neu verantwortlich vor der Aufgabe, die von ihm verwendeten Ansätze und Zahlenwerte für ein gewähltes Brandszenario zu begründen und festzulegen. Die Angaben im vfdb-Leitfaden können ihm dafür lediglich eine orientierende Hilfestellung anbieten.

LITERATUR

[1] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser, 2009.

[2] Mulholland, G. W.: Smoke Production and Properties. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fourth Edition, Quincy, Massachusetts (USA), S. 2-291 - 2-302. 2008.

[3] Gottuk, D. T.; Lattimer, B. Y.: Effect of Combustion Conditions on Species Production. In: DiNenno, P. J. et al. (Hrsg.). The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fourth Edition, Quincy, Massachusetts (USA), S. 2-67 – 2-95. 2008.

[4] Buff, K. Greim, H.: Abschätzung gesundheitlicher Folgen von Großbränden, Schriftenreihe Zivilschutzforschung, Band 25 – 1997.

[5] Tewarson, A.: Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fourth Edition, Quincy, Massachusetts (USA), S. 3-109 – 3-194. 2008.

BERÜCKSICHTIGUNG ANLAGENTECHNISCHER UND ABWEHRENDER MASSNAHMEN BEI BRANDSCHUTZNACHWEISEN MIT INGENIEURMETHODEN

Michael Dehne
Dehne, Kruse und Partner, Gifhorn
Christoph Klinzmann
hhpberlin Ingenieure für Brandschutz, Niederlassung Hamburg, Hamburg

EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten wurden im Bereich des Brandschutzes große wissenschaftliche Fortschritte gemacht, die zu einem Prozess des Umdenkens geführt haben: Der Brandschutz wird nicht mehr allein auf Grundlage von bauaufsichtlichen und normativen Vorschriften geregelt, sondern es besteht die Möglichkeit, die Einhaltung des gewohnten Sicherheitsniveaus durch die Anwendung von Ingenieurmethoden im Rahmen von schutzzielorientierten Brandschutzkonzepten nachzuweisen.

Ingenieurmethoden wie Zonen- und Feldmodelle bieten in Verbindung mit baurechtlichen Festlegungen (z. B. Muster-Industriebaurichtlinie, Eurocodes) neue Möglichkeiten für eine wirtschaftliche brandschutztechnische Auslegung von Gebäuden, sowohl im Bereich der Bauteilbemessung für den außergewöhnlichen Lastfall Brand als auch im Rahmen von Nachweisen für die Personensicherheit (Evakuierungs- und Rauchschutznachweise).

Auf der Grundlage von Methoden des Brandschutzingenieurwesens wird durch anerkannte Verfahren (z. B. Wärmebilanzrechnungen, Plume-Modelle, Personenstrom-Modelle, CFD-Modelle) nachgewiesen, dass für sicherheitstechnisch erforderliche Zeiträume

- die Flucht- und Rettungswege benutzbar sind,
- wirkungsvolle Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr möglich sind,
- die Standsicherheit der tragenden Bauteile gewährleistet ist.

Die in den sicherheitstechnisch erforderlichen Zeiträumen einzuhaltenden Schutzzielkriterien für den Personenschutz werden auf Grundlage des jeweiligen Schutzzieles und/oder bestehender Vorschriften festgelegt.

Der Vorteil der Ingenieurmethoden liegt dabei in erster Linie darin, dass realistische Brandszenarien und die individuellen Randbedingungen hinsichtlich Geometrie, Ventilation und Personenaufkommen berücksichtigt werden können.

Als Quellterm für Zonen- und Feldmodelle dient der zeitliche Verlauf der Wärmefreisetzungsrate. Für die Abbildung des unbeeinflussten Brandes über die Wärmefreisetzungsrate existieren für diverse Nutzungen und Brandlastanord-

nungen Ergebnisse von Brandversuchen, auf die zurückgegriffen werden kann. Eine Sammlung dieser Daten ist im Anhang zum Kapitel 4 des vfdb-Leitfadens veröffentlicht.

In Brandschutzkonzepten für Sonderbauten werden neben baulichen Schutzmaßnahmen häufig auch anlagentechnische Maßnahmen zur Gewährleistung von Schutzzielen bei besonderen Risiken oder zur Kompensation von Abweichungen gegenüber baurechtlichen Vorschriften vorgesehen. Da diese Maßnahmen einen erheblichen Einfluss auf das Sicherheitsniveau haben können, sollten sie auch bei der Bemessung der baulichen Brandschutzmaßnahmen berücksichtigt werden dürfen. Allerdings kann das erreichte Sicherheitsniveau überschätzt werden, wenn mehrere abwehrende und anlagentechnische Maßnahmen gleichzeitig in Ansatz gebracht werden, die sich gegenseitig beeinflussen. Dies ist z. B. der Fall, wenn neben einer öffentlichen Feuerwehr zusätzlich eine Werkfeuerwehr in gleicher Form in Ansatz gebracht wird.

Darüber hinaus können anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen unter Umständen aus den unterschiedlichsten Gründen wirkungslos sein, so dass ein pauschaler Ansatz der Maßnahmen nicht zielführend ist. Ein wesentliches Element der Nachweisführung ist daher, vorab das maßgebliche Szenario unter den zahlreichen möglichen Szenarien zu bestimmen, die sich aus Funktion und Nicht-Funktion der verschiedenen Maßnahmen ergeben,

Für die Erfassung des Einflusses der brandschutztechnischen Infrastruktur auf den zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsratenkurve als Quellterm für ingenieurmäßige Nachweise ist es erforderlich, zunächst die Möglichkeit der Modellierung der einzelnen Maßnahmen vorzustellen.

BRANDSCHUTZTECHNISCHE INFRASTRUKTUR

Anlagentechnische und abwehrende Brandschutzmaßnahmen können maßgeblich die Brandentwicklung und die Brandwirkungen (z. B. Temperatur, Rauch, toxische Gase) beeinflussen und somit wirksam zur Risikobegrenzung beitragen. Unter diesem Aspekt sind zu betrachten:

- Brandmeldeanlagen,
- Feuerlöschanlagen,
- Rauch- und Wärmeabzugsanlagen sowie
- der Löscheinsatz der Feuerwehr.

Im Rahmen der Ingenieurmethoden des Brandschutzes (z. B. Zonen- und Feldmodelle) kann einerseits deren günstige Wirkung auf das Brandszenario über den zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsrate quantitativ erfasst werden. Andererseits muss dann aber auch der Einfluss der Zuverlässigkeit auf das Gesamtsystem (d. h. das Zusammenwirken aller Brandschutzmaßnahmen) berücksichtigt werden, weil die brandschutztechnische Infrastruktur im Anforde-

rungsfall, wenn auch mit einer geringen Wahrscheinlichkeit, ausfallen kann. Es sind also grundsätzlich verschiedene Brandszenarien – mit und ohne auslegungsgemäße Wirkung der anlagentechnischen und/oder abwehrenden Brandschutzmaßnahmen zu betrachten.

Von entscheidender Bedeutung ist die Frage, zu welchem Zeitpunkt ab Brandbeginn ein Einfluss auf den Brandverlauf angenommen werden kann, da hiervon die Höhe der maximal auftretenden Wärmefreisetzungsrate sowie der Produktion toxischer Gase und sichttrübender Stoffe abhängt.

Der Verlauf von Bränden in Gebäuden ist von vielen Faktoren abhängig. Zu berücksichtigen ist neben der Bausubstanz, die zu Baubeginn relativ gut bewertbar ist, insbesondere die sich ständig ändernde Brandlast der technischen und nutzungsabhängigen Einrichtungen sowie die Auswirkungen der täglichen Nutzung des Gebäudes. Diese sind nur schwer fassbar und führen zu starken Streuungen der den Brand beschreibenden Parameter.

Erfahrungsgemäß beginnen Brandereignisse häufig als Schwelbrände, d. h. niedrigenergetische Oxidationsprozesse mit sehr geringer Wärme- und meist sehr intensiver Rauchentwicklung. Die Zeitabstände von Beginn eines Schwelbrandes bis zum Entstehen eines offenen Brandes sind sehr verschieden und können sich im Minutenbereich bis zu Stunden hinziehen. Aufgrund der starken Rauchentwicklung während der Schwelbrandphase kann sich der Einsatz von Brandmeldeanlagen mit automatischen Rauchmeldern bei zu erwartenden Schwelbränden besonders günstig auswirken.

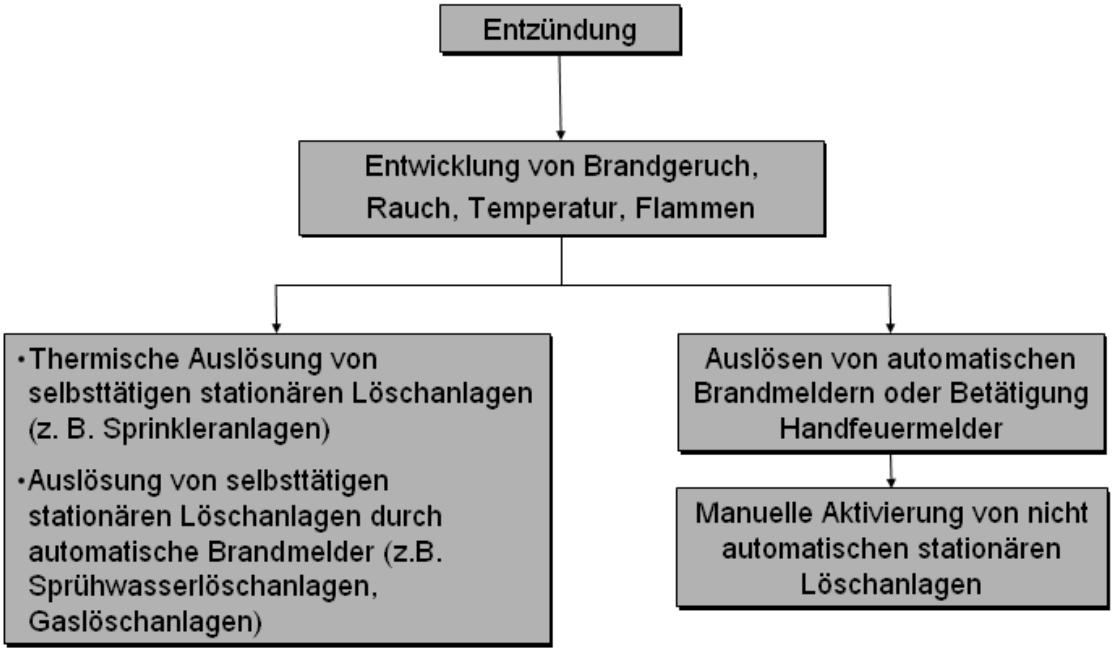


Bild 1 Ablaufdiagramm für die Brandbekämpfung durch Löschanlagen

Automatische Brandmeldeanlagen verkürzen die Alarmierungszeit, so dass die Brandbekämpfung der Feuerwehr dadurch zu einem früheren Zeitpunkt beginnen kann. Sie beeinflussen damit in erster Linie den für die Bemessung anzunehmenden Gesamtenergiegehalt der Wärmefreisetzungsratenkurve.

Da die Wärmefreisetzungsrate nicht nur die Temperaturentwicklung sondern auch die Rauchentwicklung beeinflusst, können automatische Brandmeldeanlagen in Verbindung mit der frühzeitigen Einleitung einer wirksamen Brandbekämpfung auch zur Reduzierung der insgesamt freigesetzten Rauchmengen beitragen.

Automatische Löschanlagen reduzieren im Wirkungsfall das Maximum der Wärmefreisetzungsrate und begrenzen das Ausmaß des Brandes, so dass in der Regel wirksame Löschmaßnahmen der Feuerwehr möglich werden.

Rauch- und Wärmeabzugsanlagen können die thermische Beanspruchung auf das Tragwerk verringern, dabei aber in Verbindung mit vorhandenen Nachströmöffnungen für Zuluft die Sauerstoffversorgung und damit wiederum die maximale Wärmefreisetzungsrate eines ventilationsgesteuerten Brandes erhöhen. Auf der anderen Seite können Rauchabzugsanlagen die Dicke einer Rauchschicht verringern und damit die negativen Einflüsse von Sichttrübungen und toxischen Gaskonzentrationen auf die Personenevakuierung und die Löscharbeiten mindern.

Im Folgenden wird auf die Wirkung und Zuverlässig der einzelnen Maßnahmen vertieft eingegangen, bevor verschiedene Fragestellungen hinsichtlich der möglichen Szenarien bei Vorhandensein mehrerer Brandschutzmaßnahmen erörtert werden.

WIRKUNG UND ZUVERLÄSSIGKEIT VON BRANDMELDEANLAGEN

Die Aufgabe einer automatischen Brandmeldeanlage (BMA) mit angeschlossener akustischer Alarmierungsanlage besteht darin, einen Brand im Frühstadium zu detektieren, Personen im Gebäude zu alarmieren, Brandschutz- und Betriebseinrichtungen automatisch anzusteuern, die Feuerwehr oder andere Hilfe leistende Stellen zu alarmieren und den Gefahrenbereich zu lokalisieren.

Eine Brandmeldeanlage für sich allein beeinflusst noch nicht den Brandverlauf und die Brandwirkungen. Sie wirkt in Kombination mit anderen Maßnahmen, indem sie die Zeitspanne bis zum Löschangriff einer Feuerwehr verringert.

Brandmeldeanlagen mit angeschlossenen akustischen Alarmierungseinrichtungen oder Sprachalarmanlagen wirken sich im Rahmen der Beurteilung der Auswirkungen von Brandszenarien somit zweifach aus:

- Durch die technische Branddetektion durch eine BMA und Ansteuerung der akustischen Alarmierungsanlage werden die sich im Gebäude befindlichen

Personen alarmiert. Damit ist der Einsatz der Werk- oder öffentlichen Feuerwehr auf die Rettung von Personen beschränkt, denen eine Selbstrettung nicht möglich ist, wenn der betriebliche Brandschutz funktioniert.

- Die Brandentwicklungsdauer, d. h. die Zeitdauer bis zum Beginn der Brandbekämpfung wird verkürzt, was zur Folge hat, dass die Standsicherheit von Gebäuden im Brandfall positiv beeinflusst werden kann.

Die Brandentwicklungsdauer wird neben der Vornahmezeit der Feuerwehr auch von der Zeitspanne zwischen Brandausbruch und Alarmierung bestimmt. Nach [1] beträgt der Zeitbedarf bis zur Alarmierung bei Vorhandensein einer automatischen Brandmeldeanlage (BMA) mit Aufschaltung zur Feuerwehr maximal 1,5 Minuten. Es wäre jedoch falsch, diesen Wert pauschal auf alle Fälle anzuwenden, denn die Zeitspanne vom Brandausbruch bis zur Detektion und damit der Auslösung der Übertragungseinrichtung zur Einsatzleitstelle der Feuerwehr wird u. a. von den folgenden Parametern beeinflusst:

- Brandentwicklung: Je nach Art und Ablauf des Brandes entstehen verschiedene Mengen oder Intensitäten der verschiedenen Brandkenngrößen.
- Gebäudegeometrie: In hohen und großflächigen Räumen kann die Zeitspanne bis zur Detektion länger sein als in kleinen Räumen mit niedrigerer Deckenhöhe.
- Art der Brandlast: Bei einer Rauchmelderüberwachung und Brandlasten, die mit starker Rauchentwicklung brennen, ist mit einer schnelleren Detektion zu rechnen.

Überwachungsumfang nach DIN 14675: Werden in einer dreigeschossigen Ladenstraße nur unter dem Dach Rauchmelder angeordnet ist die Zeitspanne bis zur Detektion ungleich größer als bei Vollschutz nach DIN 14675.

- Kenngröße der Melder: Rauchmelder lösen bei vielen Brandszenarien bzw. Brandlasten schneller aus als z. B. Wärmemelder.

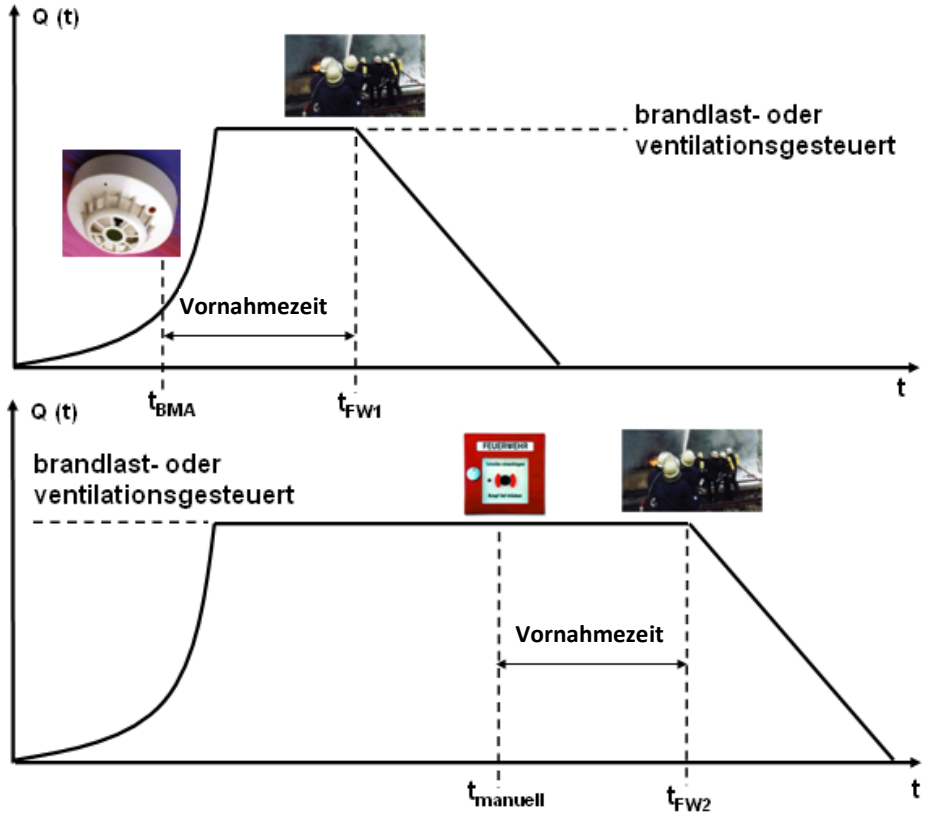
Im Einzelfall ist die Zeitspanne bis zur Detektion in Abhängigkeit der genannten Parameter konservativ abzuschätzen. Die VDI Richtlinie 6019, einfache Simulationsprogramme (z. B. FPETool) oder auch CFD-Modelle können bei der Ermittlung der Auslösezeit unter Berücksichtigung der Randbedingungen hilfreich sein.

Brandmeldeanlagen mit automatischen Meldern haben in Verbindung mit der Vorhaltung einer betrieblichen Feuerwehr (Werkfeuerwehr) einen Einfluss auf das Brandszenario, da der Gesamtenergiegehalt der Wärmefreisetzungskurve abgemindert wird (siehe Bild 2).

Sind automatische Melder vorhanden, kann in der Regel eine Brandentdeckung in der Brandentstehungsphase angenommen werden. Die Zeitspanne bis zum Beginn von Löschmaßnahmen verkürzt sich, so dass die Abklingphase eher

einsetzt. Eine Quantifizierung der Wirkung von automatischen Meldern ist jedoch ausschließlich in Verbindung mit Werkfeuerwehren möglich, weil die Vornahmezeit von öffentlichen Feuerwehren mit größeren Unsicherheiten verbunden ist und nur grob abgeschätzt werden kann.

Im Rahmen von Evakuierungsnachweisen mit Personenstrom-Modellen wirken sich Brandmeldeanlagen mit automatischen Meldern in Verbindung mit Alarmierungsanlagen durch eine Verkürzung der Alarmierungs- und Reaktionszeit und damit eine Verringerung der Räumzeit aus.



t_{FW1} Zeitspanne bis zum Start der Brandbekämpfung **mit** automatischen Meldern

t_{FW2} Zeitspanne bis zum Start der Brandbekämpfung **ohne** automatische Melder

Bild 2 Einfluss von automatischen Brandmeldeanlagen auf den zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsrate

Die Betriebssicherheit von Brandmeldeanlagen (BMA) ist auf Grund der Produktnormung sehr hoch. Anlagen, die kompetent geplant und instand gehalten werden, erreichen einen Zuverlässigkeitsgrad von 99,91 %.

Dieser Wert gilt jedoch nur dann, wenn folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- zertifizierte Dienstleistungsmaßnahmen bei Planungen, Projektierungen, Errichtungen und Inbetriebnahmen von BMA (gemäß DIN 14675),

- ausfallsichere, bidirektionale Vernetzung der Peripherieelemente,
- ausfallsichere, bidirektionale Vernetzung der Brandmelderzentralen und der abgesetzten Bedieneinheiten,
- automatische Selbstüberwachung aller Komponenten des Systems einmal pro Sekunde,
- Notredundanz unabhängig von den Basis-Rechner- und Softwareeinheiten,
- redundanter Aufbau durch Doppelrechner in den diversen Baugruppen,
- regelmäßige fachgerechte Instandhaltungsmaßnahmen,
- rechtzeitige Modernisierung.

In der Praxis wird die Ausfallwahrscheinlichkeit von BMA im Anforderungsfall aufgrund verschiedener Ursachen in der Regel höher sein. Mangels einer einheitlichen Brandstatistik lassen sich hierzu noch keine genauen Aussagen treffen. Mögliche Ursachen, die zum Versagen einer automatischen Brandmeldeanlage im Brandfall führen können, sind in erster Linie:

- Änderung des Hardware-Verhaltens wegen langjährigen negativen Umgebungseinflüssen (dies zu erkennen und zu beheben gehört zur Instandhaltung) oder
- mangelhafte Wartung,
- falsche Auswahl der Sensorik auf Grund von Planungsfehlern oder nicht beachteter Nutzungsänderungen,
- Ausfall der Vernetzung (z. B. Beschädigung der Leitungen),
- unzulässiger Betrieb der Anlage (z. B. Auflaufen der Alarme zu einer nicht besetzten Stelle).

An der Aufzählung wird deutlich, dass ein Großteil der Ursachen auf menschlichem Fehlverhalten (Human Error) beruht. Der wiederkehrenden Prüfung, Anpassung und Instandsetzung von Brandmeldeanlagen kommt daher im Hinblick auf die Zuverlässigkeit eine große Bedeutung zu.

Grundsätzlich sinkt bei Vorhaltung einer automatischen BMA mit Aufschaltung zu einer ständig besetzten Stelle durch den Zeitgewinn bis zum Beginn der Löscharbeiten die Wahrscheinlichkeit, dass die Brandbekämpfung durch die Feuerwehr nicht erfolgreich ist.

WIRKUNG UND ZUVERLÄSSIGKEIT VON LÖSCHANLAGEN

Die Aufgabe von Löschanlagen besteht einerseits darin, das Ausmaß des Feuers bis zum Eintreffen der Feuerwehr wirksam zu begrenzen, damit eine wirksame Brandbekämpfung bei erhöhten Brandrisiken zu ermöglichen, und andererseits die Brandbekämpfung für den Fall sicherzustellen, dass ein recht-

zeitiges Eingreifen der Feuerwehr aufgrund einer schnellen Brandausbreitung, eines langen Anfahrtsweges oder erschwerter Zugänglichkeit zum Brandort nicht zu erwarten ist.

Da belastbare statistische Daten zur Wirksamkeit und Zuverlässigkeit manuell ausgelöster Löschanlagen derzeit nicht verfügbar sind, konzentrieren sich die nachfolgenden Ausführungen auf selbsttätige Feuerlöschanlagen und insbesondere auf Sprinkleranlagen, zu denen die umfangreichsten Erfahrungswerte vorliegen.

Der zeitliche Verlauf der Wärmefreisetzungsrate bei Bränden, die durch die Wirkung einer selbsttätigen Löschanlage beeinflusst werden, hängt in erster Linie von folgenden Parametern ab:

- Brandverlauf in der Anfangsphase (Brandentwicklungszeit t_g),
- Ansprechempfindlichkeit der automatischen Löschanlage (Response-Time-Index RTI) bzw. der BMA zur Ansteuerung der Löschanlage,
- Raumhöhe, Raumumfassung bei Gaslöschanlagen,
- Dimensionierung der Löschanlage (Abstand der Löschdüsen, Menge des freigesetzten Löschmittels),
- Brandverlauf nach Auslösung der Löschanlage,
- anfängliche Temperatur im Brandraum,
- Auslösetemperatur der Löschanlage,
- maximaler Abstand der Löschelement-Achse von der Plume-Achse.

Grundsätzlich wird angenommen, dass die Anlagen – sofern sie nach anerkannten Regeln der Technik bemessen, installiert und betrieben sind - in der Brandentwicklungsphase auslösen, bevor das theoretische Maximum der Wärmefreisetzungsrate ohne Löschanlage erreicht wird und der Brand ventilations- oder brandlastgesteuert verläuft (Bild 3).

Ein Maß für die Ansprechempfindlichkeit von Sprinklern ist der Response-Time-Index (RTI-Wert). Je kleiner der RTI-Wert, desto schneller löst der Sprinkler aus.

Weiterhin wird der Auslösezeitpunkt von der radialen Entfernung der Sprinkler-Achse von der Plume-Achse beeinflusst. Um die Wirkung der Sprinkler auf den Brandverlauf zu quantifizieren, müssen deren Auslösezeiten in Abhängigkeit der Brandausbreitung, der Gebäudehöhe, der Empfindlichkeit des Auslöseelementes und des Abstandes von der Plume-Achse abgeschätzt werden. Dabei ist zu bedenken, dass ein Brand mittig unter einem Sprinkler im Hinblick auf den Löscherfolg als eine ungünstigere Variante einzustufen ist als der Löscherfolg bei dem gleichen Brand *zwischen* zwei Sprinklern, wenn *beide* Sprinkler auslösen.

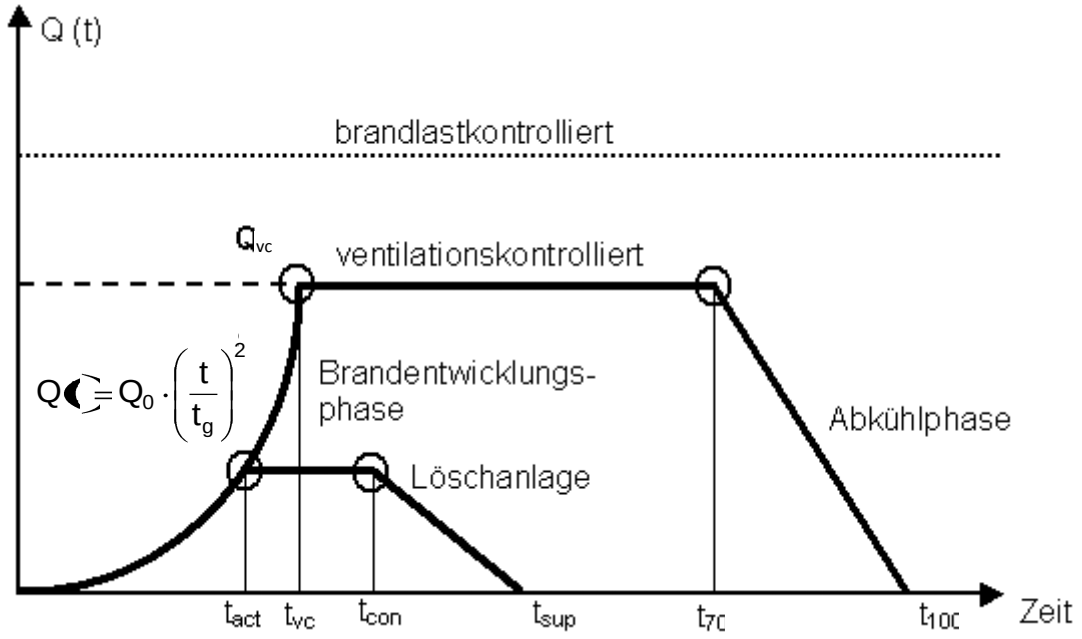


Bild 3 *Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsrate bei Begrenzung durch Brandlast, Ventilation oder Löschanlagen. Der Zeitpunkt t_{70} markiert den Zeitpunkt, an dem 70 % der Brandlasten verbraucht sind.*

Gemäß [2] kann vereinfacht angenommen werden, dass die Wärmefreisetzungsrate nach Auslösen der Sprinkler (t_{act}) noch 5 Minuten konstant weiter verläuft (t_{con}) und dann über einen Zeitraum von 25 Minuten linear bis auf Null (t_{sup}) abnimmt. Die lineare Beschreibung des abklingenden Astes der Wärmefreisetzungsrate stellt eine rechentechnische Vereinfachung dar. In der Realität ergibt sich analog zur Brandwachstumsphase ein konkaver Kurvenverlauf.

Die Zeitdauer bis zur Brandeindämmung wird für jede Wärmefreisetzungsrate Q_{LK} gleich angenommen mit der Begründung, dass bei größerer Brandfläche auch eine größere Anzahl von Sprinklern auslöst. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Fließdruck auch bei Einsatz vieler Sprinkler nicht zu stark absinkt (Auslegung der Anlage).

Der Verlauf der Wärmefreisetzungsrate ergibt sich folgendermaßen:

0 - t_{act}: $$Q = \left(\frac{t}{t_g}\right)^2 \text{ [MW]} \quad (1)$$

t_{act} - t_{con}: $$Q = Q_{LK} \text{ [MW]} \quad (2)$$

t_{con} - t_{sup}: $$Q = \frac{Q_{LK}}{t_{sup} - t_{con}} \cdot (t_{sup} - t) \text{ [MW]} \quad (3)$$

mit:

t_{act} Sprinklerauslösezeit [s]

t_{con} Zeitpunkt des Beginns der Brandkontrolle durch die Feuerwehr [s]

t_{sup} Zeitpunkt der Brandeindämmung [s]

Q_{LK} Maximum der Wärmefreisetzungsrate im kontrollierten Fall [MW]

Bild 4 zeigt beispielhaft den auf dieser Grundlage ermittelten Brandverlauf bei einer Brandentwicklungszeit von 150 s, einer Raumhöhe von 6 m, einem radialen Abstand der Sprinkler von der Plume-Achse von 2,8 m und einem RTI-Wert von 80 $(ms)^{0,5}$.

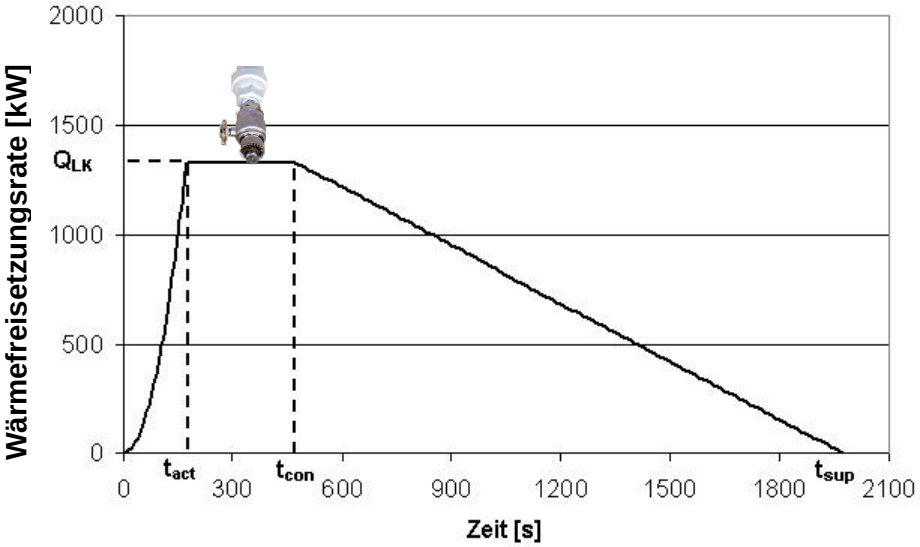


Bild 4 Beispiel für Brandverlauf in Form des Verlaufes der Wärmefreisetzungsrate bei Einsatz einer Sprinkleranlage (alle Modellgrößen mit ihren Nennwerten eingesetzt)

Umfangreiche Daten zur Zuverlässigkeit von selbsttätigen Löschanlagen liegen bei den Sachversicherern vor. Wegen der großen Bedeutung der Sprinkleranlagen für die Praxis wurden bisher primär die statistische Daten des VdS [3] für Sprinkleranlagen ausgewertet und mit internationalen Erhebungen (z. B. Australien) verglichen. Zusätzlich wurden unabhängig voneinander erfragte Expertenaussagen herangezogen, z. B. vom Bundesverband Feuerlöschgeräte und Anlagen (BVFA). Die Ergebnisse dieser Recherche sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Als Versagen der Sprinkleranlage wurde im Rahmen der Statistik sowohl der Fall betrachtet, dass die Anlage infolge technischen Versagens nicht ausgelöst hat, als auch der Fall, dass die Anlage zwar ausgelöst hat, die Wirkfläche jedoch überschritten wurde.

Tabelle 1 Versagenswahrscheinlichkeit von Sprinkleranlagen aus verschiedenen Quellen

Quelle	Versagenswahrscheinlichkeit p pro Anforderung
VdS Schadenverhütung [3]	0,019
Australien [4]	0,041
Expertenaussagen BVFA	0,020

In Anbetracht dessen, dass internationale Standards bezüglich Errichtung und Wartung von Sprinkleranlagen ggf. weniger streng sind als die Auflagen des VdS und weil die auf Grundlage von Statistiken ermittelten Werte eher konservativ sind, kann folgender Wert für die Versagenswahrscheinlichkeit von nach VdS Standard errichteten Sprinkleranlagen im Anforderungsfall angenommen werden:

$$p_{f,\ Sprinkler} = 0{,}02 \tag{4}$$

Für andere Sprinkler- und Löschanlagen, z. B. im Ausland, sind gesonderte Betrachtungen erforderlich.

WIRKUNG UND ZUVERLÄSSIGKEIT VON FEUERWEHREN

Maßgebend für den Einfluss einer Feuerwehr auf den zeitlichen Verlauf der Wärmefreisetzungsrate ist der Zeitpunkt des Beginns der Löscharbeiten bzw. die Zeitdauer bis zur Brandkontrolle. Expertenaussagen zufolge kann für anerkannte Werkfeuerwehren eine Brandentwicklungsdauer eine Vornahmezeit von 5 Minuten angenommen werden, wenn eine automatische Brandmeldung vorhanden ist und genauere Informationen über den Brandort vorliegen.

Im Einzelfall muss objektspezifisch überprüft werden, mit welchen Alarmierungszeiten und Vornahmezeiten zu rechnen ist, da diese Zeiten von mehreren Einflussfaktoren beeinflusst werden:

- Art des Brandszenarios,
- Anwesenheit von Betriebspersonal,
- automatische Brandmeldung ja/nein,
- Lage des Objekts (innerstädtisch oder außerbezirklich) in Bezug auf die Verkehrsdichte,
- Anzahl der ständig verfügbaren Einsatzkräfte,
- Anzahl der atemschutztauglichen Einsatzkräfte im Ersteinsatz,
- Zufahrtsmöglichkeiten auf das Grundstück,

- Ausrüstung der Feuerwehr,
- Vorhandensein und Qualität von Feuerwehrplänen zur Orientierung der Einsatzkräfte,
- Zugänglichkeit des Objekts (gewaltfreier oder gewaltsamer Zugang, ggf. ständig besetzte Stelle, die Zugang herstellt),
- Löschwasserversorgung im Abstand vom Objekt,
- Vorhandensein von trockenen oder nassen Steigleitungen bei mehrgeschossigen Gebäuden,
- Zurückzulegende Entfernungen innerhalb des Gebäudes bis zum Brandraum.

Entscheidend für die Beantwortung der Frage, ob bei einer bestimmten Größenordnung eines Brandes überhaupt noch ein Einfluss der Feuerwehr auf die Wärmefreisetzungsrate angenommen werden kann, ist die Brandfläche zum Zeitpunkt des Beginns der Löscharbeiten in Abhängigkeit der Brandentwicklung. Nach Feuerwehrerfahrung gibt es Grenzwerte für Brandflächen, die von Einzelpersonen und Feuerwehren noch gelöscht werden können.

Der Grenzwert der noch zu löschenden Brandfläche hängt ähnlich wie die Vornahmezeit ebenfalls von zahlreichen Faktoren ab und kann schwierig pauschalisiert werden.

Allgemein akzeptiert werden im Regelfall die folgenden Grenzwerte:

- 200 m² bei Nutzungseinheiten mit beliebiger Konfiguration und Brandlast,
- und 400 m² bei Nutzungseinheiten mit Büro- oder Verwaltungsnutzung.

Die größere beherrschbare Brandfläche bei Büro- und Verwaltungsnutzungen erklärt sich aus der Tatsache, dass die Brandlastdichte hierbei eher im mittleren Bereich angesiedelt und bezüglich Art und Anordnung statistisch relativ gut abgesichert ist, während die beliebig genutzte 200 m²-Fläche für die Feuerwehr quasi eine Art „black box“ darstellt, in der beliebig hohe Brandlastdichten und sonstige Erschwernisse (Lagerguthöhe, Stapeldichte, Art der Brandlast etc.) auftreten können. Die oben genannten Werte sind analog auch in der Musterbauordnung verankert (zulässige Größe von Nutzungseinheiten ohne notwendige Flure).

Sind größere Brandflächen zu erwarten, so wird beim Einsatz von Ingenieurmethoden dringend empfohlen, die maximal zu beherrschende Brandfläche objektspezifisch in enger Abstimmung mit der zuständigen Feuerwehr festzulegen.

Eine Hilfestellung bei der Quantifizierung der Wirkung einer Feuerwehr auf den Wärmefreisetzungsratenverlauf kann der folgende Ansatz darstellen:

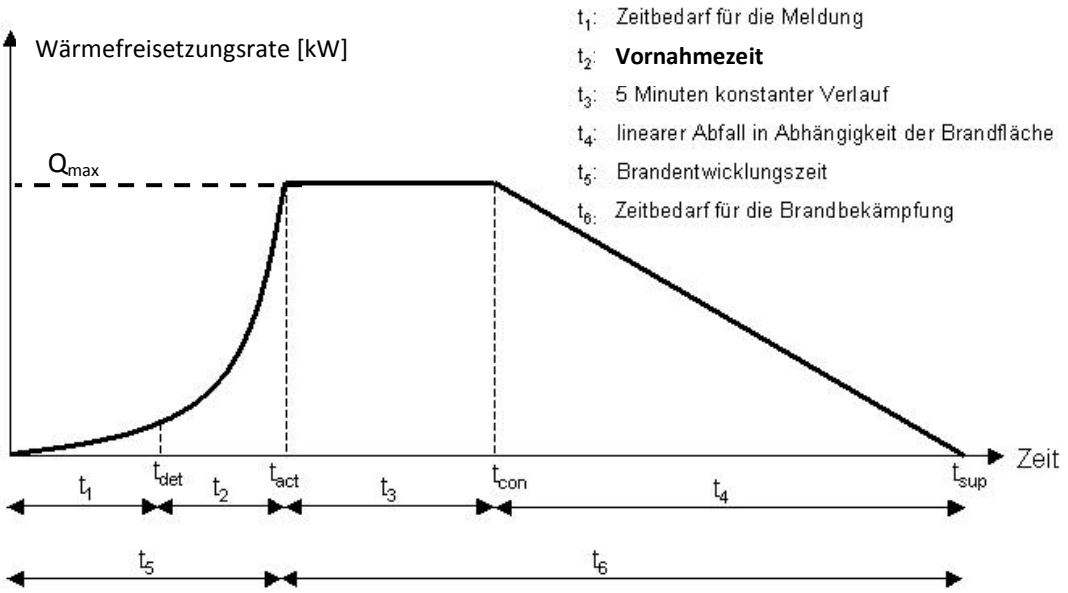


Bild 5 Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsrate (qualitativ) bei Einsatz einer Feuerwehr

Es wird dabei konservativ angenommen, dass die Wärmefreisetzungsrate nach Beginn der Löscharbeiten noch für eine Dauer von 5 Minuten konstant verläuft und anschließend linear abklingt. In Bild 5 ist der qualitative Verlauf der Wärmefreisetzungsrate dargestellt. Bezüglich des Maximums der Wärmefreisetzungsrate muss unterschieden werden, ob der Zeitpunkt t_{act} in der Brandentwicklungsphase (Q_{FK}) oder in der Phase des brandlast- bzw. ventilationsgesteuerten Brandes (Q_{fc} bzw. Q_{vc}) liegt. Die lineare Beschreibung des abklingenden Astes stellt eine rechentechnische Vereinfachung dar. In der Realität ergibt sich analog zur Brandwachstumsphase ein konkaver Kurvenverlauf. Die Steigung des abklingenden Astes hängt von der maximal auftretenden Brandfläche ab. Je größer diese Brandfläche werden kann, desto länger dauert es, bis der Brand komplett eingedämmt ist.

Bei öffentlichen Feuerwehren ist der Zeitpunkt der Einflussnahme auf den Brandverlauf weitaus schwieriger zu quantifizieren als bei anerkannten Werkfeuerwehren, da die Vornahmezeiten infolge der sehr unterschiedlichen Entfernung zwischen Feuerwache und Einsatzort eine größere Bandbreite aufweisen.

Um die Wirkung der Löschmaßnahmen durch eine Werkfeuerwehr auf das Brandszenario quantifizieren zu können, muss unter anderem der Zeitpunkt des Beginns der Brandbekämpfung ab Brandausbruch bekannt sein.

Die Zeitdauer von der Entzündung bis zum Beginn der Löscharbeiten wird als *Brandentwicklungsdauer* bezeichnet. Sie setzt sich zusammen aus dem Zeitraum des Brandausbruches bis zur *Alarmierung der Einsatzkräfte* und der *Vornahmezeit*. Im ersten Zeitraum ist vor allem die Brandentdeckungszeit eine in Bezug auf die Rechnung unbestimmte Zeitgröße, die aber bedeutend für den Brandverlauf und das Ausmaß des Feuers ist.

Die Alarmierungszeit bezeichnet die Zeitspanne zwischen der Entzündung und der Benachrichtigung der Feuerwehr. Sie hängt in starkem Maße von den im Einzelfall vorhandenen Bedingungen bezüglich der Brandmeldung ab. Einen günstigen Einfluss haben hier automatische Brandmeldeanlagen mit direkter Aufschaltung zur Feuerwehr. Je nach geometrischen Randbedingungen, Ansprechempfindlichkeit der Melder und Brandszenario kann im Mittel von einer Alarmierungszeit von 1,5 Minuten ausgegangen werden (Fall 1, Tabelle 2). Die ständige Präsenz von Personen im betrachteten Brandabschnitt kann in der Wirkungsweise einer automatischen Brandmeldeanlage gleichgesetzt werden (Fall 2, Tabelle 2).

Zahlreichen Studien zufolge kann bei überwiegender Anwesenheit von geschultem Betriebspersonal im betrachteten Brandabschnitt im Regelfall davon ausgegangen werden, dass die Brandentdeckung erst nach mindestens 2 Minuten und nach weiteren 1,5 Minuten die Meldung des Brandes erfolgt. Die Notrufabfrage ist nach weiteren 1,5 Minuten abgeschlossen. Bis zur Alarmierung der Feuerwehr sind demnach im Mittel mindestens 5 Minuten vergangen. Sind nur selten Personen anwesend, dann sind genaue Aussagen nicht möglich (Fall 3, Tabelle 2).

Tabelle 2 Alarmierungszeiten in Abhängigkeit von den Bedingungen für die Brandmeldung (für den Industriebau)

Fall	Bedingungen für die Brandmeldung	Alarmierungszeit [min]
1	automatische BMA	1,5
2	ständig Personen anwesend (z. B. 3-Schicht-Betrieb)	1,5
3	selten oder nie Personen anwesend	keine Aussage möglich

Die Vornahmezeit bezeichnet die Zeitspanne zwischen der Alarmierung der Feuerwehr und dem Beginn der Löscharbeiten. Sie hängt in erster Linie ab von:

- der Entfernung des Brandortes von der alarmierten Feuerwache,
- der durchschnittlichen Verkehrsdichte auf der Anfahrtsstrecke und besonderen Zeitverzögerungspunkten (z B. Bahnübergänge),
- der Art und Nutzung des Objektes (der Zeitbedarf für die Erkundung und Entwicklung ist z. B. bei Tunnelbauwerken sehr viel größer als bei Einfamilienhäusern),
- der zur Verfügung stehende Einsatzkräfte, insbesondere der atemschutztauglichen Einsatzkräfte
- dem Ausbildungsstand der Feuerwehrleute,
- der Zugänglichkeit des Objektes.

Der Ausbildungsstand der Feuerwehrleute kann vereinfacht als bundesweit einheitlich angenommen werden. Die Zugänglichkeit ist zumindest bei Vorhandensein einer BMA durch ein Feuerwehrschlüsseldepot geregelt, daher werden hier nur in Ausnahmefällen zeitverzögernde Erschwernisse auftauchen. Auch die Erkundungs- und Entwicklungszeit lässt sich für die verschiedenen Bauwerkstypen näherungsweise festlegen. Die letzten drei Einflussfaktoren lassen sich damit relativ gut abschätzen. Die am schwersten vorhersagbare Größe ist der Zeitbedarf für die Wegstrecke zwischen Feuerwache und Brandort, der von den beiden erstgenannten Punkten abhängt, der Wegstrecke und der Verkehrsdichte.

Durch eine statistische Auswertung von Feuerwehreinsatzdatenblätter wurden p-Quantile (p %-Fraktilen) der Zeitspanne zwischen Alarmierung und Beginn der Löschmaßnahmen in Abhängigkeit von der effektiven Entfernung zwischen Feuerwache und Brandort ermittelt, um somit die Vornahmezeit quantifizieren zu können [5]. Die Ergebnisse können in Bild 6 abgelesen werden.

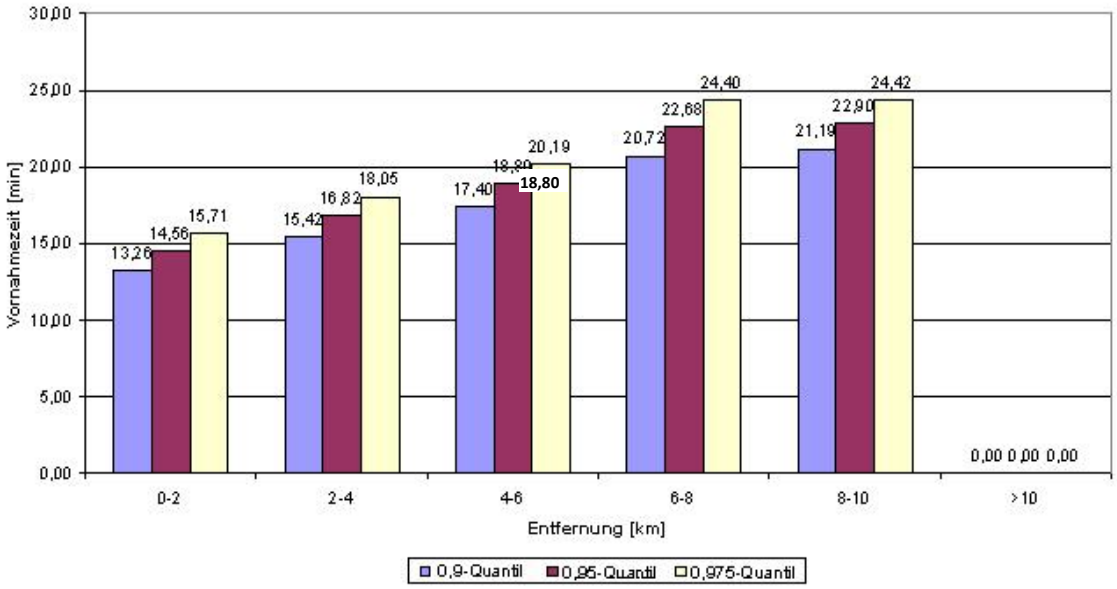


Bild 6 Quantile der Vornahmezeiten in Abhängigkeit der Entfernung von der Feuerwache zum Brandort

Je nachdem, welche Randbedingungen bezüglich der Brandmeldung vorliegen, kann die Brandentwicklungsdauer ermittelt werden, indem die Alarmierungszeit zu dem p-Quantil der Vornahmezeit addiert wird. Eine allgemeingültige Verwendung der p-Quantile im Sicherheitskonzept setzt allerdings eine umfassende Brandstatistik voraus.

Ist die Brandausbreitungsgeschwindigkeit näherungsweise bekannt, kann die zum Zeitpunkt des Eingriffs der Feuerwehr vorhandene Brandfläche mit Hilfe der Angaben zur Alarmierungszeit und Vornahmezeit abgeschätzt werden.

Die Zuverlässigkeit von abwehrenden Brandbekämpfungsmaßnahmen kann durch ein vereinfachtes Modell errechnet werden. Ihm liegt die Annahme zu Grunde, dass die Feuerwehr einen Brand dann nicht mehr beherrschen kann, wenn dieser eine bestimmte Flächenausdehnung erreicht hat, entsprechende Werte wurden weiter oben gegeben.

Die mit der Zeit anwachsende Brandfläche A_f nimmt mit einer für die Nutzung typischen Brandausbreitungsgeschwindigkeit v_{aus} so lange zu, bis die weitere Ausbreitung durch den beginnenden Löschangriff der Feuerwehr gestoppt wird. Dieser Zeitpunkt t_{LA} wird durch die Brandentdeckungszeit und die Vornahmezeit der Feuerwehr bestimmt, die von der Art der Feuerwehr abhängt. Bei einer Werkfeuerwehr kann angenommen werden, dass bei gleicher Leistungsfähigkeit aufgrund der kurzen Anfahrzeit sowie der guten Ortskenntnis der Löschangriff früher erfolgen kann.

Im Modell wird die bis zum Beginn des Löschangriffs erreichte Brandfläche der maximal beherrschbaren Fläche gegenübergestellt. Die folgende Gleichung stellt ein einfaches Grenzzustandsmodell dar, das zur Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit des Löschangriffs angewendet werden kann.

$$Z = A_{f,grenz} - A_f = A_{f,grenz} - \pi * (v_{aus} * t_{LA})^2 \tag{5}$$

Bild 7 zeigt beispielhaft die Versagenswahrscheinlichkeit der Löschmaßnahmen in Abhängigkeit der Vornahme der Feuerwehr bei einer mittleren bzw. schnellen Brandausbreitungsgeschwindigkeit und einer beherrschbaren Brandfläche $A_{f,grenz}$ von 200 m² bzw. 400 m².

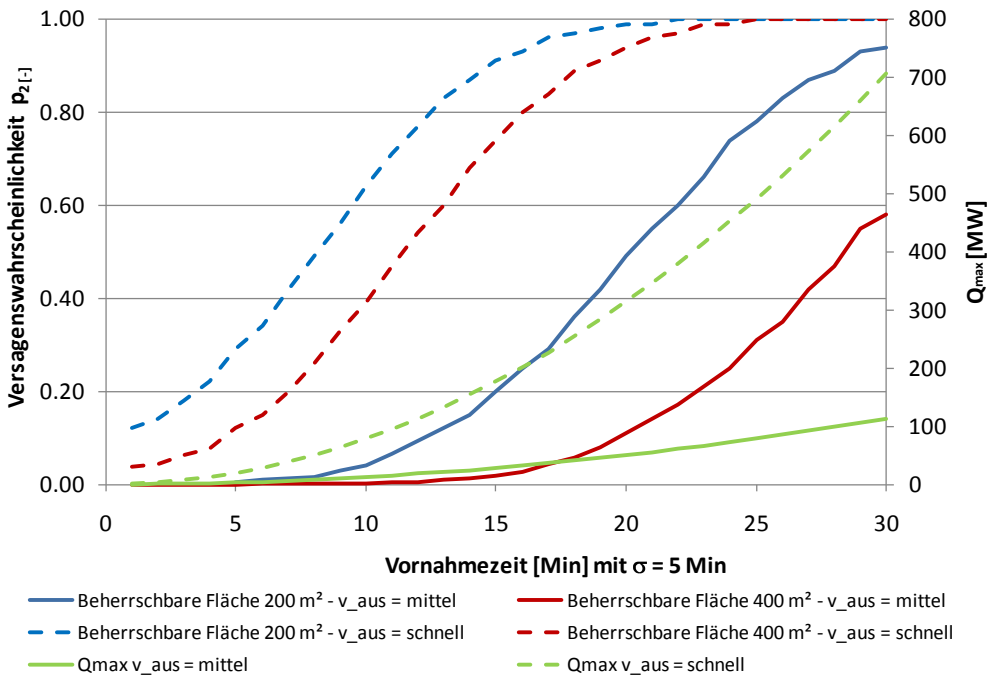


Bild 7 Versagenswahrscheinlichkeit eines Feuerwehreinsatzes unter verschiedenen Randbedingungen

Es wird davon ausgegangen, dass der Brand durch die Feuerwehr gelöscht werden kann, wenn der Löschangriff vor Überschreiten der beherrschbaren Fläche $A_{f,grenz}$ beginnt. Die bis dahin erreichte Wärmefreisetzungsrate bleibt weitere 10 Minuten konstant, bevor sie linear abklingt (s. Bild 7).

KOMBINIERTE SZENARIEN BEI MEHREREN SCHUTZMASSNAHMEN

In vielen Fällen wirkt nicht nur eine einzelne Schutzmaßnahme auf den Brandverlauf ein. Bei praktisch allen (Sonder-)Bauwerken kann mit einem Feuerwehreinsatz gerechnet werden, so dass bereits beim Vorhandensein einer automatischen Löschanlage mehrere Szenarien der Wirkung der Brandbekämpfung denkbar sind:

- Der Entstehungsbrand wird durch die Löschanlage gelöscht.
- Die Löschanlage versagt, der Entstehungsbrand wächst weiter an und wird durch die alarmierte Feuerwehr gelöscht.
- Der Brand wächst zu einem Vollbrand an, der durch die Feuerwehr nicht mehr ohne weiteres gelöscht werden kann und sich weiter ausbreitet,
- Die Löschanlage kontrolliert den Brand auf einem Niveau niedriger Wärmefreisetzungsrate, die Feuerwehr löscht den Brand.

Zwar sind alle diese Szenarien denkbar, aber nicht unbedingt gleich wahrscheinlich. Dies führt dazu, dass man das maßgebliche Szenario, das für die Bemessung angesetzt werden sollte, nicht mehr leicht erkennt. Eine Systematik zum Auffinden aller möglichen Szenarien ist die sogenannte Ereignisablaufanalyse. Ausgehend von dem Ereignis „Auftreten eines Entstehungsbrandes in der Nutzungseinheit“ werden die Entwicklung bzw. die Folgen des Ereignisses untersucht. Dabei wird berücksichtigt, wie die Funktion bzw. das Versagen von verschiedenen Schutzmaßnahmen („Barrieren“) den möglichen Brandverlauf, damit die Brandeinwirkungen und schlussendlich die Schadensfolgen beeinflussen [16].

Je nach Funktion oder Ausfall der einzelnen Maßnahmen stellen sich unterschiedliche „Pfade“ bzw. Szenarien ein, die sich wie in Bild 8 gezeigt anschaulich als Äste eines Ereignisbaums [6] darstellen lassen. In diesem Beispiel werden eine Brandmeldeanlage (BMA), die manuelle Brandmeldung (BM) eine automatische Löschanlage (LA), eine Werkfeuerwehr (WFW) sowie eine öffentliche Feuerwehr (öFW) berücksichtigt.

Beispielsweise begrenzen die Funktion einer Brandmeldeanlage, einer Löschanlage oder die wirksame Brandbekämpfung durch die Feuerwehr die Brandausbreitung und damit das Schadensausmaß. Da sich der Ereignisbaum an jeder Barriere spaltet, entwickelt er sich bei mehreren Schutzmaßnahmen zu einem sehr komplexen Gebilde. Dabei gehört zu jedem der einzelnen Äste ein Brandszenario (hier mit SZ abgekürzt), jedes mit einer unterschiedlichen Intensität der Brandeinwirkung.

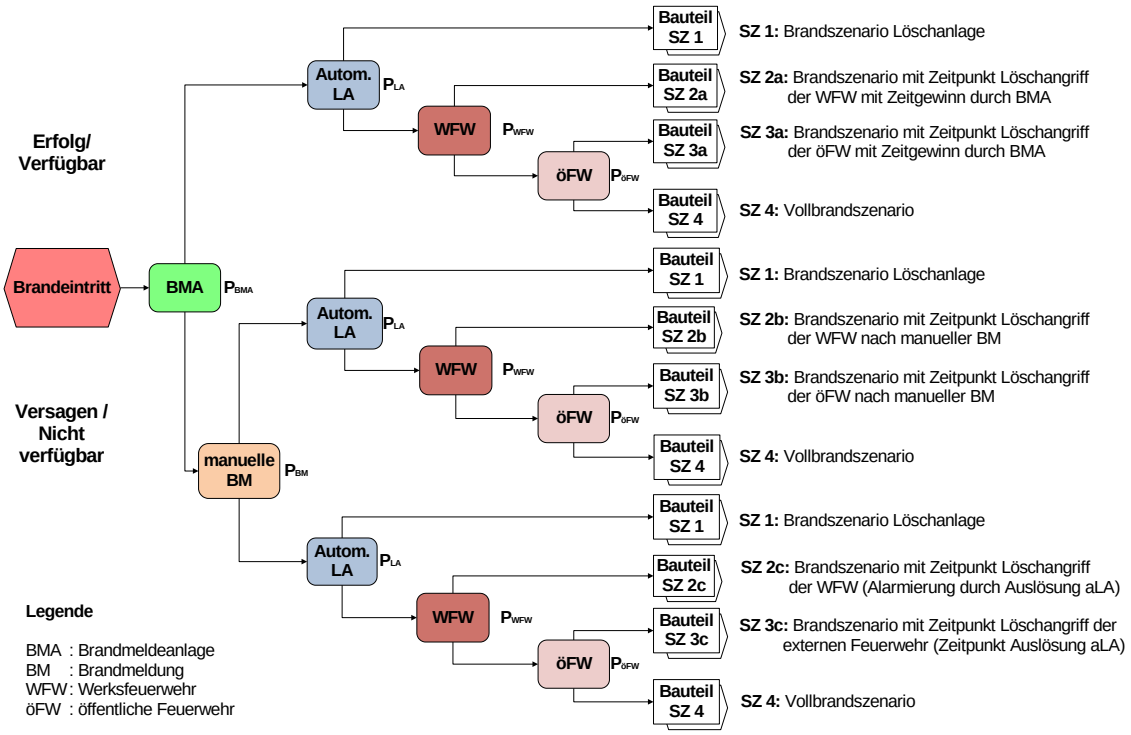


Bild 8 Beispiel eines Ereignisbaumes für den Brandfall bei Berücksichtigung unterschiedlicher Maßnahmen zur Brandmeldung und Brandbekämpfung

Für die Bestimmung des maßgeblichen Szenarios, das in bei einem brandschutztechnischen Nachweis angesetzt werden sollte, muss zunächst die jeweilige Auftretenswahrscheinlichkeit analysiert werden. Diese ergibt sich aus der Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Schutzmaßnahmen, die sich in einfachen Fällen direkt aus den in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Zuverlässigkeiten ergeben. Multipliziert man die ermittelten oder abgelesenen Wahrscheinlichkeiten entlang des jeweiligen Astes des Ereignisbaums, erhält man die Auftretenswahrscheinlichkeit des Szenarios. Für die Bestimmung des maßgeblichen Szenarios sind jedoch weitere Überlegungen erforderlich, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden.

Problematisch ist die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Schutzmaßnahmen in vollem Umfang, wenn deren Wirkungen auf das Brandereignis nicht mehr als voneinander unabhängig angenommen werden können. Aus mathematischer Sicht kann es sich bei Ausfallwahrscheinlichkeiten von zeitlich aufeinander folgenden Ereignissen um bedingte Wahrscheinlichkeiten handeln, wobei der Wert der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Schutzmaßnahme von den Wahrscheinlichkeiten vorhergehender Schutzmaßnahmen abhängt. Im einfachen und unabhängigen Fall beeinflussen sich die Schutzmaßnahmen und damit auch die Ausfallwahrscheinlichkeiten nicht (z. B. Nicht-Funktion der Löschanlage und Wirksamkeit der Löschmaßnahmen), im komplexeren Fall hingegen schon (Wirksamkeit der Löschmaßnahmen der Werkfeuerwehr und der öffentlichen Feuerwehr), so dass eine zusätzliche Schutzmaßnahme eventuell gar keinen Sicherheitsgewinn mehr mit sich bringt.

Diese Problematik kann am einfachsten anhand des Zusammenwirkens einer Werkfeuerwehr und einer öffentlichen Feuerwehr illustriert werden. Beginnt die Werkfeuerwehr mit einem Löschangriff und wird diese zu einem späteren Zeitpunkt durch eine öffentliche Feuerwehr unterstützt, ist der Verlauf des Brandereignisses anders, als wenn die Brandbekämpfung allein durch die Werkfeuerwehr erfolgt wäre. Eine Ausfallwahrscheinlichkeit dieser Brandbekämpfung wäre ebenfalls anders zu ermitteln. Für eine vereinfachte Modellierung ist es möglich, bei gleichartiger Wirkungsweise von Schutzmaßnahmen näherungsweise auf die Berücksichtigung der jeweils späteren zu verzichten. Bei anderen Arten der Interaktion, beispielsweise der Brandmeldeanlage und des Löschangriffs, ist dies ungleich komplizierter, da die BMA nicht direkt auf den Löscherfolg, sondern indirekt auf die Vornahmezeit der Feuerwehr und damit auf die Zuverlässigkeit der Brandbekämpfung einwirkt.

BESTIMMUNG DES MASSGEBLICHEN SZENARIOS

Der Ereignisbaum in Bild 8 zeigt, dass sich eine Vielzahl von Szenarien aus den vorhandenen Schutzmaßnahmen ergeben kann. Demgegenüber steht das Problem, dass die beim brandschutztechnischen Nachweis verwendeten komplexen Ingenieurmethoden häufig sehr zeitaufwendig sind, so dass die Anzahl der berechenbaren Szenarien limitiert ist. In der Regel ist es bei einer entsprechenden Nachweisführung erforderlich, dass aufgrund der Gebäudegeometrie, unterschiedlicher Nutzungen sowie Schutzzielen der Brand an verschiedenen Stellen im Gebäude anzunehmen ist. Daher ist es selbst mit der heutigen Leistungsfähigkeit von Computern und Lösungsverfahren unmöglich, zusätzlich weitere Szenarien mit und ohne auslegungsgemäße Wirkung der anlagentechnischen Maßnahmen zu simulieren. Eine wichtige Aufgabe ist es daher, aus den im Bild 8 gezeigten Szenarien das maßgebende herauszufiltern.

Maßgebend in diesem Fall bedeutet, dass das Szenario mit Abstand den größten Beitrag zum Gesamtrisiko im Hinblick auf das Schutzziel liefert. Es existieren zahlreiche Risikodefinitionen, wobei sich im Ingenieurwesen die Auffassung durchgesetzt hat, dass der Risikobeitrag eines Szenarios R_i, d. h. eines Astes im Ereignisbaum dem Produkt aus der Auftretenswahrscheinlichkeit p_i des Szenarios i (p = engl. Abk. für *„probability“*) und den monetär bewerteten Folgen C_i (engl. Abk. für *„consequence“*), also dem Schadensausmaß dieses Szenarios entspricht. Das Gesamtrisiko R ist die Summe aller Einzelbeiträge R_i.

$$R = \Sigma R_i = \Sigma (p_i \cdot C_i) \qquad (6)$$

Die Ermittlung des Schadensausmaßes ist wiederum eine hochkomplexe Aufgabe, die nur schwer im Rahmen eines brandschutztechnischen Nachweises geführt werden kann. Das Schadensausmaß muss immer auf ein konkretes Schutzziel bezogen werden. Der ingenieurgemäße Nachweis der Personensicherheit, geführt beispielsweise über eine Simulation der raucharmen Schicht oder der optischen Dichte im Bereich von Versammlungsstätten und anderen

Sonderbauten, kann einen anderen Bemessungsbrand erfordern, als ein brandschutztechnischer Nachweis der Tragkonstruktion des Gebäudes.

Bei der Ermittlung des Risikobeitrags R_i eines Szenarios sind verschiedene Fälle denkbar. Der typische und einleuchtende Fall ist das seltene Extremereignis $p_i \sim 0$ mit möglicherweise erheblichen Schadensfolgen $C_i \sim \infty$ (das sogenannte $0 \times \infty$ Problem der Risikoermittlung). Diese Fälle werden in der öffentlichen Wahrnehmung häufig als bemessungsrelevant angesehen (z. B. Flugzeugabsturz), während der umgekehrte Fall ($\infty \times 0$ Problem der Risikoermittlung) eines häufigen Ereignisses mit vergleichsweise geringen Schadensfolgen (z. B. Verkehrsunfälle) nur in begrenztem Umfang öffentliches Interesse hervorruft, auch wenn theoretisch möglich ist, dass der Risikobeitrag R_i gleich oder sogar höher ist. Liegt der Risikobeitrag R_i mehrerer Szenarien in ähnlicher Größenordnung, müssen alle diese Szenarien untersucht werden.

Das Schadensausmaß wird praktisch immer mit einer Schadenssumme in monetären Einheiten gleichgesetzt, es sind aber auch andere, schwerer in messbaren Einheiten fassbare Maßstäbe denkbar (z. B. Verlust von Kulturgut, Aussterben von Tierarten). Während eine monetäre Bewertung des Schadens für eine zusammengestürzte Tragkonstruktion prinzipiell möglich ist, stellt die Bewertung eines verlorenen Menschenlebens den Ingenieur vor ethische Probleme. Durch Ansätze wie den Life-Quality-Index [7] gibt es zwar Methoden, mit denen dies prinzipiell möglich wäre, für die tägliche Bemessungspraxis ist dieses Thema jedoch zu komplex, so dass die Entwicklung vereinfachter Bewertungs- und Bemessungsverfahren abgewartet werden muss.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher lediglich auf die Bewertung des Schadensausmaßes bei der Beanspruchung von Bauteilen durch hohe Temperaturen im Fall eines Brandes.

In diesem Fall ist das Schadensausmaß in erster Linie abhängig von den Sanierungs- bzw. Wiederherstellungskosten des Tragwerks, die sehr unterschiedlich ausfallen können und maßgeblich vom Baustoff, der Art der Ausbildung der Konstruktion und damit einhergehend seiner Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen abhängen. Am Beispiel einer Tragkonstruktion aus Stahl- oder Beton sollen verschiedene Stufen des Schadensausmaßes dargestellt werden:

- Stufe 1: Keine Beeinflussung des Tragwerks durch den Brand – Beseitigung der Brandspuren (z. B. Ruß an der Oberfläche) erforderlich,
- Stufe 2: Auftreten von Abplatzungen oder größere Verformungen – teilweise Sanierung, z. B. durch Austausch einzelner Elemente oder Aufbringen neuer Schutzschichten erforderlich,
- Stufe 3: Tragwerkseinsturz – Wiederaufbau erforderlich.

Neben den dargestellten Stufen sind auch zahlreiche Zwischenstufen denkbar, bei anderen Baustoffen hingegen können Stufen entfallen, so dass das Schadensausmaß für jedes konkrete Beispiel neu ermittelt werden müsste. Für die

Bemessungspraxis und die Festlegung des maßgeblichen Szenarios ist die genaue Vorgehensweise daher ungeeignet. Es ist daher erforderlich, das Szenario aufgrund von Abschätzungen in Anlehnung an die dargestellten Stufen zu identifizieren. Als Indikator für das Ausmaß eines Schaden kann die in einem Szenario erreichte Brandraumtemperatur dienen, beispielsweise kann in guter Näherung angenommen werden, dass nur solche Brandszenarien einen nennenswerten Schaden an Bauteilen verursachen oder ihre Tragfähigkeit gefährden können, bei denen diese 300 °C überschreitet.

Für die erste Abschätzung des Schadensausmaßes ist es nicht unbedingt erforderlich, hochkomplexe CFD-Modelle zu verwenden, je nach Anwendungsfall können auch Zonen- oder Plumemodelle eingesetzt werden. Ergibt diese Voruntersuchung, dass höhere Temperaturen in mehreren Szenarien erreicht werden, müssen zusätzlich die entsprechenden Auftretenswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden. Sind diese ebenfalls ähnlich, ist die Beschränkung des brandschutztechnischen Nachweises auf ein einzelnes maßgebendes Szenario streng genommen nicht möglich. Dies bedeutet, dass in einer genaueren Simulation alle Szenarien mit nennenswertem Risikobeitrag untersucht und die entsprechenden Nachweise geführt werden müssten. Szenarien in denen keine Temperaturen über 300 °C erreicht werden, könnten entfallen.

BEISPIEL

Die im vorherigen Abschnitt erläuterte Methodik soll anhand eines Beispiels veranschaulicht werden. Dazu wird ein Brand in einem Industriegebäude angenommen, dessen Tragkonstruktion im betroffenen Brandbekämpfungsabschnitt aus einem bekleideten Stahlträger besteht. Es wird angenommen, dass dieser sich über einem Lagerbereich befindet, der mit einer Sprinkleranlage geschützt ist, bei der lokalen öffentlichen Feuerwehr kann mit einer Vornahmezeit von 15 Minuten gerechnet werden.

Aus diesen Angaben müssen zunächst, beispielsweise mit den in Kapitel 7 des Leitfadens [8] oder in diesem Beitrag angegebenen Daten, Werte für die Zuverlässigkeit der angesetzten Maßnahmen bestimmt werden. Für den Löschangriff der öffentlichen Feuerwehr mit der beschriebenen Vornahmezeit und einer beherrschbaren Brandfläche von 200 m² ergibt sich die Ausfallwahrscheinlichkeit $p_{f,FW}$=0,2 , während für die Ausfallwahrscheinlichkeit der Sprinkleranlage nach Kapitel 7 $p_{f,Sprinkler}$=0,02 angenommen werden kann. Die zugehörigen Komplementärwahrscheinlichkeiten des Erfolgs bzw. der Funktion der Maßnahmen ergeben sich zu

$$p_{s,Sprinkler} = 1 - p_{f,Sprinkler} = 1 - 0{,}02 = 0{,}98 \quad (7)$$

$$p_{s,FW} = 1 - p_{f,FW} = 1 - 0{,}2 = 0{,}8 \quad (8)$$

Aus der internationalen Literatur (z. B. [9]) oder dem Nationalen Anhang zum Eurocode 1 Teil 1-2 [10] können Auftretenswahrscheinlichkeiten für Brände p_{BE}

in verschiedenen Nutzungen entnommen werden. Für das im Beispiel betrachtete Gebäude wird ein Wert von p_{BE} =0,006 pro Jahr angenommen.

Über das Versagen und die Funktion bzw. den Erfolg und Misserfolg der möglichen Maßnahmen ergeben sich die in Bild 9 gezeigten Szenarien SZ 1–3, wobei als Konvention festgelegt wird, dass ein an einer Barriere nach oben weisender Ast den Erfolg bzw. die Funktion der Maßnahme bedeutet, während ein nach unten weisender Ast für einen Misserfolg bzw. das Versagen steht. Die Auftretenswahrscheinlichkeiten der hier betrachteten Szenarien ergeben sich durch Multiplikation der Einzelwahrscheinlichkeiten, da Unabhängigkeit der Maßnahmen angenommen werden kann. Würde ein anderes Modell als jenes nach Bild 4 verwendet werden, wonach die Löschanlage nicht den Brand löscht, sondern nur kontrolliert, müsste der Löscherfolg der Löschanlage und der Feuerwehr überlagert werden, was die Ermittlung von bedingten Wahrscheinlichkeiten erfordern würde.

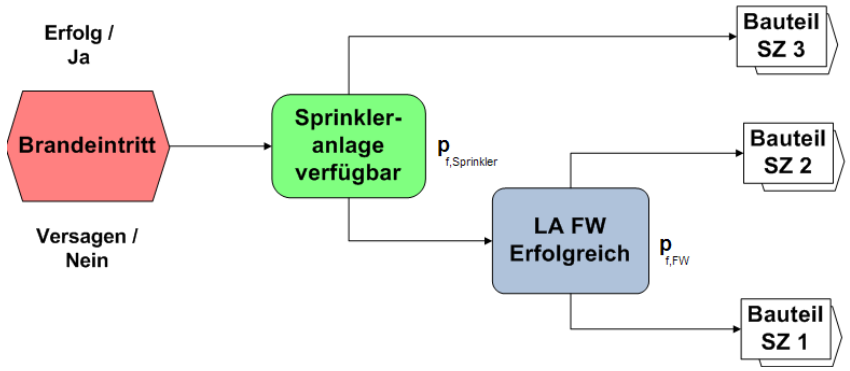


Bild 9 Ereignisbaum für das Beispiel

Das erste Szenario SZ 1 ergibt sich, wenn sowohl die Sprinkleranlage als auch der Löschangriff der Feuerwehr versagt. Die Auftretenswahrscheinlichkeit errechnet sich zu:

$$p_{SZ\,1} = p_{BE} \times p_{f,Sprinkler} \times p_{f,FW} = 0{,}006 \times 0{,}02 \times 0{,}2 = 2{,}4\times10^{-5} \quad (9)$$

Das Szenario SZ 2 tritt auf, wenn die Sprinkleranlage nicht verfügbar ist, dafür aber der Löschangriff der Feuerwehr erfolgreich ist. Für die gegebenen Annahmen ermittelt sich die Auftretenswahrscheinlichkeit zu:

$$p_{SZ\,2} = p_{BE} \times p_{f,Sprinkler} \times p_{s,FW} = 0{,}006 \times 0{,}02 \times 0{,}8 = 9{,}6\times10^{-5} \quad (10)$$

Das Szenario SZ 3 tritt auf, wenn die Sprinkleranlage auslöst und den Brand löscht. Die Auftretenswahrscheinlichkeit ergibt sich zu:

$$p_{SZ\,3} = p_{BE} \times p_{s,Sprinkler} = 0{,}006 \times 0{,}98 = 5{,}9\times10^{-3} \quad (11)$$

Die Auftretenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Szenarien sind sehr unterschiedlich. Den niedrigsten Wert hat erwartungsgemäß der Vollbrand, bei dem

alle Brandbekämpfungsmaßnahmen versagt haben. Genau viermal so groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei Nichtverfügbarkeit der Sprinkleranlage die Feuerwehr in der Lage ist, den Brand auf einer Fläche von 200 Quadratmetern zu bekämpfen, ohne dass er sich zu einem Vollbrand weiterentwickelt. Der häufigste Fall für die hier dargestellten Rechenannahmen und Modelle ist der, in dem die Sprinkleranlage den Brand kontrollieren und löschen kann. Die Auftretenswahrscheinlichkeit ist ca. 62-mal so groß wie die von Szenario 2 und 245-mal so groß wie die von Szenario 1.

Direkt von den ermittelten Auftretenswahrscheinlichkeiten auf das maßgebliche Szenario zu schließen wäre fatal. Bezogen auf die Tragkonstruktion sind z. B. ein möglicher Totalverlust beim Vollbrand im Szenario 1 und ein vernachlässigbarer Schaden im Szenario 3 zu vergleichen, wobei der Vollbrand in aller Regel auslegungsbestimmend sein wird.

In weniger eindeutigen Fällen kann auf den o. g. Anhaltswert einer Brandraumtemperatur von 300 °C zurückgegriffen werden. Erreichen die Brandraumtemperaturen aufgrund eines Brandszenarios diesen Wert nicht, kann davon ausgegangen werden, dass das Szenario keinen nennenswerten Beitrag zum Versagensrisiko der Konstruktion leistet. Das ist in der Regel bei auslegungsgemäßer Wirkung einer Sprinkleranlage erfüllt. Sachschutzaspekte wie Schädigung der Einrichtung des Gebäudes durch Löschwasser spielen hierbei keine Rolle.

Bei dem Szenario mit wirksamen Löschmaßnahmen der Feuerwehr ist die Entscheidung komplizierter, da je nach Vornahmezeit der Feuerwehr und Brandausbreitungsgeschwindigkeit bei Löschbeginn durchaus Temperaturen über 300 °C in Bauteilnähe auftreten können.

ÜBERPRÜFUNG DER ABSCHÄTZUNG

Eine Möglichkeit der Überprüfung der Erkenntnisse hinsichtlich des maßgeblichen Szenarios besteht in der Durchführung von Systemzuverlässigkeitsanalysen. Diese wurden in zahlreicher Form im Rahmen eines Forschungsvorhabens am iBMB durchgeführt, dessen Erkenntnisse unter anderem in [13] dargestellt sind.

Für die Durchführung einer Systemzuverlässigkeitsanalyse wird der Ereignisbaum zweckmäßigerweise in einen Fehlerbaum überführt, der nicht die möglichen Konsequenzen eines Ausgangsereignisses untersucht, sondern die einzelnen Ursachen (Versagenspfade) eines Systemversagens zurückverfolgt [11]. Mit dem Programmsystem SYSREL Professional [12] existiert ein Softwarepaket, das auf der Basis eines Fehlerbaums mit Hilfe von FORM/SORM den Zuverlässigkeitsindex β eines Systems berechnen kann. Voraussetzung ist, dass für die maßgebenden Parameter stochastische Modelle, d. h. Informationen über die Art und den Umfang der Streuung der Größe angegeben werden können. Weiterhin ist es erforderlich, die Ausfallwahrscheinlichkeiten der

Schutzmaßnahmen sowie die Wirkung der anlagentechnischen Maßnahmen auf das Brandszenario zu modellieren.

In Ergänzung der Betrachtungen bei der Ereignisablaufanalyse wird bei der Zuverlässigkeitsanalyse die Versagenswahrscheinlichkeit des Bauteils aufgrund der Wirkung des Brandszenarios berechnet. Dieses kann als eine Berechnung der Schadensfolgen angesehen werden, zumindest solange man näherungswiese unterstellt, dass höhere erreichte Temperaturen auch gleichzeitig einen höheren Schaden bedeuten. Grundlage der Berechnungen der Brandwirkungen in [13] waren die parametrischen Brandkurven nach [14] und Annahmen zur Wirkung der Schutzmaßnahmen (Sprinkleranlage, öffentliche Feuerwehr) auf das Brandszenario in Anlehnung an die Ausführungen im ersten Teil dieses Beitrags.

Ergebnis der durchgeführten Systemzuverlässigkeitsanalyse ist ein zeitabhängiger Verlauf des sogenannten Zuverlässigkeitsindexes β, der direkt mit der Versagenswahrscheinlichkeit des Systems verknüpft ist. Neben einer Systemanalyse ist auch die Durchführung von Analysen einzelner Versagenspfade bzw. einzelner Brandszenarien möglich.

Bild 10 zeigt das Ergebnis der Systemzuverlässigkeitsanalyse für das oben betrachtete System (vgl. Bild 9). Zusätzlich sind die Auswertungen für die einzelnen Szenarien dargestellt.

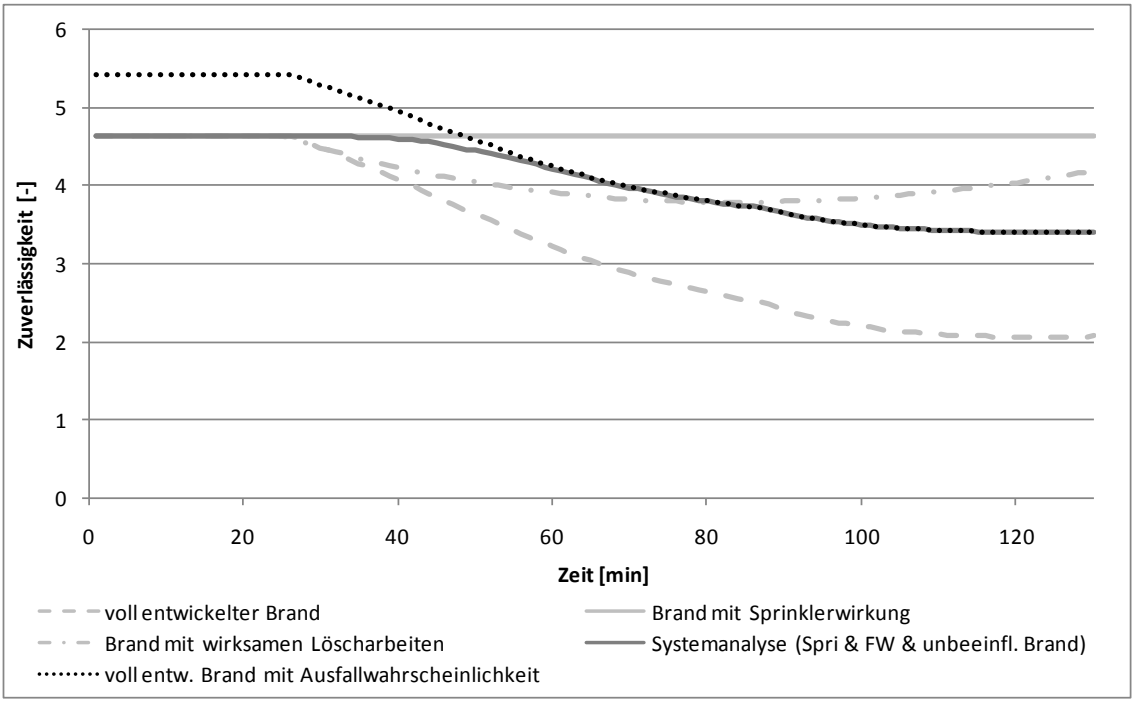


Bild 10 Ergebnisse der Systemzuverlässigkeitsanalyse für das zuvor untersuchte Beispiel; aufgetragen ist jeweils der zeitliche Verlauf des Zuverlässigkeitsindex im Brandfall β_{fi} für die einzelnen Szenarien und das Gesamtsystem

Erwartungsgemäß ist der Zuverlässigkeitsindex bei einem voll entwickelten Brand ohne Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen am kleinsten (grau gestrichelte Linie); der minimale Wert entspricht etwa einer bedingten Versagenswahrscheinlichkeit des Bauteils von 2 %. Ist die Vornahmezeit der öffentlichen Feuerwehr kurz, sind erhebliche Sicherheitsgewinne gegenüber dem voll entwickelten Brand möglich (grau strichpunktierte Linie).

Die höchste Zuverlässigkeit bei einem Einzelszenario ist möglich, wenn die Sprinkleranlage Wirkung zeigt (durchgezogene graue Linie). Daran, dass die Linie ohne Einbruch auf konstantem Niveau läuft, ist zu erkennen, dass in diesem Fall keine Temperaturen auftreten, die ein Bauteil gefährden könnten.

Bei Rekapitulation des Ergebnisbaums aus Bild 8 wird schnell klar, dass für den brandschutztechnischen Nachweis diese einzelnen Modelle nicht ausreichend sind. Das Ergebnis der Analyse für das Gesamtsystem bestehend aus den verschiedenen Brandszenarien bei Wirkung der Schutzmaßnahmen und dem voll entwickelten Brand bei deren Ausfall zeigt die durchgezogene dunkelgraue Linie. Aus den Abweichungen ist ersichtlich, dass keines der Einzelszenarios allein die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems zutreffend wiedergibt und daher als maßgebendes Szenario angesehen werden kann.

Die schwarz punktierte Linie zeigt das Ergebnis einer Zuverlässigkeitsanalyse, bei der lediglich die Elemente aus Szenario 1, also der vollentwickelten Brand sowie die Ausfallwahrscheinlichkeiten der Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden. Wie zu erkennen ist, sind die Kurven der Systemanalyse und der Analyse von Szenario 1 zum maßgebenden Zeitpunkt der geringsten Zuverlässigkeit nahezu deckungsgleich. Es ist daher davon auszugehen, dass dieses Szenario für das hier modellierte bekleidete Stahlbauteil das maßgebende ist.

Die Erkenntnisse lassen sich aufgrund eines ähnlichen Erwärmungsverhaltens in guter Näherung auf Betonbauteile übertragen.

BERÜCKSICHTIGUNG VON ANLAGENTECHNISCHEN MASSNAHMEN IM AKTUELLEN NORMENWERK

Die in den vorherigen Abschnitten dargestellten Ergebnisse und Erkenntnisse decken sich mit denen früherer Untersuchungen und Annahmen die bereits in Normen, wie der DIN 18230 eingeflossen sind. Aufgrund neuer Möglichkeiten in der Computertechnik und der probabilistischen Modellierung konnte die bisherige Vorgehensweise bestätigt werden.

Im Berechnungsverfahren der DIN 18230-1 [15] „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ wird der Bemessung ebenfalls ein vollentwickelter Brand ohne den Einfluss von Schutzmaßnahmen zugrundegelegt. Diese finden durch einen Bewertungsfaktor α_L auf die äquivalente Branddauer Berücksichtigung, was de facto einer Reduktion des erforderlichen Sicherheitsbeiwertes entspricht.

Das im Gelbdruck des Nationalen Anhangs zum Eurocode 1 Teil 1-2 (DIN ENV 1991-1-2/NA) enthaltene Sicherheitskonzept geht einen ganz ähnlichen Weg. Auf Grundlage der Erkenntnisse aus dem vorherigen Abschnitt wurde festgelegt, dass im Allgemeinen ebenfalls von einem vollentwickelten Brand ausgegangen werden kann. Die anlagentechnischen und abwehrenden Schutzmaßnahmen gehen mit ihrer Ausfallwahrscheinlichkeit in die Bestimmung einer erforderlichen Zielzuverlässigkeit im (Voll-)Brandfall ein als Eingangswert für die Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten für die maßgebenden Einflussgrößen der Brandeinwirkungen, die Brandlastdichte und die Wärmefreisetzungsrate.

Ist zu erwarten, dass ein wahrscheinlicheres Szenario unter Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen einen größeren Risikobeitrag als der voll entwickelte Brand bei Ausfall der Schutzmaßnahmen leisten könnte, kann der Nachweis mit diesem Sicherheitskonzept ebenfalls geführt werden. Bei der Festlegung der Zielzuverlässigkeit würde die im Brandszenario enthaltene Maßnahme dann nicht berücksichtigt werden, was zu höheren Teilsicherheitsbeiwerten führt. Der brandschutztechnische Nachweis würde dann mit einer höheren Brandbeanspruchung erfolgen.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird zunächst die Wirkung von anlagentechnischen und abwehrenden Schutzmaßnahmen auf Bemessungsbrände vorgestellt. Da die Ausfallwahrscheinlichkeit von Schutzmaßnahmen einen erheblichen Einfluss auf das Sicherheitsniveau hat, werden die aktuellen Erkenntnisse über entsprechende Zahlenwerte zusammengestellt.

Der zweite Teil befasst sich mit der Problematik der Interaktion verschiedener Schutzmaßnahmen und ihrer Wirkung auf ein Brandereignis. Weiterhin wird der Frage nachgegangen, wie aus einer Reihe von Brandszenarien, die sich aufgrund der Funktion oder Nicht-Funktion bzw. Wirkung oder Nicht-Wirkung der Schutzmaßnahmen einstellen können, das im Hinblick auf ein bestimmtes Schutzziel maßgebende Szenario ermittelt werden kann.

Eine wesentliche Erkenntnis des Beitrags ist, dass bezogen auf den brandschutztechnischen Nachweis der Tragkonstruktion in der Regel ein voll entwickelter Brand, bei Ausfall der anlagentechnischen und abwehrenden Maßnahmen, als das maßgebende Szenario angesehen werden kann. Für den brandschutztechnischen Nachweis ist dann die sehr geringe Auftretenswahrscheinlichkeit dieses Szenarios, zu berücksichtigen, die sich im einfachsten Fall bei gegenseitiger Unabhängigkeit der einzelnen Schutzmaßnahmen durch Multiplikation der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Entstehungsbrandes und der Ausfallwahrscheinlichkeiten der Schutzmaßnahmen errechnet.

Die Vorgehensweise, die beispielsweise in der DIN 18230-1 und dem Nationalen Anhang zum Eurocode 1 Teil 1-2 verfolgt wird, konnte mit den Erkenntnissen aus den vorliegenden Untersuchungen bestätigt werden.

Es bleibt darauf hinzuweisen, dass bislang die Relevanz des Szenarios eines voll entwickelten Brandes allein für den brandschutztechnischen Nachweis der Tragkonstruktion nachgewiesen wurde. Auf den Nachweis anderer Schutzziele, beispielsweise der Personensicherheit über die Simulation der Rauchausbreitung und der Entfluchtung, sind das dargestellte Verfahren und die Anforderungen aufgrund anderer Randbedingungen und Risikomodelle nicht übertragbar. Unter Umständen kann für das Beispiel des Nachweises der Personensicherheit auch ein Brandszenario unter Berücksichtigung der Wirkung anlagentechnischer Schutzmaßnahmen angemessen sein. Solange kein diesbezügliches Sicherheitskonzept existiert, ist der Planer gefordert, auf der sicheren Seite liegende Bemessungen und Nachweise zu garantieren. Um hier rasch Planungssicherheit zu erhalten, sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich.

LITERATUR

[1] Risikoangepasste Reaktion der Feuerwehren auf automatische Meldungen aus Brandmelde- und Sprinkleranlagen. Entwurf einer vfdb-Richtlinie, Fassung März 2002. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Technisch-Wissenschaftlicher Beirat, 2002.

[2] Hosser, D.; Dobbernack, R.; Siegfried, W.: Rauchabzug in ausgedehnten Räumen ohne und mit Sprinkleranlage – am Beispiel des Industriebaus. vfdb, 46. Jahrgang, 4 / 97, S. 147 - 152.

[3] VdS Schadenverhütung: Jahresbericht 1990 / 91, Köln, 1991

[4] Nash, P.; Young, R. A.: Automatic Sprinkler Systems for Fire Protection. 2nd Edition, Paramount Publishing, 1991.

[5] Dehne, M.: Ein übergreifendes Sicherheitskonzept für den vorbeugenden Brandschutz. In: Braunschweiger Brandschutz-Tage ’03, Braunschweig, 30.September und 1. Oktober 2003, Kurzreferate. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 168, 2003, 11 - 40.

[6] DIN 25149: Ereignisablaufanalyse; Verfahren, graphische Symbole und Auswertung. Beuth Verlag, Berlin, November 1985.

[7] Rackwitz, R.; Streicher, H.: “Optimization and Target Reliabilities”. JCSS Workshop on Reliability Based Code Calibration, Zürich, März 2003.

[8] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) und D. Hosser (Hrsg.), 2009.

[9] Baldwin, R.: A statistical approach to the spread of fire in buildings. Fire Research Note 900, November 1970.

[10] E DIN EN 1991-1-2/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter — Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2/NA: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Entwurf Juni 2009.

[11] DIN 25424: Fehlerbaumanalyse; Handrechenverfahren zur Auswertung eines Fehlerbaumes. Beuth Verlag, Berlin, April 1990.

[12] Reliability Consulting Programs (RCP).: STRUREL, a Structural Reliability Analysis Program-System, COMREL & SYSREL: Users Manual. Munich: RCP Consult, 2004.

[13] Klinzmann, C.; Hosser, D.: Berücksichtigung abwehrender und anlagentechnischer Maßnahmen beim brandschutztechnischen Nachweis von Bauteilen, vfdb-Zeitschrift (2), April 2009.

[14] Zehfuß, J.; Hosser, D.: A parametric natural fire model for the structural fire design of multi-storey buildings, Fire Safety Journal 42 (2007), 115-126.

[15] DIN 18230-1:1998-05 Baulicher Brandschutz im Industriebau - Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer.

[16] Yung, David, Principles of Fire Risk Assessment in Buildings, Wiley & Sons, 2009.

BEISPIELE ZUR ANWENDUNG DES LEITFADENS BEI DER ERSTELLUNG VON LEISTUNGSORIENTIERTEN BRANDSCHUTZNACHWEISEN

Volker Hohm und Cornelius Albrecht
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EINLEITUNG

Bei vielen Sonderbauten der modernen Architektur ist ein Nachweis des Brandschutzes anhand der präskriptiven Vorgaben des Gesetzgebers, beispielsweise der Landesbauordnungen, nicht ohne Weiteres möglich. Auch Kompensationsmaßnahmen lassen sich nicht immer erfolgreich einsetzen, da die Gebäude teils stark von den gesetzlichen Forderungen abweichen. Die allgemeinen Schutzziele des Brandschutzes können jedoch unter dem Einsatz von Ingenieurmethoden im Rahmen von leistungsorientierten Brandschutzkonzepten nachgewiesen werden. Diese fortschrittlichen Ingenieurmethoden und deren Anwendung sowie Eingangsgrößen sind allerdings nicht normativ festgelegt, sodass häufig Unklarheiten bestehen und Ergebnisse in Frage gestellt werden.

Aufgrund der Notwendigkeit, für ein Gebäude besonderer Art oder Nutzung ein funktionierendes Brandschutzkonzept vorlegen zu müssen, sind die zuständigen Bauaufsichtsbehörden und Brandschutzdienststellen grundsätzlich bereit, den Einsatz solcher leistungsorientierten Methoden anzuerkennen. Sie verlangen jedoch zu Recht, dass die Nachweise mit nachvollziehbaren und belegten Eingangswerten und Verfahren erbracht werden und zu einem brandschutztechnischen Sicherheitsniveau führen, welches mit dem der präskriptiven Vorgaben des Gesetzgebers (für Standardgebäude) vergleichbar ist. Die Nachweise hierfür werden über die Erfüllung der allgemeinen gesetzlichen Schutzziele geführt, die in den Bauordnungen der Länder festgeschrieben sind. Als Beispiele seien u. a. die §§ 3 und 14 der Musterbauordnung [2] genannt.

Eine Hilfestellung bietet hier der Technische Bericht TB 04-01 „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ [1], der vom Referat 4 der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) erarbeitet wurde und im Mai 2009 in der 2. Auflage erschienen ist. Er beschreibt die Methoden und Annahmen zur Erstellung leistungsorientierter Brandschutznachweise mit Ingenieurmethoden nach dem aktuellen Stand der Technik.

Die Grundlagen und Voraussetzungen für brandschutztechnische Nachweise mit Ingenieurmethoden werden in Kapitel 1 des Leitfadens und die generellen und ggf. speziellen Schutzinteressen und Schutzziele in Kapitel 3 dargestellt. Hier werden funktionale Anforderungen, zum Beispiel die Forderung nach Standsicherheit, mit den grundsätzlichen Schutzzielen verknüpft. Diese funktionalen Anforderungen können wiederum mit Leistungskriterien in Verbindung gebracht werden. Auf das Beispiel der funktionellen Forderung nach Standsicherheit bezogen, bedeutet dies z. B. die Sicherstellung der strukturellen Integ-

rität über eine festgelegte Branddauer bei Beanspruchung durch die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) [3]. Diese Leistungskriterien bieten dem Brandschutzplaner nun die Möglichkeit eines (mathematischen) Nachweises der Leistungskriterien durch die Anwendung von Rechenmethoden nach dem aktuellen Stand der Technik. Die erforderlichen Grundlagen und Methoden werden in den Kapiteln 4 bis 10 des Leitfadens beschrieben.

Im Folgenden soll nun anhand zweier ausgewählter Beispiele aus der Praxis mit unterschiedlichen Schutzzielen das Vorgehen mit dem Leitfaden aufgezeigt werden. Dabei sollen sowohl die Modelle als auch die Eingangsgrößen und Bewertungskriterien für die anschließend durchzuführenden brandschutztechnischen Nachweise hergeleitet werden.

BEISPIEL 1: NACHWEIS DER PERSONENSICHERHEIT

Zunächst wird ein Beispiel zum Schutzziel „Personensicherheit“ betrachtet, welches im Beitrag von Mahlmann [4] detailliert beschrieben ist und für das dort die erforderlichen brandschutztechnischen Nachweise geführt werden. Der Weg zu den verwendeten Eingangsgrößen und Bewertungskriterien der durchgeführten Nachweise wird im Folgenden - in Übereinstimmung mit dem Ablaufschema in Kapitel 1 des Leitfadens - beschrieben.

Erfassung des Gebäudes und der Nutzer nach Kapitel 2

Für einen Nachweis mit Ingenieurmethoden ist es zunächst grundlegend, alle Randbedingungen zu sammeln, die in den Modellen zu berücksichtigen sind. Neben Informationen über die Nutzer sind dies die brandschutztechnisch relevanten Gebäudedaten, die mithilfe der weitreichenden Checklisten in Kapitel 2 des Leitfadens erfasst werden können. Diese Randbedingungen können unter anderem sein:

- Gebäudestruktur,
- Gebäudeinhalt,
- Brandschutztechnische Infrastruktur,
- Umgebungseinflüsse,
- Nutzer.

Bei dem betrachteten Gebäude handelt es sich um den Bestandsbau der „Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland“ (KAH). Im Rahmen des Projektes „Umsetzung leistungsorientierter Vorschriften“ [5] wurde exemplarisch überprüft, ob Empfänge oder Veranstaltungen im Foyer des Gebäudes mit bis zu 1.200 Personen aus brandschutztechnischer Sicht unbedenklich sind. Anhand der Checklisten lassen sich nun systematisch die gebäudebezogenen Daten aufnehmen. Ein besonderes Augenmerk muss auf die Erfassung der Personen der geplanten Veranstaltungen gelegt werden. In der

Checkliste „Nutzer“ in Kapitel 2.6 des Leitfadens werden einige wichtige Punkte, wie die Vertrautheit mit dem Gebäude und die Aufmerksamkeit, abgefragt, denn diese Faktoren, die später bei der Entfluchtungssimulation berücksichtigt werden müssen, können maßgeblichen Einfluss auf die sog. Pre-Movementzeit, d. h. die Zeitspanne zwischen Alarmierung der Personen und Beginn der Entfluchtung, haben.

Aber auch Daten zum Gebäude, beispielsweise die Grundfläche von 914 m² und die Höhe von 9,05 m sowie die sechs Notausgänge, und zur vorhandenen brandschutztechnischen Infrastruktur, z. B. die kreisrunden, ausschließlich über das Bedientableu der Feuerwehr zu öffnenden Entrauchungsöffnungen oder die flächendeckende Sprinklerung des Foyers, sind wichtige Eingangsdaten für eine realistische Szenarienentwicklung.

Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, die Gebäude- und Nutzerdaten bzw. die Eingangsdaten im Allgemeinen so genau wie möglich zu erfassen. Ein besonderes Augenmerk ist hierbei auf das (die) nachzuweisende(n) Schutziel(e) zu legen, um zu konservative Annahmen einerseits und zu progressive Erwartungen andererseits bereits im Vorhinein auszuschließen.

Schutzziele und Leistungskriterien nach Kapitel 3 und 8

Schutzziel im Hinblick auf die Personensicherheit, dessen Erreichen es nachzuweisen gilt, ist die Forderung nach dem Schutz des Lebens und der Gesundheit von Menschen (und Tieren). Es ist als das oberste bauaufsichtliche Schutzziel zu sehen und ist an vorderer Stelle jeder Bauordnung, z. B. in § 3 der Musterbauordnung (MBO), verankert. Dieses zunächst qualitative Schutzziel ist nun in eine funktionelle Anforderung an das Bauwerk umzusetzen. In Kapitel 3 des Leitfadens lässt sich hierzu z. B. in Tabelle 3.1 die funktionale Anforderung finden, nämlich die Vermeidung von Personenschäden.

Spezifiziert wird dies dann in Tabelle 3.4, wo für die Sicherheit der Personen die funktionellen Anforderungen

- Nachweis der rechtzeitigen Entfluchtung des Gebäudes,
- Nachweis der Sicherheit der Personen vor Auswirkungen des Brandes und
- Nachweis der Standsicherheit für die Dauer der Entfluchtung

angegeben werden. Die Standsicherheit wird in der statischen Berechnung nachgewiesen und wird für diesen Fall für die Dauer der Entfluchtung vorausgesetzt. Die Forderungen nach der rechtzeitigen Entfluchtung des Gebäudes und die Nachweise der Personensicherheit vor den Auswirkungen des Brandes können nun anhand von Kapitel 8 und 9 in zahlenmäßige Leistungskriterien überführt werden. So lassen sich in Kapitel 8 für verschiedene Kriterien Anhaltswerte in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer und weitergehenden Angaben finden. Für dieses Beispiel wurde als Grenzwert für die Personensicherheit eine Erkennungsweite (auch Sichtweite) von 15 m auf Kopfhöhe der fliehenden Per-

sonen (h = 2m) gewählt. Dies deckt laut Kapitel 8.2 gesundheitsschädliche Rauchgasintoxikationen auf der sicheren Seite ab und ist aufgrund der Raumhöhe und der Übersichtlichkeit des Foyers zu vertreten.

Wahl eines Brandszenarios und eines Bemessungsbrandes nach Kapitel 4

Um die Erkennungsweiten während des Brandes zu ermitteln, muss zunächst ein realistisches Brandszenario gefunden werden. Hierzu ergeben sich aus Kapitel 4 des Leitfadens die erforderlichen Angaben und Hintergrundinformationen zur Szenarienwahl. Für den Bemessungsbrand stehen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten der Definition zur Verfügung. Einerseits ist die Vorgabe einer Normbrandbeanspruchung, beispielsweise der ETK, möglich, die jedoch in vielen Fällen von Sonderbauten - wie auch im vorliegenden Beispiel - eher ungeeignet ist. Alternativ lässt sich der Brandverlauf über einen individuellen Zeitverlauf der Wärmefreisetzungsrate entsprechend der real vorliegenden Situation darstellen. Auch hier lässt sich nochmals zwischen einem vereinfachten und einem detaillierten Vorgehen unterscheiden. Beim vereinfachten Vorgehen wird ein standardisierter Verlauf, der sogenannte α-t^2-Ansatz, verwendet und mithilfe von Brandentwicklungsgeschwindigkeit, maximaler Wärmefreisetzungsrate und vorhandener Gesamtwärmemenge der Brandverlauf entwickelt. Beim detaillierten Vorgehen können zusätzlich noch einzelne Brandlasten in ihren zugehörigen Mengen, Heizwerten und Verbrennungseffektivitäten sowie Schadgasausbeuten (Yields) etc. berücksichtigt werden.

Ausgehend von den während der Gebäudeerfassung gewonnenen Informationen wurde ein Brandszenario für das Foyer im Museumsshop entwickelt. Aus den Tabellen im Anhang zu Kapitel 4 des Leitfadens sowie Überlegungen zum möglichen Brandverlauf unter Einbeziehung der aufgenommenen brandschutztechnischen Infrastruktur, beispielsweise flächendeckende Sprinklerung, lässt sich die maximale Wärmefreisetzungsrate zu $\dot{Q}_{max}$ = 3 MW bestimmen. Für das Beispiel wurde der α-t^2-Ansatz mit einer mittleren Brandentwicklungsdauer von 300 Sekunden gewählt, welcher im Leitfaden formelmäßig beschrieben und für den Einsatzzweck geeignet ist. Die Brandlastarten und -mengen, die für das Szenario maßgebend sind und durch die Gebäudeaufnahme erfasst wurden, werden damit in der Summe abgedeckt.

Ferner wurde für das Szenario festgelegt, dass die Notausgänge durch fliehende Personen nach 60 s geöffnet werden. Für die nicht-automatisch öffnenden Entrauchungsöffnungen wurde darüber hinaus festgelegt, dass diese nach 8 Minuten (480 s) manuell von der eintreffenden Feuerwehr aktiviert werden. Für die zu bestimmende Erkennungsweite wurde festgelegt, dass die Werte für ein lang nachleuchtendes (lichtreflektierendes) Rettungswegkennzeichen bestimmt werden. Obwohl sich gemäß Kapitel 8 des Leitfadens hinterleuchtete (selbstleuchtende) Rettungswegkennzeichen bedeutend vorteilhafter verhalten, wurde im zugrunde gelegten Brandszenario diese konservativere Vorgehensweise gewählt. An dieser Stelle zeigt sich der bedeutende Einfluss einer geeigneten Wahl des Bemessungsbrandszenarios. Über die Gebäudeerfassung (Ka-

pitel 2), bei der z. B. aufgenommen werden kann, welche Art Rettungswegkennzeichen vorhanden sind, hinausgehend sind ferner auch Überlegungen hinsichtlich möglicher zukünftiger Gegebenheiten realisierbar. Damit kann das Brandszenario vollständig beschrieben werden, und es stehen die wichtigsten Eingangsparameter für die anschließende Brandsimulation zur Verfügung.

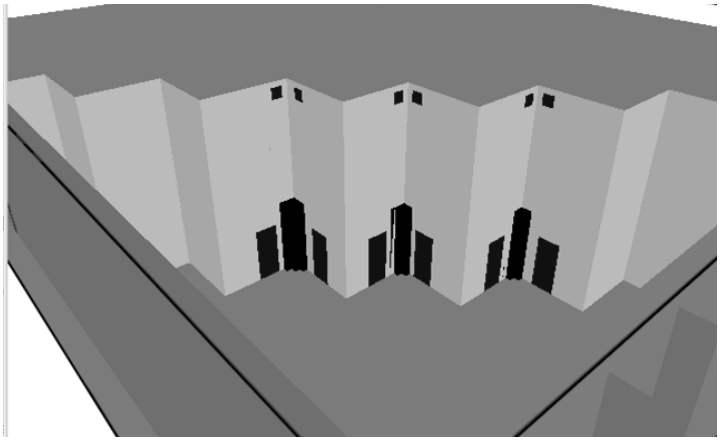


Bild 2: Eingangsbereich mit Notausgängen und Entrauchungsöffnungen

Numerische Simulation des Brandes nach Kapitel 5

Zur Durchführung der numerischen Brandsimulation stellt Kapitel 5 die wichtigsten Grundlagen zur Verfügung. Die verschiedenen verfügbaren Modelle werden beschrieben und die physikalischen und mathematischen Grundlagen sowie die Verwendungszwecke und Anwendungsgrenzen dargestellt. Dies gibt dem Planer einen guten Überblick über die zur Verfügung stehenden Methoden, deren Aufwand bei der Umsetzung und die zu erwartende Güte der Berechnungsergebnisse und ermöglicht eine geeignete Wahl der Simulationsmethode für den leistungsorientierten Brandschutznachweis. Im vorliegenden Beispiels zur Personensicherheit und des Nachweises über die Erkennungsweiten ist zu erwarten, dass eine numerische CFD (Strömungs)-Simulation die besten Ergebnisse für den Verwendungszweck liefern wird, wenngleich hiermit ein relativ hoher Aufwand verbunden ist. Für die Simulation des in Bild 2 dargestellten Szenarios wurde das CFD-Programm FDS [6] gewählt. Zu- und Abluft wurden im Modell realitätsnah über die Notausgänge und die Entrauchungsöffnungen abgebildet.

Des Weiteren bietet Kapitel 5 Anhaltspunkte für die Erstellung des erforderlichen Rechenmodells, z. B. bei der Festlegung der Gitterauflösung und der Umsetzung des zuvor entwickelten Brandszenarios, und zeigt die Möglichkeiten und Gefahren bei der Ergebnisinterpretation auf. Ferner lassen sich weitere Eingangswerte, wie Schadstoffausbeuten (Yields) aus umfangreichen Tabellen ergänzen. Im Falle des Beispiels wurde eine Rauchausbeute von 0,055 g/g gewählt, was für eine Mischbrandlast aus Holz und Kunststoff realistisch ist (vgl. Tabelle 4.9). Dies sind die dominierenden Brandlasten, die bei der Gebäudeaufnahme festgestellt wurden. Das Foyer wurde durch kubische Volumina mit einer Kantenlänge von 0,25 m diskretisiert, was für das vorliegende Szenario

einer guten Abwägung zwischen Rechendauer und Genauigkeit entspricht. Eine generelle Übertragbarkeit des Wertes für die Gitterauflösung ist nicht gegeben. Vielmehr ist dieser Parameter durch eine Vorabuntersuchung für jedes Szenario bzw. jeden Nachweis stets wieder neu zu ermitteln.

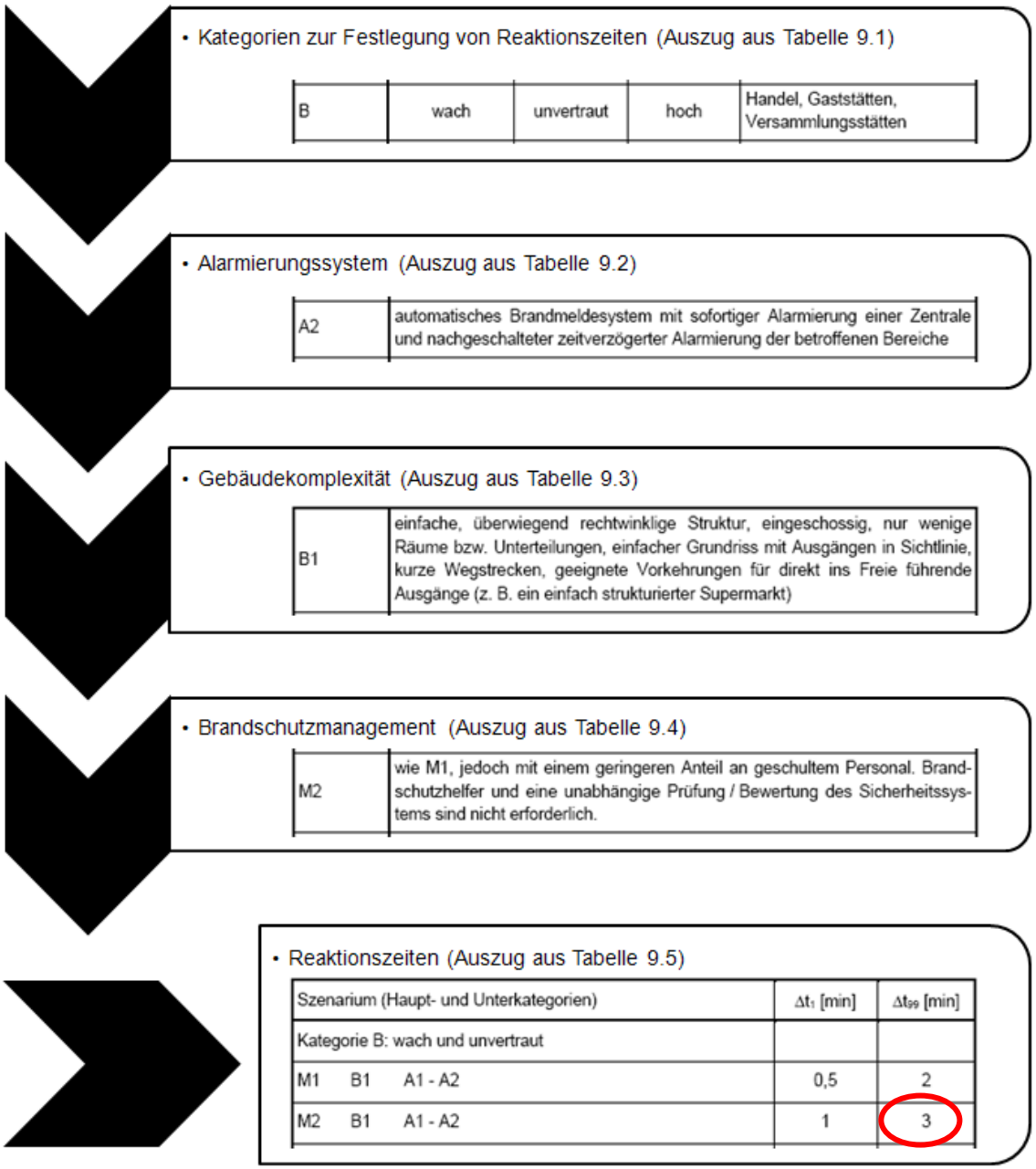
Für das sogenannte Post-Processing, also die Aufbereitung und Auswertung der berechneten Simulationsergebnisse, bietet das Kapitel 5 des Leitfadens Hinweise zur Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse, um die Nachvollziehbarkeit und Prüfbarkeit der Simulationsergebnisse durch Dritte, beispielsweise die Bauaufsicht, zu vereinfachen und zu standardisieren. Die detaillierten Ergebnisse der Simulationen und die Darstellung des vorliegenden Beispiels können in [5] und [4] eingesehen werden. Die Simulationen zeigen, dass eine Erkennungsweite von 15 m auf Basis des gewählten Szenarios und Brandmodells in einer Höhe von 2 m (s. Kapitel 8 des Leitfadens) außerhalb des Plumebereiches bis zu einer Branddauer von 420 Sekunden nicht wesentlich und dauerhaft unterschritten wird. Damit kann man eine verfügbare sichere Fluchtzeit von ca. 7 Minuten unterstellen.

Berechnung der erforderlichen Räumungsdauer nach Kapitel 9

Der berechneten verfügbaren Zeit während eines Brandes muss die benötigte Zeit zur vollständigen Räumung des Brandabschnittes in einen sicheren Bereich gegenübergestellt werden, um letztlich den Nachweis der Personensicherheit erbringen zu können.

Hierzu sind analog zum Brandszenario diverse Eingangsparameter festzulegen, die teilweise erheblichen Einfluss auf die berechnete Räumungsdauer haben können. Viele der benötigten Parameter wie die Anzahl der Personen, Populationsparameter (z. B. Alterstruktur) und Aufmerksamkeit sind bei der Abarbeitung der Checkliste „Nutzer“ bei der Gebäudeerfassung bereits festgestellt worden.

In Kapitel 9 werden die Grundlagen der Personenstromanalyse dargestellt. Diese teilt sich zunächst in die vier grundlegenden Intervalle Detektions-, Alarmierungs-, Reaktions- und Fluchtdauer auf. Die ersten drei Intervalle werden häufig zusammengefasst und als Pre-Movementzeit angegeben, die mit Hilfe der in Kapitel 9 dargestellten Tabellen realitätsnah gewählt werden kann. Das Kapitel enthält Tabellen, in denen diverse Kriterien wie das vorhandene Alarmierungssystem, die Gebäudekomplexität und die erwartete Aufmerksamkeit der Gebäudenutzer berücksichtigt werden. Ferner wird auf weiterführende Literatur verwiesen, die den Zahlenwerten zugrunde liegt, um dem Planer eine eigene Einschätzung der gewählten Annahmen zu ermöglichen. Hier zeigt sich erneut die Bedeutsamkeit einer detaillierten Erfassung des Gebäudes für die Erstellung von leistungsorientierten Brandschutznachweisen. Aufgrund der im Gebäude vorhandenen Gegebenheiten kann anhand der Tabellen in Kapitel 9 eine Pre-Movementzeit von 180 Sekunden für das Foyer angenommen werden (s. Bild 3).



• Kategorien zur Festlegung von Reaktionszeiten (Auszug aus Tabelle 9.1)

B	wach	unvertraut	hoch	Handel, Gaststätten, Versammlungsstätten

• Alarmierungssystem (Auszug aus Tabelle 9.2)

A2	automatisches Brandmeldesystem mit sofortiger Alarmierung einer Zentrale und nachgeschalteter zeitverzögerter Alarmierung der betroffenen Bereiche

• Gebäudekomplexität (Auszug aus Tabelle 9.3)

B1	einfache, überwiegend rechtwinklige Struktur, eingeschossig, nur wenige Räume bzw. Unterteilungen, einfacher Grundriss mit Ausgängen in Sichtlinie, kurze Wegstrecken, geeignete Vorkehrungen für direkt ins Freie führende Ausgänge (z. B. ein einfach strukturierter Supermarkt)

• Brandschutzmanagement (Auszug aus Tabelle 9.4)

M2	wie M1, jedoch mit einem geringeren Anteil an geschultem Personal. Brandschutzhelfer und eine unabhängige Prüfung / Bewertung des Sicherheitssystems sind nicht erforderlich.

• Reaktionszeiten (Auszug aus Tabelle 9.5)

Szenarium (Haupt- und Unterkategorien)	Δt_1 [min]	Δt_{99} [min]
Kategorie B: wach und unvertraut		
M1 B1 A1 - A2	0,5	2
M2 B1 A1 - A2	1	3

Bild 3: Bestimmung der Pre-Movementzeit aus den Tabellen 9.1 bis 9.5

Für den Nachweis der Fluchtdauer, also der Zeit der aktiven Flucht, bietet der Leitfaden einen übersichtlichen Vergleich über aktuelle Methoden. Neben der Beschreibung von Formeln zur Abschätzung der Fluchtdauer stellt der Leitfaden erweiterte Handrechenmodelle dar und gibt eine Übersicht über jene Modelle, die für mikroskopische Entfluchtungssimulationen (sogenannte Individualmodelle) zur Verfügung stehen. Auch hier werden analog zu den Brandsimulationsmodellen in Kapitel 5 Vor- und Nachteile sowie Anwendungsgrenzen aufgezeigt, um dem Anwender die Wahl eines geeigneten Modells zu erleichtern. Abschnitt 9.4.5 bietet darüber hinaus Hinweise zur Validierung und qualitativen Bewertung der berechneten Ergebnisse. Durch die hohe Personenanzahl, die

während der geplanten Empfänge im Foyer zu erwarten ist, und die Gebäudekomplexität sowie die Eingangstürbreiten, die laut MVStättV [7] für dieses Szenario nicht zulässig sind, fiel die Entscheidung zugunsten eines komplexeren Modells für die rechnerische Bestimmung der Fluchtdauer. Bei fehlenden Angaben oder zur zahlenmäßigen Unterlegung von qualitativen Parametern (z. B. Gehgeschwindigkeiten für eine bestimmte Population) bieten Kapitel 9 und die dort zitierten Literaturstellen eine gute Informationsgrundlage. Die Durchführung der numerischen Entfluchtungssimulation auf Basis des Modells FDS+evac (vgl. Bild 4) ergab unter Beachtung aller Parameter eine Fluchtdauer von etwa 220 s für die zufallsgeneriert verteilten 1362 Personen. Letztere wurden aus der gemäß Leitfaden zugrunde gelegten Personendichte von 2 P. pro m² simulierter Grundfläche des Foyers abgeleitet.

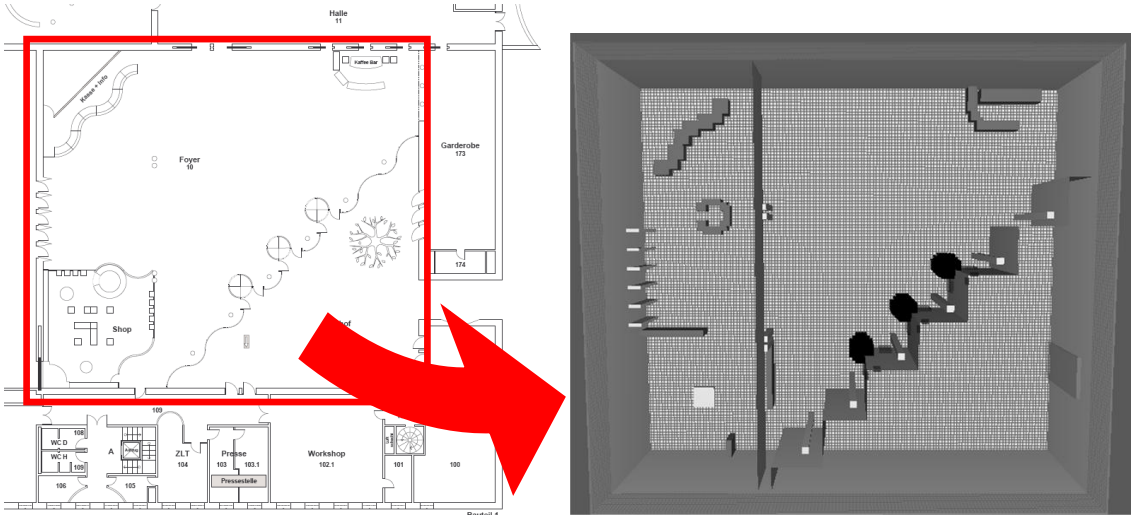


Bild 4: Simulation des Foyers in FDS

Die Geometrie der Umfassungsbauteile und der Einbauten sind bei solcher Art Berechnungen – wie im Übrigen auch bei den vorgenannten Brandsimulationen die vorhandenen, konkret kreisrunden Entrauchungsöffnungen – in jeder Simulation geeignet anzupassen, wobei ein Maximum an Vereinfachung bei einem Minimum an nachteiliger Beeinflussung anzustreben ist. Beispielsweise waren im vorliegenden Beispiel die tatsächlich 0,90 m breiten Notausgänge mittels vier Zellen, d. h. 1,00 m Durchgangsbreite, abzubilden.

Durch die Addition von Pre-Movementzeit und Fluchdauer ergibt sich die Gesamträumungsdauer, die für den leistungsorientierten Nachweis maßgebend ist. In diesem Fall wurde auf Grundlage der dargestellten Annahmen und Modelle eine Gesamträumungsdauer von 400 Sekunden errechnet.

Zusammenfassung und Bewertung in Anlehnung an Kapitel 1

Der leistungsorientierte Nachweis der Erreichung des Schutzziels Personensicherheit kann nun durch Gegenüberstellung der für die Flucht verfügbaren Zeit und der Gesamträumungsdauer erfolgen. Da bis zum Unterschreiten einer Er-

kennungsweite von 15 m in Kopfhöhe der fliehenden Personen 420 Sekunden zur Verfügung stehen und die Entfluchtung im Gegensatz dazu nur 400 Sekunden dauert, kann der Nachweis als erbracht angesehen werden. Da der Nachweis auf zumeist konservativen Annahmen sowohl bei dem simulierten Brandszenario, der Entfluchtung, als auch dem Bewertungskriterium basiert, ist die kleine vorhandene Zeitdifferenz von 20 Sekunden durchaus vertretbar. Dies zeigt allerdings die Bedeutsamkeit der exakten Dokumentation der Eingangsparameter und der verwendeten Modelle.

In diesem Beispiel wurde gezeigt, wie der Leitfaden vom Planer während des gesamten Prozesses eines leistungsorientierten Brandschutznachweises als Grundlage, Informationsquelle und Führungshilfe verwendet werden kann. Der Leitfaden bietet dem Planer somit nicht nur eine wertvolle Hilfe bei der Erstellung und Durchführung der Ingenieurnachweise, sondern unterstützt ihn von der Gebäudeaufnahme bis zur abschließenden Dokumentation der Ergebnisse.

BEISPIEL 2: NACHWEIS EINES BAUTEILS

In einem zweiten Beispiel wird nun die Anwendung des Leitfadens auf den brandschutztechnischen Nachweis eines Bauteils dargestellt. Als Grundlage dient das Beispiel, welches im Beitrag von Weilert und Albrecht [8] enthalten ist.

Wahl des Nachweisverfahrens (Kapitel 6)

Das Kapitel 6 des Leitfadens befasst sich mit den brandschutztechnischen Nachweisen von Bauteilen und Tragwerken (Konstruktion). Es werden zunächst die rechtlichen Grundlagen und Möglichkeiten der gegenwärtig zulässigen Nachweisverfahren dargestellt und besonderes Augenmerk auf die in Kürze einzuführenden Eurocodes gelegt. Im Gegensatz zu beispielsweise den Nachweisen für die Personensicherheit existieren in diesem Bereich rechtlich bindende und zukünftig länderübergreifende Normen, die den Nachweisen der Konstruktion auch im Brandfalle zugrunde zu legen sind. Der Leitfaden bietet an dieser Stelle einerseits eine gute Übersicht und Darstellung der erforderlichen Schritte und bestehenden Möglichkeiten und er gibt andererseits nennenswerte Hilfestellungen für die Umsetzung.

Die in den Teilen 1-2 der Eurocodes enthaltenen Nachweisverfahren sind grundsätzlich in drei Stufen gegliedert, so dass der Brandschutzplaner in der Lage ist, eine der jeweiligen Problemstellung angemessene Nachweisführung zu wählen. Für die verschiedenen Bauweisen sind jedoch nicht durchgängig alle Stufen verfügbar. In der ersten Stufe können die Nachweise sehr schnell und einfach anhand von Bemessungstabellen auf Grundlage der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) geführt werden, wie dies bisher mit Hilfe der DIN 4102-4 [9] erfolgen kann. Demgegenüber stehen oft großen Sicherheiten, so dass sich unter Umständen und insbesondere bei komplexen Gebäuden nicht immer eine wirtschaftliche Lösung erzielen lässt. In der zweiten Stufe können mit den sogenannten „vereinfachten Rechenverfahren“ für bestimmte, einzelne Bauteile

die Nachweise anhand von vereinfachten Modellen geführt werden. Bei diesen vereinfachten Rechenverfahren sind vom Planer allerdings stets die Randbedingungen und Modellgrenzen zu beachten, welche im Leitfaden in Kapitel 6 entweder unmittelbar oder durch Verweise auf die entsprechende Literatur dargestellt sind. Die weitreichendste aber auch gleichzeitig komplexeste Stufe bilden die „allgemeinen Rechenverfahren“, bei denen die Nachweise anhand von komplexen Simulationen des Durchwärmungs- sowie Trag- und Verformungsverhaltens unter Berücksichtigung sämtlicher physikalischer Phänomene nachgewiesen werden. Auf dieser Modellstufe können anstelle der Normbrandbeanspruchung auch sogenannte „natürliche Brände“ berücksichtigt werden wie sie mit den Angaben im Kapitel 4 des Leitfadens („Brandszenarien und Bemessungsbrände“) definiert werden können.

Die mit Hilfe von Kapitel 4 erarbeiteten „natürlichen“ Bemessungsbrandszenarien werden zunächst mit Hilfe von numerischen Brandsimulationen gemäß Kapitel 5 simuliert. Die sich hieraus ergebende thermische Beanspruchung wird dann als Eingangsgröße für die thermische Analyse verwendet, bei der die Temperaturverteilung innerhalb der Bauteile bestimmt wird. Eine in der Regel nachgeschaltete mechanische Analyse liefert schließlich das Trag- und Verformungsverhaltens während des gesamten Brandgeschehens. Im Rahmen von Weiterentwicklungen im Bereich der CFD-Brandsimulation (z. B. [10]) wurde und wird aus mehreren Gründen der Weg hin zu einer Kopplung von numerischer Brandsimulation und thermischer Analyse, d. h. einer simultanen und gegenseitig gekoppelten Simulation des Brandgeschehens und der mehrdimensionalen Wärmeleitung innerhalb von Festkörpern (z. B. Bauteilen), verfolgt. Mit Hilfe solcher Modelle kann die momentane, sequentielle Abarbeitung von Brandsimulation und anschließender thermischer Analyse abgelöst werden. In einem weiteren, zukünftigen Schritt ist die Mitberücksichtigung möglicher Rückwirkungen des Trag- und Verformungsverhaltens auf des Brandgeschehen zu ergänzen, was einer vollständig gekoppelten Brandsimulation gleich kommt.

Alternativ zu den zuvor dargestellten natürlichen Bränden können auch weiterhin Normbrandbeanspruchungen als Einwirkung verwendet werden, sodass die numerische Brandsimulation dann entfallen kann. Der bedeutende Vorteil der allgemeinen Rechenverfahren ist es, dass nicht nur einzelne Bauteile, sondern auch Teil- und Gesamttragwerke, d. h. das gesamte Tragwerksverhalten abgebildet werden können, was eine bessere Ausnutzung vorhandender Systemredundanzen ermöglicht und unter Umständen zu einer bedeutend wirtschaftlicheren Konstruktion führt.

Der Leitfaden bietet ferner als Hilfestellung in Kapitel 6.6 einige Informationen zur Beurteilung von Simulationsprogrammen. In diesem Zusammenhang wird auf deren Verifikation und Validierung eingegangen und es werden Anhaltswerte für Toleranzen als Entscheidungshilfe hinsichtlich der Eignung bereit gestellt. Der Vorschlag einer Prüfmatrix in Kapitel 6.6.6 bietet dem Planer eine schnelle und einfache Möglichkeit, ein Computerprogramm qualitativ richtig einzuschätzen und zu bewerten und die Grenzen der Anwendbarkeit zu identifizieren.

Für das vorliegende Beispiel, den brandschutztechnischen Nachweis eines Stahlträgers in einer Halle, wurde aufgrund der oben genannten Abwägungen auf das vereinfachte Rechenverfahren des Eurocodes 3 Teil 1-2 (Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten) zurückgegriffen, da in diesem Fall einerseits nur der Nachweis eines einzelnen Bauteil zu führen ist und andererseits aus wirtschaftlichen Aspekten eine Ausführung anhand der Tabellen in DIN 4102-4 zu konservativ erschien.

Erfassung des Bauteils und der Randbedingungen (Kapitel 2)

Unter anderem um die Anwendbarkeit des vereinfachten Rechenverfahrens zu gewährleisten, müssen zunächst das Gebäude und die Randbedingungen für die Bemessung korrekt erfasst werden. Wie bereits im vorhergehenden Beispiel angesprochen, bietet in diesem Zusammenhang das Kapitel 2 des Leitfadens dem Planer eine wertvolle Hilfe zur Aufnahme der benötigten Parameter. Im Falle des Bauteilnachweises stehen hierbei indes andere Parameter im Vordergrund, beispielsweise die Gebäudestruktur, der Inhalt und die brandschutztechnische Infrastruktur (Kapitel 2.2 bis 2.5).

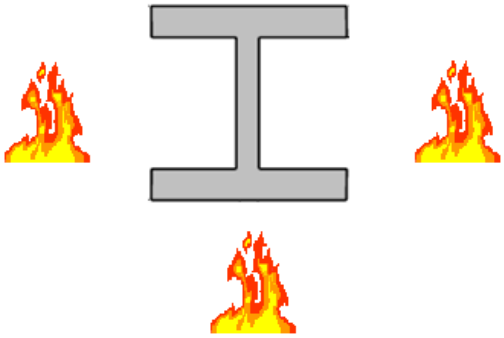


Bild 5: Stahlträger HEB-300 im Brandfall (3-seitige thermische Belastung)

Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um einen statisch bestimmten Stahlträger HEB300, der in der statischen Bemessung für Normaltemperatur zu 90 % ausgelastet ist. Dieser Träger soll nun unter Berücksichtigung der vorhandenen Brandschutzinfrastruktur für den Brandfall bei 3-seitiger thermischer Belastung (vgl. Bild 5) nachgewiesen werden. Kapitel 10 des Leitfadens bietet hierzu einen Überblick über das Sicherheitskonzept (vgl. Eurocode 1) und die Anwendung des Verfahrens. Weitere Details zum Sicherheitskonzept finden sich im Beitrag von Weilert und Albrecht [8].

Schutzziele und Leistungskriterien (Kapitel 3 und 6)

Bei dem exemplarisch betrachteten Gebäude handelt es sich um eine einstöckige, industriell genutzte Lagerhalle mit nicht gefährlichen Lagermaterialien. Demzufolge kann bei der Betrachtung von mittleren Schadensfolgen bei der Quantifizierung des Schutzziels „Standsicherheit“ ausgegangen werden. Weitergehende Informationen hierzu liefert der Leitfaden in den Kapiteln 3 und 10.

Die funktionale Anforderung, die mit dem Schutzziel „Standsicherheit“ in diesem Beispiel verknüpft ist, entspricht der Forderung, dass der Stahlträger den gesamten angesetzten Naturbrand ohne Versagen übersteht (s. Kapitel 3 und 6). Im Rahmen eines leistungsorientierten Brandschutzkonzeptes ist nachzuweisen, dass der Stahlträger zu keinem Zeitpunkt während des Brandgeschehens eine Temperatur erreicht, die zum Bauteilversagen führen würde. Die erforderlichen Grundlagen für die vereinfachten Rechenverfahren werden im Leitfaden in Kapitel 6.5.4 einführend vorgestellt. Darüber hinaus werden Verweise und weitergehende Informationen zum Verständnis der vereinfachten Verfahren nach den Eurocodes angeboten.

Wahl eines Brandszenarios und eines Bemessungsbrandes (Kapitel 4)

Das Kapitel 4 bietet, wie bereits zuvor dargestellt, eine gute Grundlage für die Wahl und die Definition des Bemessungsbrand-Szenarios. Gleichzeitig ist für den Nachweis des Bauteils das in Kapitel 10 beschriebene Sicherheitskonzept zu berücksichtigen, welches im Nationalen Anhang zum Eurocode 1 Teil 1-2 (Entwurf Juni 2009) veröffentlicht ist.

Für den Bauteilnachweis wird angenommen, dass der Brand direkt unter dem nachzuweisenden Bauteil stattfindet. Als Bemessungsbrand für den Stahlträger wurde, wie schon im vorherigen Beispiel, ein α-t^2-Ansatz in der Brandentwicklungsphase mit einem anschließenden Plateau gewählt. Die zugehörigen Brandparameter wurden auf Basis des Sicherheitskonzeptes gewählt und werden im Beispiel des Beitrags von Weilert und Albrecht [8] beschrieben. Bei der Wahl der Parameter zur Ermittlung der Brandwirkungen wurde beispielsweise zusätzlich die Wirksamkeit einer öffentlichen Feuerwehr mit in die Betrachtung einbezogen. Für weitere Informationen zur Berücksichtigung der brandschutztechnischen Infrastruktur bei Bauteilnachweisen sei auf Kapitel 10 des Leitfadens und [8] verwiesen.

Berechnung der thermischen Beanspruchung (Kapitel 5)

Für den Nachweis einer ausreichenden Tragfähigkeit der Konstruktion im Brandfall sind offensichtlich andere Beanspruchungen maßgebend als für den Nachweis der Personensicherheit im vorhergehenden Beispiel, da das Bauteilversagen direkt auf die thermische Beanspruchung zurückzuführen ist. In Kapitel 5 des Leitfadens findet sich daher zunächst ein einleitender Abschnitt über die Zielsetzung einer Brandmodellierung. Hier werden Grundlagen für die fallbezogene Modellwahl aufgezeigt. In der vorliegenden Problemstellung soll ein Träger für die Brandbeanspruchung ausschließlich lokal nachgewiesen werden, wobei der Nachweis allein durch die thermische Beanspruchung geführt wird. Andere Brandeinwirkungen, die beispielsweise korrosive Schäden verursachen, sowie die Analyse der mittelbaren Brandauswirkung (z. B. Ausbreitung von Wärme, Verrauchung) sind für diesen Zweck nicht erforderlich. Aus diesem Grund erscheint eine CFD-Simulation im Rahmen dieses Beispiels aufgrund der aufwändigen Modellierung und der langen Rechendauer unzweckmäßig und

unnötig. Der Leitfaden bietet eine Übersicht über weitere Verfahren, wie die parametrischen Temperaturzeitkurven, die hier jedoch aufgrund der Raumdimensionen nicht anwendbar sind. Aufgrund der im Leitfaden beschriebenen Modelle wurde für dieses Beispiel ein Plume-Modell nach Heskestad [11] gewählt, das unter den gegebenen Randbedingungen der geeignetste Ansatz zu sein schien. Bedingt durch die besondere Größe der Halle, wird die Annahme getroffen, dass sich keine stationäre Heißgasschicht einstellen wird. Sämtliche dieser Randbedingungen sowie die zugehörigen Rechenwege werden im Detail in Kapitel A5.2 des Leitfadens beschrieben.

Bauteilnachweis mit den vereinfachten Rechenverfahren (Kapitel 6 + Eurocode)

Nach erfolgter Brandsimulation und anschließender Berechnung der Stahltemperatur nach dem vereinfachten Rechenverfahren laut Eurocode 3-1-2 kann abschließend der brandschutztechnische Nachweis geführt werden. Der Leitfaden bietet auch hierzu einige Erläuterungen und fasst die wesentlichen Schritte zusammen. So werden beispielsweise wie zuvor dargestellt die Nachweisebenen gemäß der Eurocodes dargestellt und des Weiteren einige der wichtigsten Eingangsparameter angegeben, z. B. wird ein Überblick über die Reduktionsfaktoren und die abgeminderten Teilsicherheitsbeiwerte, die für den außergewöhnlichen Lastfall eines Brandes anzusetzen sind, gegeben.

Da bei der Berücksichtigung eines Naturbrandes das Bauteil während der gesamten Branddauer nicht Versagen darf, muss die Temperaturberechnung bis zum Ende des Brandes durchgeführt und darf keinesfalls vorher abgebrochen werden. Dies ist ein bedeutender Unterschied zu Nachweisen mit Normbrandbeanspruchung, bei denen die Berechnung beendet werden kann, sobald die erforderliche Feuerwiderstandsdauer erreicht ist. Das Nichtvorhandensein von Bauteilklassifizierungen wie den Feuerwiderstandsklassen beim Ansatz von Naturbränden ist eine zwingende Folge dieser Vorgehensweise.

Im vorliegenden Beispiel tritt die höchste berechnete Stahltemperatur unter Berücksichtigung einer 2 cm dicken Brandschutzbekleidung aus Gipskartonplatten nach 150 Minuten auf und beträgt etwa 575 °C. Gemäß dem Verfahren nach Eurocode 3 muss die Stahlstreckgrenze hier mit einem temperaturabhängigen Beiwert von ca. 0,6 abgemindert werden. Der Nachweis kann nun geführt werden, indem das sich ergebende temperaturabhängige Widerstandsmoment dem für den Brandfall abgeminderten Einwirkungsmoment entgegengestellt wird, sodass zu jedem Zeitpunkt t gilt

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t} \, .$$

Für den Stahlträger wird der Nachweis, wie Bild 6 zeigt, erfolgreich erbracht.

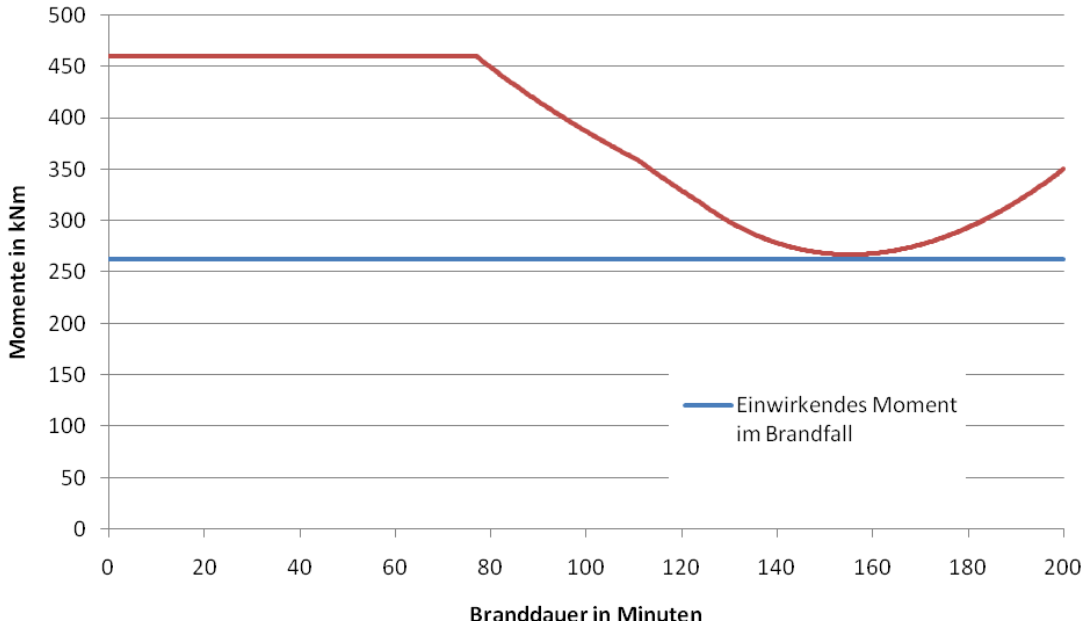


Bild 6: Gegenüberstellung der Bemessungswerte des einwirkenden Momentes im Brandfall und des temperaturabhängigen aufnehmbaren Momentes

Zusammenfassung und Bewertung in Anlehnung an Kapitel 1

Der Leitfaden bietet beim leistungsorientierten Nachweis von Bauteilen eine wertvolle Unterstützung bei der Anwendung der Verfahren nach dem Stand der Technik. Die gängigen Verfahren werden aufgezeigt und ausreichend detailliert beschrieben und es werden viele hilfreiche Hinweise für die Anwendung gegeben. Anhand eines Beispiels wurde gezeigt, an welchen Stellen und auf welche Weise der Leitfaden die in den relevanten Normen beschriebenen Rechenverfahren ergänzt und Entscheidungshilfen bei der Auswahl der Verfahren sowie der Eingangs- bzw. Bewertungsgrößen bietet.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag gibt zunächst einige einleitenden Informationen zur Verwendung des Leitfadens bei der Erstellung von leistungsorientieren Brandschutznachweisen mit Hilfe von Ingenieurmethoden und beschreibt zusammenfassend den Ablauf eines solchen Nachweises im Vergleich zur klassischen, präskriptiven Vorgehensweise.

Anhand zweier Beispiele wird dargestellt, wie der Leitfaden zum Nachweis unterschiedlicher Schutzziele mittels leistungsorientierter Ingenieurmethoden verwendet werden kann. Dabei wird aufgezeigt, dass der Leitfaden für alle durchzuführenden Schritte die erforderlichen Parameter, Eingangswerte und Modellbeschreibungen vorhält und darüber hinaus weitere Details und Literaturverweise als weiterführende Informationen und Hilfestellungen enthält.

Abschließend sei angemerkt, dass leistungsorientierte Nachweise immer nur ein Bestandteil eines übergreifenden und umfassenden Brandschutzkonzeptes sind. Für die gesamte brandschutztechnische Bewertung eines Gebäudes müssen grundsätzlich alle Schutzziele nach Bauordnung erreicht werden, unabhängig davon, ob dies durch leistungsorientierte Nachweise oder durch das Erfüllen der präskriptiven Vorgaben erfolgt. Der Leitfaden bietet für alle diese Nachweise wertvolle Hinweise und unterstützt die Fachplaner in sämtlichen Punkten bei der Führung der leistungsorientierten Brandschutznachweise.

Anforderungen und Schutzziele, für die (noch) keine leistungsorientierten Nachweise existieren, müssen weiterhin über materielle Vorschriften erfüllt werden. Leistungsorientierte Nachweise sind daher also nicht vorrangig als Ersatz, sondern als „maßgeschneiderte“ Ergänzung bzw. Alternative zu den präskriptiven Anforderungen im Rahmen eines Brandschutzkonzeptes zu verstehen. Die Beispiele haben diesbezüglich noch einmal deutlich gemacht, welchen großen Einfluss die richtige und gründliche Gebäudeaufnahme hat. Denn ein „maßgeschneidertes“ Konzept kann nur so gut „passen“ wie es „vermessen“ wurde.

LITERATUR

[1] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Technischer Bericht vfdb TB 04/01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. und D. Hosser (Hrsg.), 2009.

[2] Musterbauordnung – MBO, Fassung November 2002, http://www.is-argebau.de

[3] DIN 4102-2:1977-09 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

[4] Mahlmann, C.: Grundlagen und Beispiele zur Umsetzung leistungsorientierter Brandschutzkonzepte mittels Ingenieurmethoden. In: Braunschweiger Brandschutztage ‘09, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 208, Braunschweig 2009, ISBN 978-3-89288-191-9.

[5] Hosser, D. et al.: Umsetzung leistungsorientierter Brandschutzvorschriften, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben BBR / Z 6 – 10.08.17.7-07.8. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Braunschweig, März 2009.

[6] McGrattan (ed.), „Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide“, National Institute of Standards and Technology Report NIST SP 1018, Gaithersburg, MD, 2009.

[7] Muster-Versammlungsstättenverordnung - MVStättV, Fassung Juni 2005, http://www.is-argebau.de

[8] Weilert, A., Albrecht, C., Übergreifendes Sicherheitskonzept für Brandschutznachweise mit Ingenieurmethoden, Tagungsband der Braunschweiger Brandschutztage 2009, iBMB Braunschweig, Heft 208, 2009

[9] DIN 4102-4:1994-03 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.

[10] Hohm, V.; Hosser, D.: Mehrdimensionale instationäre Wärmeleitungsberechnung innerhalb numerischer Brandsimulationen, vfdb-Zeitschrift 58 (2009), Heft 1, Februar 2009.

[11] Heskestad, G.: „Engineering Relations for Fire Plumes“. Fire Safety Journal, 1984, pp. 25-32.

Dipl.-Ing. Cornelius Albrecht, MSc	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dipl.-Ing. Oliver Bahr	Institut für Stahlbau Leibniz Universität Hannover Appelstraße 9A 30167 Hannover
Dr.-Ing. Michael Dehne	Dehne Kruse Brandschutzingenieure GmbH & Co. KG Windmühlenweg 22 38518 Gifhorn
Akad. Direktor a. D. Dr.-Ing. Reinhold Dobbernack	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Prof. Dr. Horst A. Ermer	Dr. Ermer GmbH Daimlerstraße 7 50859 Köln
Ltd. Branddirektor Dipl.-Phys.Hans-Joachim Gressmann	Stadt Braunschweig Fachbereich Feuerwehr Feuerwehrstraße 1 38114 Braunschweig
Ltd. Branddirektor Dipl.-Ing. Harald Hagen	Berufsfeuerwehr Wiesbaden Kurt-Schumacher-Ring 16 65195 Wiesbaden
Dipl.-Ing. Volker Hohm	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dipl.-Ing. Dirk Hollmann	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Akad. Rat Dr.-Ing. Björn Kampmeier	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dipl.-Ing. Udo Kirchner	Sachverständigenbüro Halfkann + Kirchner Richard-Lucas-Straße 4 41812 Erkelenz
Dr.-Ing. Christoph Klinzmann	hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH Niederlassung Hamburg Kurze Mühren 20 20095 Hamburg
Dipl.-Ing. Dirk Kruse	Dehne Kruse Brandschutzingenieure GmbH & Co. KG Windmühlenweg 22 38518 Gifhorn
Dipl.-Ing. Christian Mahlmann	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Dr.-Ing. Friedrich Mehl	Regierungspräsidium Leipzig Landesstelle für Bautechnik Postfach 10 13 64 04013 Leipzig
Oberingenieur Dr.-Ing. Ekkehard Richter	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig

Akad. Rat Dr.-Ing. Olaf Riese	Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) Technische Universität Braunschweig Beethovenstraße 52 38106 Braunschweig
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann	Institut für Stahlbau Leibniz Universität Hannover Appelstraße 9A 30167 Hannover
Dipl.-Ing. Nina Schjerve	Institut für Hochbau und Technologie Technische Universität Wien Adolf Blamauergasse 1-3 1030 Wien (Österreich)
o. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. Ulrich Schneider	Zentrum für Baustoffforschung, Werkstofftechnik und Brandschutz Technische Universität Wien Karlsplatz 13/E206/1 1040 Wien (Österreich)
Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Wathling	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung VI E2 – Oberste Bauaufsicht Württembergische Straße 6 10702 Berlin
Dipl.-Ing. Astrid Weilert	hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH Rotherstraße 19 10245 Berlin
Regierungsdirektor a. D. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wesche	Dönhoffstraße 88 51373 Leverkusen
Dr.-Ing. Jürgen Wiese	Sachverständigenbüro Halfkann + Kirchner Richard-Lucas-Straße 4 41812 Erkelenz
Dr.-Ing. Jochen Zehfuß	hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH Niederlassung Hamburg Kurze Mühren 20 20095 Hamburg

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. D. Hosser	(Tel. -5441).

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, speziell des Massivbaus. Ziel der Forschung ist es, 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 der Praxis 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 der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Tragwerken.

Typisch für die Brandschutzforschung an der TU 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. Auf diesen Grundlagen werden Ingenieurmethoden des Brandschutzes kontinuierlich weiterentwickelt und in Form von Leitfäden oder über die Normung der Praxis zugänglich gemacht.

Die enge Verknüpfung von Forschung und Materialprüfung und die zeitnahe Übertragung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Prüferfahrungen in die studentische Ausbildung sind 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 beim IBMB angesiedelt. Sie umfasst zurzeit 7 Abteilungen:

Mechanische Technologie	Dr.-Ing. Gutsch	(Tel. -5446)
Schallschutz	Dipl.-Phys. Krause	(Tel. -5451)
Brandschutz	Frau Dr.-Ing. Rohling	(Tel. -5407)
Chemie, Physik und Umwelt	Dr. Unterderweide	(Tel. -5419)
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.

Beethovenstraße 52
D-38106 Braunschweig
Tel. 05 31/391-5400
Fax 05 31/391-5900

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 Versandspesen.

Heft 1
Deters, R.
Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öliger Holzschutzmittel. Braunschweig, 1962. 20 S. Zugl.: Braunschweig, Tech. 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 Temperaturbeanspru-chung 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.
ISBN-13: 978-3-89288-060-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-061-5
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 Betongütewürfeln 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.
ISBN-13: 978-3-89288-057-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-056-1
7,67 €

Heft 21
Janko, B.
Zum Trag- und Verformungsverhalten ebener Stockwerkrahmen aus Stahlbeton. Braunschweig., 1972.XI, 155 S. Zugl.: Braunschweig, Tech. Univ., Diss., 1972.
ISBN 3-89288-055-7.
ISBN-13: 978-3-89288-055-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-054-7
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.
ISBN-13: 978-3-89288-053-0
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.
ISBN-13: 978-3-89288-052-3
7,67 €

Heft 26
Tennstedt, E.
Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangschnittgrößen unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens des Stahlbetons. Braunschweig., 1974. 141 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1974.
ISBN 3-89288-051-4.
ISBN-13: 978-3-89288-051-6
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 dreiparametriges, komplexes Ultraschall-Prüfverfahren für die zerstörungsfreie Materialprüfung im Bauwesen. Braunschweig, 1974. 108 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1974.
ISBN 3-89288-050-6.
ISBN-13: 978-3-89288-050-9
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.
ISBN-13: 978-3-89288-048-6
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.
ISBN-13: 978-3-89288-049-3
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.
ISBN-13: 978-3-89288-045-5
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.
ISBN-13: 978-3-89288-046-2
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.
ISBN-13: 978-3-89288-047-9
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.
ISBN-13: 978-3-89288-035-6
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.
ISBN-13: 978-3-89288-036-3
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.
ISBN-13: 978-3-89288-037-0
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.
ISBN-13: 978-3-89288-038-7
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.
ISBN-13: 978-3-89288-039-4
7,67 €

Heft 48
Svensvik, B.
Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Einschluss 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.
ISBN-13: 978-3-89288-040-0
12,78 €

Heft 49
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - Veröffentlichungen 1967 bis 1981. Braunschweig, 1981. 89 S.
ISBN 3-89288-041-7.
ISBN-13: 978-3-89288-041-7
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.
ISBN-13: 978-3-89288-042-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-043-1
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.
ISBN-13: 978-3-89288-044-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-017-2
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.
ISBN-13: 978-3-89288-010-3
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.
ISBN-13: 978-3-89288-018-9
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.
ISBN-13: 978-3-89288-019-6
10,23 €

Heft 58
Schneider, U.
Wärmebilanzrechnungen in Verbindung mit Versuchen in Brandräumen (Teil 2). Braunschweig, 1983. 34 S.
ISBN 3-89288-020-4.
ISBN-13: 978-3-89288-020-2
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.
ISBN-13: 978-3-89288-021-9
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.
ISBN-13: 978-3-89288-014-1
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.
ISBN-13: 978-3-89288-013-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-012-7
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.
ISBN-13: 978-3-89288-009-7
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.
ISBN-13: 978-3-89288-000-4
12,78 €

Heft 65
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - Forschungsarbeiten 1978 - 1983. Braunschweig, 1984. 305 S.
ISBN 3-89288-001-8.
ISBN-13: 978-3-89288-001-1
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.
ISBN-13: 978-3-89288-002-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-003-5
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.
ISBN-13: 978-3-89288-022-6
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.
ISBN-13: 978-3-89288-005-9
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.
ISBN-13: 978-3-89288-006-6
10,23 €

Heft 71
Ehm, C.
Versuche zur Festigkeit und Verformung von Beton unter zweiaxialer Beanspruchung und hohen Temperaturen. Braunschweig, 1986. III, 120 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.
ISBN 3-89288-007-7.
ISBN-13: 978-3-89288-007-3
7,67 €

Heft 72
Hartwich, K.
Zum Riss- und Verformungsverhalten von stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug. Braunschweig., 1986. V, 202 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.
ISBN 3-89288-008-5.
ISBN-13: 978-3-89288-008-0
12,78 €

Heft 73
Scheuermann, J.
Zum Einfluss tiefer Temperaturen auf Verbund und Rissbildung von Stahlbetonbauteilen. Braunschweig, 1987.224 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-011-5.
ISBN-13: 978-3-89288-011-0
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.
ISBN-13: 978-3-89288-015-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-022-6
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.
ISBN-13: 978-3-89288-016-5
12,78 €

Heft 77
Großmann, F.
Spannungen und bruchmechanische Vorgänge im Normelbeton unter Zugbeanspruchung. Braunschweig, 1987.VII, 174, 160 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-023-9.
ISBN-13: 978-3-89288-023-3
12,78 €

Heft 78
Rohling, A.
Zum Einfluss des Verbundkriechens auf die Rissbreitenentwicklung 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.
ISBN-13: 978-3-89288-024-0
12,78 €

Heft 79
Henning, W.
Zwangrissbildung und Bewehrung von Stahlbetonwänden auf steifen Unterbauten. Braunschweig, 1987.IX, 226 S. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.
ISBN 3-89288-025-5.
ISBN-13: 978-3-89288-025-7
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.
ISBN-13: 978-3-89288-026-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-027-1
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.
ISBN-13: 978-3-89288-028-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-030-1
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.
ISBN-13: 978-3-89288-031-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-032-5
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.
ISBN-13: 978-3-89288-058-5
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.
ISBN-13: 978-3-89288-034-9
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.
ISBN-13: 978-3-89288-059-2
12,78 €

Heft 89
Weiterbildungsseminar Bauen in Europa : 15.-16. November 1990 in Braunschweig; Kurzreferate. Braunschweig, 1990.169 S.
ISBN 3-89288-063-8.
ISBN-13: 978-3-89288-063-9
12,78 €

Heft 90
Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.; Voß, K.
Vorspannung im Hochbau. Überarb. Aufl. Feb. 1991.
ISBN 3-89288-064-6
ISBN-13: 978-3-89288-064-6
Vergriffen (Kopie: 10,23 €).

Heft 91
Fachtagung Spannbeton im Hoch- und Industriebau : Kurzreferate. 1991.
ISBN 3-89288-065-4
ISBN-13: 978-3-89288-065-3
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
ISBN-13: 978-3-89288-066-0
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.
ISBN-13: 978-3-89288-070-7
11,25 €

Heft 94
Fachseminar Instandsetzung und Ertüchtigung von Massivbauten : 14./15. November 1991 in Braunschweig; Kurzreferate. 1991.
ISBN 3-89288-068-9.
ISBN-13: 978-3-89288-068-4
10,45 €

Heft 95
Qualitätssicherung im Bauwesen: VMPA-Tagung 1992 ; 25.-26.6.1992, Tagungsbericht.
ISBN 3-89288-071-9.
ISBN-13: 978-3-89288-071-4
15,34 €

Heft 96
Weiterbildungsseminar Brandschutz im Industriebau: 30.9.1992 in Braunschweig; Kurzreferate.
ISBN 3-89288-070-0.
ISBN-13: 978-3-89288-070-7
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.
ISBN-13: 978-3-89288-073-8
20,45 €

Heft 98
Gunkler, E.
Verstärkung biegebeanspruchter Mauerwerkswände durch bewehrte Ergänzungsschichten. 1993. V, 175, 58 S. Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1992.
ISBN 3-89288-074-3.
ISBN-13: 978-3-89288-074-5
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.
ISBN-13: 978-3-89288-075-2
12,78 €

Heft 100
Fachseminar Stahlfaserbeton: 4. März 1993 in Braunschweig; Neue Erkenntnisse und Anwendungsgebiete. 1993. 156 S.
ISBN 3-89288-076-X.
ISBN-13: 978-3-89288-076-9
Vergriffen (Kopie: 20,45 €).

Heft 101
Falkner, H.; Teutsch, M.
Vergleichende Untersuchungen an unbewehrten und bewehrten stahlfaserbewehrten Industriefußböden. 1993. 79 S.
ISBN 3-89288-077-8.
ISBN-13: 978-3-89288-077-8
12,78 €

Heft 102
Falkner, H.; Teutsch, M.
Comperative investigations of plain and steel fibre reinforced industrial ground slabs. 1993.
ISBN 3-89288-078-6.
ISBN-13: 978-3-89288-078-3
12,78 €

Heft 103
5. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 06./07.10.1993 in Braunschweig; Kurzreferate.
ISBN 3-89288-079-4.
ISBN-13: 978-3-89288-079-0
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.
ISBN-13: 978-3-89288-080-6
12,78 €

Heft 105
Dauerhafte Bauwerke aus Faserbeton: Braunschweiger Bauseminar 1993; 11.-12.11.1993.
ISBN 3-89288-081-6.
ISBN-13: 978-3-89288-081-3
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.
ISBN-13: 978-3-89288-085-1
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.
ISBN-13: 978-3-89288-086-8
20,45 €

Heft 108
Holzenkämpfer, P.
Ingenieurmodell des Verbundes geklebter Bewehrung für Betonbauteile.
Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1994.
ISBN 3-89288-087-5.
ISBN-13: 978-3-89288-087-5
17,90 €

Heft 109
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig [Hrsg.]
Forschungsarbeiten 1990 - 1994.
Braunschweig, 1994.
ISBN 3-89288-088-3.
ISBN-13: 978-3-89288-088-2
30,68 €

Heft 110
Falkner, H.; Teutsch, M; Huang, Z.
Untersuchung der Schubtragfähigkeit und der Wasserundurchlässigkeit von Arbeitsfugen unter Verwendung von Stremaform-Abschalelementen.
Falkner, H.; Teutsch, M; Claußen, T.
Schubtragfähigkeit des Vergussbetons zwischen Köcher-, Block- oder Hülsenfundamenten und Stützenfuß bei unterschiedlich profilierten Betonoberflächen. 1994.
ISBN 3-89288-089-1.
ISBN-13: 978-3-89288-089-9
10,23 €

Heft 111
Voß, K.-U.
Zum Trag- und Verformungsverhalten von Spannbetonträgern im Zustand II - unterschiedliches Verbundverhalten bei Schwellbeanspruchung. 1994.
Zugl.: Braunschweig, Univ., Diss., 1993.
ISBN 3-89288-090-5.
ISBN-13: 978-3-89288-090-5
16,36 €

Heft 112
Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 05./06.10.1994 in Braunschweig. Kurzreferate. 1994
ISBN 3-89288-092-1.
ISBN-13: 978-3-89288-092-9
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 113
Aus der Forschung in die Praxis: 10./11.11.1994. Braunschweiger Bauseminar 1994.
ISBN 3-89288-091-3.
ISBN-13: 978-3-89288-091-2
25,56 €

Heft 114
Warnecke, P.
Tragverhalten und Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk. 1995.
Zugl.: Braunschweig, Univ.; Diss., 1995.
ISBN 3-89288-094-8.
ISBN-13: 978-3-89288-094-3
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.
ISBN-13: 978-3-89288-093-6
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 116
Huang, Z.
Grenzbeanspruchung gebetteter Stahlfaserbetonplatten. 1995.
Zugl.: Braunschweig. Univ., Diss. 1995.
ISBN 3-89288-095-6.
ISBN-13: 978-3-89288-095-0
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 117
Falkner, H.; Teutsch, M.; Huang, Z.
Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton. 1995.
ISBN 3-89288-096-4.
ISBN-13: 978-3-89288-096-7
Vergriffen (Kopie: 23,01 €).

Heft 118
Kubat, B.
Durchstanzverhalten von vorgespannten, punktförmig gestützten Platten aus Stahlfaserbeton. 1995. Zugl.: Braunschweig, Univ.; Diss., 1995.
ISBN 3-89288-097-2.
ISBN-13: 978-3-89288-097-4
Vergriffen (Kopie: 17,90 €).

Heft 119
Braunschweiger Bauseminar 1995: "Dichte Betonbauwerke"; 09./10.11.1995.
ISBN 3-89288-098-0.
ISBN-13: 978-3-89288-098-1
Vergriffen (Kopie: 25,56 €).

Heft 120
Steinert, C.
Bestimmung der Wärmeübergangsbedingungen auf Bauteile im Brandfall: Abschlussbericht. 1995.
ISBN 3-89288-099-9.
ISBN-13: 978-3-89288-099-8
13,29 €

Heft 121
Schütte, J.; Teutsch, M; Falkner, H.
Fugenlose Betonbodenplatten: Forschungsbericht. 1996.
ISBN 3-89288-100-6.
ISBN-13: 978-3-89288-100-1
Vergriffen (Kopie: 17,90 €)

Heft 122
Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 24./25.09.1996 in Braunschweig. Kurzreferate. 1996.
ISBN 3-89288-101-4.
ISBN-13: 978-3-89288-101-8
Vergriffen (Kopie: 15,34 €).

Heft 123
Droese, S.; Riese, A.
Belastungsversuche an zwei Durchlauf-Plattenstreifen aus Elementplatten mit Aufbeton aus Stahlfaserbeton. 1996.
ISBN 3-89288-102-4.
ISBN-13: 978-3-89288-102-5
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.
ISBN-13: 978-3-89288-103-2
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 mineralischer Baustoffe. 1996.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 3-89288-104-9.
ISBN-13: 978-3-89288-104-9
20,45 €

Heft 126
Falkner, H.; Teutsch, M.
Braunschweiger Bauseminar 1996:
Ingenieurbauwerke mit neuen Konzepten.
14./15.11.1996.
ISBN 3-89288-105-7.
ISBN-13: 978-3-89288-105-6
30,68 €

Heft 127
Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte. 1990 - 1993. 1996.
ISBN 3-89288-106-5.
ISBN-13: 978-3-89288-106-3
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.
ISBN-13: 978-3-89288-107-0
26,59 €

Heft 129
Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte. 1994. 1997.
ISBN 3-89288-108-1.
ISBN-13: 978-3-89288-108-7
20,45 €

Heft 130
Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte. 1995. 1997.
ISBN 3-89288-109-X.
ISBN-13: 978-3-89288-109-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-110-0
10,23 €

Heft 132
Schütte, J.
Einfluss der Lagerungsbedingungen auf Zwang in Betonbodenplatten. 1997.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.
ISBN 3-89288-111-1.
ISBN-13: 978-3-89288-111-7
15,34 €

Heft 133
Braunschweiger Brandschutz-Tage 1997:
7. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 01./02.10.1997; Kurzreferate.
ISBN 3-89288-112-X.
ISBN-13: 978-3-89288-112-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-113-1
17,90 €

Heft 135
Rostásy, F. S.; Wigger, H.
Konsolidierung von historischem Naturstein-mauerwerk: 06. - 7.11.1997 in Braunschweig
ISBN 3-89288-114-6.
ISBN-13: 978-3-89288-114-8
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.
ISBN-13: 978-3-89288-115-5
16,36 €

Heft 137
Forschung über Baudenkmalpflege – Arbeitsberichte: 1996 – 1997, 1998
ISBN 3-89288-116-2.
ISBN-13: 978-3-89288-116-2
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.
ISBN-13: 978-3-89288-117-9
17,90 €

Heft 139
Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 29./30.09.1998 in Braunschweig;
Kurzreferate 1998.
ISBN 3-89288-118-9.
ISBN-13: 978-3-89288-118-6
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
ISBN-13: 978-3-89288-119-3
20,45 €

Heft 141
Falkner, H.; Teutsch, M.
Braunschweiger Bauseminar 1998:
Beton auf neuen Wegen; 12./13.11.1998
ISBN 3-89288-120-0
ISBN-13: 978-3-89288-120-9
25,56 €

Heft 142
Festschrift zum 60. Geburtstag von
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Horst Falkner.
1999
ISBN 3-89288-121-9
ISBN-13: 978-3-89288-121-6
28,12 €

Heft 143
Teutsch, M; Klinkert, H.
Leistungsklassen von Stahlfaserbeton.
1999.
ISBN 3-89288-122-7
ISBN-13: 978-3-89288-122-3
6,65 €

Heft 144
Forschungsarbeiten 1995 – 1999. 1999
ISBN 3-89288-123-5
ISBN-13: 978-3-89288-123-0
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.
ISBN-13: 978-3-89288-124-7
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
ISBN-13: 978-3-89288-125-4
16,87 €

Heft 147
Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 28./29.03.2000 in Braunschweig;
Kurzreferate 2000.
ISBN 3-89288-126-X.
ISBN-13: 978-3-89288-126-1
17,90 €

Heft 148:
Hariri, K.: Bruchmechanisches Verhalten jungen Betons - Laser-Speckle-Interferome-trie und Modellierung der Rissprozesszone. 2000.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.
ISBN 3-89288-127-8
ISBN-13: 978-3-89288-127-8
18,41 €

Heft 149:
Wigger, H.: Rissbildung in historischem Natursteinmauerwerk : Beobachtung, Versuche und Berechnungsmodelle. 2000.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.
ISBN 3-89288-128-6
ISBN-13: 978-3-89288-128-5
18,92 €

Heft 150:
Neubauer, U.: Verbundtragverhalten geklebter Lamellen aus Kohlenstoffaser – Verbundwerkstoff zur Verstärkung von Betonbauteilen. 2000
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.
ISBN 3-89288-129-4.
ISBN-13: 978-3-89288-129-2
20,45 €

Heft 151:
Hosser, D. ; Blume, G. ; Will, J.: Brandschutz in Chemikalienlagern. 2000.
ISBN 3-89288-130-8
ISBN-13: 978-3-89288-130-8
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
ISBN-13: 978-3-89288-131-5
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
ISBN-13: 978-3-89288-132-2
30,68 €

Heft 154:
Krauß, M. ; Hariri, K. ; Rostásy, F.S.
Hydratationsgrad, Ultraschall-Technik zur Beschreibung der Erhärtung, bruchmechanisches Verhalten jungen Betons : Berichte; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.
[Enthaltene Beiträge in englischer Sprache]
ISBN 3-89288-135-9.
ISBN-13: 978-3-89288-135-3
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
ISBN-13: 978-3-89288-136-0
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
ISBN-13: 978-3-89288-137-7
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
ISBN-13: 978-3-89288-138-4
25,56 €

Heft 158:
Braunschweiger Brandschutztage 2001: 9. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis ; 1.-2. Oktober 2001 in Braunschweig., Kurzreferate. 2001.
ISBN 3-89288-139-1
ISBN-13: 978-3-89288-139-1
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
ISBN-13: 978-3-89288-140-7
23,01 €

Heft 160:
Beiträge zum 40. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton : 11.-12.10.2001. 2001.
ISBN 3-89288-141-3
ISBN-13: 978-3-89288-141-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-142-1
20 €

Heft 162:
RO 70 : 50 Jahre Forschung und 25 Dissertationen ; Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. zum 70 Geburtstag gewidmet. 2002.
ISBN 3-89288-143-X.
ISBN-13: 978-3-89288-143-8
25 €

Heft 163:
Praxisseminar 2002: Brandschutz bei Sonderbauten : 1. und 2. Oktober 2002 in Braunschweig ; Kurzreferate.
2002.
ISBN 3-89288-144-8
ISBN-13: 978-3-89288-144-5
25 €

Heft 164:
Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Stahlfaserbeton – ein unberechenbares Material?: 14. und 15. November; Braunschweiger Bauseminar 2002.
ISBN 3-89288-145-6
ISBN-13: 978-3-89288-145-2
25 €

Heft 165
Niemann, P.: Gebrauchsverhalten von Bodenplatten aus Beton unter Einwirkungen infolge Last und Zwang.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2002.
ISBN 3-89288-146-4
ISBN-13: 978-3-89288-146-9
20 €

Heft 166
Bauen im Bestand: 25. März 2003 in Braunschweig.
ISBN 3-89288-147-2
ISBN-13: 978-3-89288-147-6
22 €

Heft 167
Blume, G. W.: Ingenieurmodell zur brandschutztechnischen Bemessung von Bauteilen auf der Basis von experimentell ermittelten Verbrennungseffektivitäten. 2003.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2002.
ISBN 3-89288-148-0
ISBN-13: 978-3-89288-148-3
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
ISBN-13: 978-3-89288-149-0
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
ISBN-13: 978-3-89288-150-6
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
ISBN-13: 978-3-89288-151-3
19 €

Heft 171
Dehne, M.: Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung. 2003.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2003.
ISBN 3-89288-153-7
ISBN-13: 978-3-89288-153-7
18 €

Heft 172
Paliga, K.: Entstehung und Vermeidung von Betonabplatzungen bei Tunnelbränden. 2003.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2003.
ISBN 3-89288-154-5
ISBN-13: 978-3-89288-154-4
20 €

Heft 173
Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser: Brandschutz und mehr. 2003.
ISBN 3-89288-152-9
ISBN-13: 978-3-89288-152-0
30 €

Heft 174
Timm, M.: Verbundwirkung des Betons im Bereich von STREMAFORM – Abschalelementen: Untersuchungsbericht; Okt. 2000. 2004.
ISBN 3-89288-156-1
ISBN-13: 978-3-89288-156-8
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
ISBN-13: 978-3-89288-155-1
18 €

Heft 176
Nause, P.: Berechnungsgrundlagen für das Brandverhalten von Druckgliedern aus hochfestem Beton. 2004.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.
Erscheint nicht in der iBMB-Schriftenreihe

Heft 177
Budelmann, H.; Falkner, H. [Hrsg.]: Bauen im Bestand: 23. März 2004.
ISBN 2-89288-158-8
ISBN-13: 978-3-89288-158-2
25 €

Heft 178
Hosser, D. [Hrsg.]: Praxisseminar 2004: Brandschutz bei Sonderbauten: 29. – 30.9.2004 in Braunschweig; Kurzreferate. 2004.
ISBN 3-89288-159-6
ISBN-13: 978-3-89288-159-9
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
ISBN-13: 978-3-89288-160-5
18 €

Heft 180
Weiske, R.: Durchleitung hoher Stützenlasten bei Stahlbetonflachdecken. 2004.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.
ISBN 3-89288-161-8
ISBN-13: 978-3-89288-161-2
20 €

Heft 181
Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Qualität im Bauwesen: 11. und 12. November;
Braunschweiger Bauseminar 2004.
ISBN 3-89288-162-6
ISBN-13: 978-3-89288-162-9
25 €

Heft 182
Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Klaus Peter Großkurth: Struktur und Anwendung der Baustoffe. 2005.
ISBN 3-89288-163-4
ISBN-13: 978-3-89288-163-6
25 €

Heft 183
Bauen im Bestand: 23. Februar 2005.
ISBN 3-89288-164-2
ISBN-13: 978-3-89288-164-3
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
ISBN-13: 978-3-89288-166-7
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
ISBN-13: 978-3-89288-167-4
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
ISBN-13: 978-3-89288-168-1
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
ISBN-13: 978-3-89288-169-8
18 €

Heft 188
Bauen im Bestand: Beton in der Abwassertechnik; 6. Sept. 2005.
ISBN 3-89288-170-7
ISBN-13: 978-3-89288-170-4
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.
ISBN-13: 978-3-89288-171-1
18 €

Heft 190
Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Bewe(ä)hrter Betonbau: 10. und 11. November; Braunschweiger Bauseminar 2005.
ISBN 3-89288-172-3
ISBN-13: 978-3-89288-172-8
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
ISBN-13: 978-3-89288-177-3
20 €

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
ISBN-13: 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
ISBN-13: 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
ISBN-13: 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
ISBN-13: 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
ISBN-13: 978-3-89288-182-0
20 €

Heft 201
Riese, O.: Ein Brandausbreitungsmodell für Kabel. 2007.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2007.
ISBN 978-3-89288-183-4
ISBN-13: 978-3-89288-183-4
18 €

Heft 202
Hosser, D. [Hrsg,]: Braunschweiger Brandschutz-Tage ´08: 22 Fachtagung Brandschutz bei Sonderbauten, 30.09./1.10.2008 in Braunschweig. Tagungsband
ISBN 978-389288-185-8
ISBN-13: 978-3-89288-185-8
25 €

Heft 203
Klinzmann, C.: Methodik zur computergestützten, probabilistischen Bauwerksbewertung unter Einbeziehung von Bauwerkstung unter Einbeziehung von monitoring. 2008. Inhaltsverzeichnis Summary. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2008.
ISBN 978-3-89288-186-5
ISBN-13: 978-3-89288-186-5
18 €

Heft 204
Schnetgöke, R.: Zuverlässigkeitsorientierte Systembewertung von Massivbauwerken als Grundlage für die Bauwerksüberwachung. 2008.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2008.
ISBN 978-3-89288-187-2
ISBN-13: 978-3-89288-187-2
18 €

Heft 205
Bau Symposium Braunschweig (BSB 2008): Konstruktiver Holzbau; 4. November 2008. Inhaltsverzeichnis.
ISBN 978-3-89288-188-9
25 €

Heft 206
Kampmeier B.; Risikogerechte Brandschutzlösungen für den mehrgeschossigen Holzbau, 2008.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2008.
Inhaltsverzeichnis Summary.
ISBN 978-3-89288-189-6
18 €

Heft 207
Husemann, U.: Erhöhung der Verbundtragfähigkeit von nachträglich aufgeklebten Lamellen durch Bügelumschließungen. 2009.
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2009.
Inhaltsverzeichnis Summary
ISBN 978-3-89288-190-2
15 €

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 €

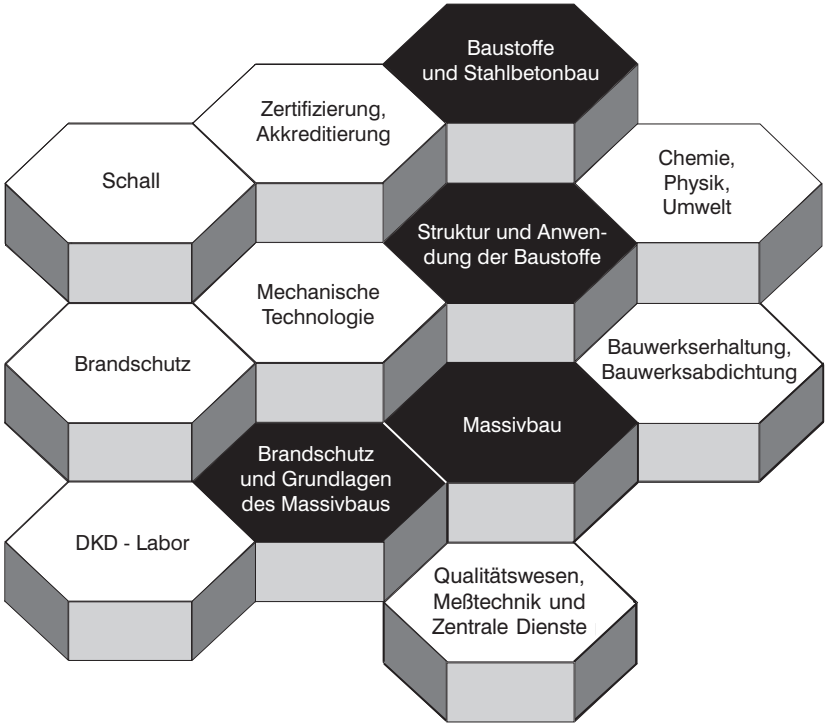
4. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 07./08.10.1991 in Braunschweig; Kurzreferate. Eigenverlag iBMB, 1991.
ISBN 3-89288-067-0
11 €

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 €

FACHGEBIETE
UND ABTEILUNGEN

ISBN 978-3-89288-191-9
ISSN 1439-3875 (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz)
ISSN 0834-2419 (Braunschweiger Brandschutz-Tage)


Baustoffe
und Stahlbetonbau
Zertifizierung,
Akkreditierung
Schall
Chemie,
Physik,
Umwelt
Struktur und Anwen-
dung der Baustoffe
Mechanische
Technologie
Brandschutz
Bauwerkserhaltung,
Bauwerksabdichtung
Massivbau
Brandschutz
und Grundlagen
des Massivbaus
DKD - Labor
Qualitätswesen,
Meßtechnik und
Zentrale Dienste