

Brandschutz im Wandel – Wie wird das Feuer morgen gebändigt?

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz,
Technische Universität Braunschweig

1 Faszinierendes Feuer, verheerende Brände

Das Feuer hat die Menschen schon seit Urzeiten fasziniert. Ohne Feuer könnte der Mensch nicht leben. Das Feuer hat viele positive Wirkungen wie Wärme, Licht oder Krafterzeugung durch Verbrennung, die sich der Mensch zu Nutze macht. Was macht die Faszination des Feuers aus? Schon kleine Kinder spielen gerne mit dem Feuer, machen gerne Stockbrot oder laufen Laterne. Auch auf erwachsene Menschen übt das Feuer eine Faszination aus. Wir sitzen gerne vor dem Kaminfeuer, „starren“ ins Feuer und beobachten, wie das Feuer gierig seine „Nahrung“ verschlingt.

Ein außer Kontrolle geratenes Feuer – ein Brand – kann jedoch verheerende Schäden anrichten, bei denen Gebäude vollständig abbrennen und Personen zu Schaden kommen können. Friedrich von Schiller (1759-1805) hat in seinem Lied von der Glocke, in dem der Prozess der Glockenherstellung beschrieben wird, sehr schön beschrieben, wie aus dem faszinierenden (Nutz-)Feuer ein verheerender Brand werden kann:

*„Wohltätig ist des Feuers Macht, wenn sie der Mensch bezähmt, bewacht...
... doch furchtbar wird die Himmelskraft, wenn sie der Fessel sich entrafft,
einhertritt auf der eignen Spur,
die freie Tochter der Natur.
Wehe, wenn sie losgelassen,
wachsend ohne Widerstand
durch die volkbelebten Gassen
wälzt den ungeheuren Brand!“*

Seit jeher versuchen die Menschen daher, sich gegen Brände zu schützen. Bereits die Ägypter und die Griechen haben Brandschutzregeln festgelegt. Im Sachsenspiegel (13. Jh.), der als eine wesentliche Keimzelle unserer Rechtsordnung gilt, war die Festlegung enthalten:

„jeder soll auch abdecken seinen Backofen und seine Mauern, dass die Funken nicht in eines anderen Mannes Hof fliegen, jenem zum Schaden“.

Hier erkennt man bereits ein wesentliches Schutzziel des Brandschutzes, welches auch heute noch in den Landesbauordnungen festgelegt ist:

„Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird.“

Darüber hinaus werden in den Landesbauordnungen noch weitere Schutzziele des Brandschutzes beschrieben:

- Ermöglichung der Rettung von Menschen und Tieren,
- Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten.

Sinn des Brandschutzes und seiner Maßnahmen ist also die Kontrolle der Einwirkung von Brand sowie der Auswirkungen eines Brandes auf Personen und das Gebäude.

Das wesentliche Prinzip des baulichen Brandschutzes ist die Vorbeugung der Ausbreitung von Feuer und Rauch, das sogenannte Abschottungsprinzip. Dies wird klassischer Weise durch Beschränkung von brennbaren Baustoffen und Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen umgesetzt.

Das Bauwesen steht jedoch infolge von Mega-Trends wie Energiewende, Nachhaltigkeit und dem demografischen Wandel vor einem Umbruch. Es werden verstärkt Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Leicht-Bausysteme und Bauteile aus hochfesten Baustoffen eingesetzt werden. Für diese Bauweisen greifen die bisherigen Brandschutzvorschriften nicht bzw. ist das Brandverhalten noch wenig erforscht. Das Grundschutzziel der Vorbeugung der Brandausbreitung muss auch künftig erfüllt werden. In diesem Beitrag wird erläutert wie der Brandschutz der Zukunft aussehen kann, der wesentlich flexibler und auf die Randbedingungen angepasst sein muss.

2 Wie hoch ist das Brandrisiko?

Das Brandrisiko ergibt sich aus der Verknüpfung der Häufigkeit (Auftrittswahrscheinlichkeit je m² und Jahr) mit dem zu erwartenden Schadensausmaß (z. B. Kosten) eines Brandes. Je geringer das Brandrisiko sein soll, desto höher müssen die Aufwendungen in entsprechende Brandschutzmaßnahmen sein. Bei geringem Brandrisiko und damit auch geringen Kosten für die Brandschutzmaßnahmen ist das Maß der Sicherheit also hoch. Je größer das Brandrisiko wird, desto größer die Sicherheit und desto größer die Gefahr für Personen im Gebäude und das Gebäude selbst (Bild 1). Es gilt also ein Optimum („effizienter Brandschutz“) zu finden, ein akzeptables Brandrisiko: das Grenzkrisiko. Wieviel Aufwand akzeptiert die Gesellschaft, um Brandschutz sicherzustellen. Die Häufigkeit bzw. Auftretenswahrscheinlichkeit eines gefährlichen Brandes hängt im Wesentlichen ab von der Art der Nutzung (Brandlasten, Nutzer) und der Größe (Fläche) der Nutzungseinheit. Unter

einem gefährlichen Brand wird ein Brand verstanden, der vom Nutzer nicht mehr zu löschen ist. Die Häufigkeit von gefährlichen Bränden in Wohnungen liegt bei ca. $5 \cdot 10^{-5} / (\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Das bedeutet, dass in einer 100 m² Wohnung statistisch gesehen alle 200 Jahre ein gefährlicher Brand zu erwarten ist.

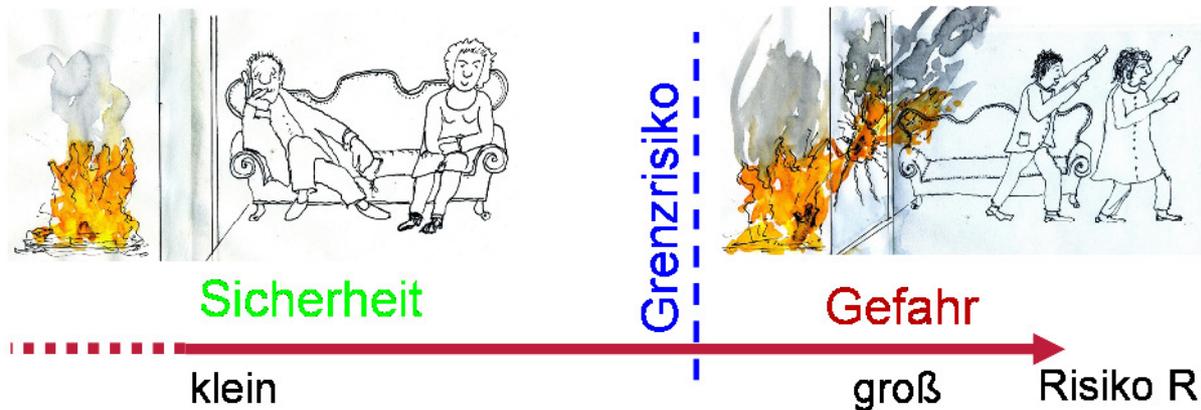


Bild 1 Bestimmung des Grenzniveaus

Brände sind also seltene Ereignisse und werden im Bauwesen daher auch als „außergewöhnliche Bemessungssituation“ eingestuft. Das Brandrisiko wird jedoch nicht nur durch die Häufigkeit bestimmt, sondern aus dem Produkt der Häufigkeit und dem Schadensausmaß. Brände sind zwar selten, können jedoch große Schäden anrichten. Beispielhaft seien hier die mittelalterlichen Stadtbrände, der Hamburger Stadtbrand von 1842, bei dem über 25% des Stadtgebiets zerstört wurden genannt, aber auch neuere Brandereignisse wie der Düsseldorfer Flughafenbrand, bei dem 1996 17 Tote zu beklagen waren und ein Sachschaden von ca. 500 Mio € entstand, oder der Brand in der Behinderten-Werkstatt in Titisee-Neustadt, der im November 2012 14 Menschen das Leben kostete. Insgesamt sind die Personenschäden bei Bränden seit einigen Jahren rückläufig. Anfang der 1990er Jahre waren in Deutschland noch jährlich mehr als 800 Brandtote zu beklagen, inzwischen hat sich die Brandtotenzahl auf 350 – 400 Opfer jährlich verringert, mehr als 90% davon in Wohnungen. Neben der Rauchwarnmelderpflicht, die inzwischen in fast allen Bundesländern gesetzlich verankert ist, kann dies u. a. auch auf die rückläufige Zahl offener Feuerstellen und einen anderen Lebenswandel der Menschen (geringerer Nikotin- und Alkoholgenuss), der die Gefahr der unbeabsichtigten Brandstiftung reduziert, zurückzuführen sein.

3 Was verursachen Brände für Schäden, welche Folgewirkungen haben sie?

Bei Bränden werden neben Wärme auch Rauchgase und Brandgase freigesetzt. Sofern Brände in Gebäuden stattfinden, können die heißen Gase und der Rauch nicht oder nur in geringem Maße ins Freie entweichen. In der Folge kann sich ein Brand ausdehnen, es

entstehen hohe Temperaturen und verrauchte Bereiche. Die Entwicklung eines Brandes ist von Brandlast (Material, Masse, Ort im Brandraum und Stapeldichte), der Ventilation (Öffnungsfläche und -höhe, ggf. mechanischer Belüftung) sowie dem Brandraum selber (Geometrie, thermische Eigenschaften der Umfassungsbauteile) abhängig. Bei gleichem Brandraum und gleicher Ventilation aber unterschiedlicher Brandlastmenge verläuft der Anstieg der Temperaturzeitkurve des Brandes zunächst gleich. Lediglich der Zeitpunkt der Maximaltemperatur und der abfallende Ast der Temperaturzeitkurve werden durch die Brandlastmenge bestimmt (Bild 2).

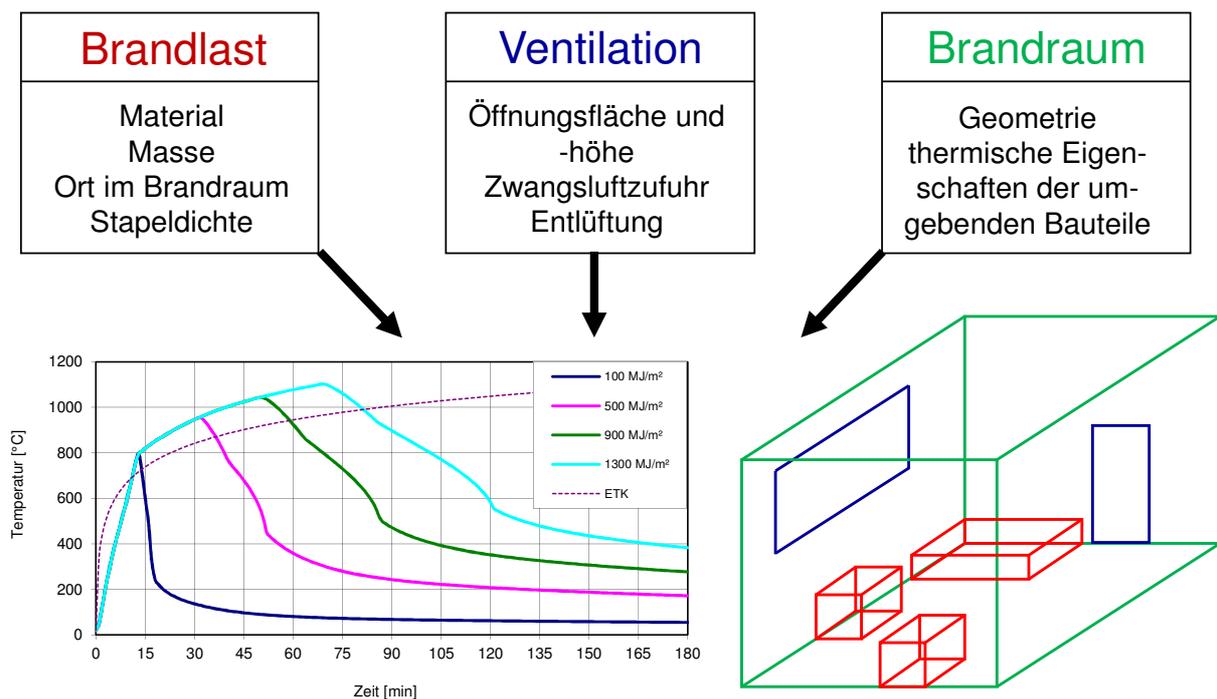


Bild 2 Einflussparameter eines Brandes und zeitlicher Verlauf der Heißgastemperatur bei unterschiedlichen Brandlastdichten

Aus der Fülle möglicher Brandverläufe wurde für die Bemessung von Bauteilen und Tragwerken in den 1930er Jahren eine Temperaturzeitkurve festgelegt, die sogenannte Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK), s. gestrichelte Linie in Bild 2. Diese Kurve wird auch heute noch für Brandversuche angewendet.

4 Welche Mega-Trends werden den Brandschutz in der Zukunft beeinflussen?

Das Bauwesen wird in den kommenden Jahren infolge aktueller gesellschaftlicher Mega-Trends vor neue Herausforderungen gestellt werden. Insbesondere die Themen Energiewende und Nachhaltigkeit aber auch der demografische Wandel und die Änderung der Lebensbedingungen werden das Bauwesen beeinflussen. Die Ressourcen für Energie aber auch Rohstoffe verknapen sich zusehends. Daher ist bei der Entwicklung neuer

Baustoffe, Bauweisen und Baukonstruktionen ein effizienter Einsatz der Ressourcen gefragt. Bisher werden Gebäude für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren oder mehr ausgelegt, wodurch ein entsprechend hoher Material und Kostenaufwand erforderlich ist. Häufig ändern sich jedoch während der Nutzungsdauer Nutzungsanforderungen oder auch gesetzliche Vorgaben, so dass Umbauten erforderlich werden, oder sogar ein Abriss und Neubau bevorzugt werden.

Neben dem verstärkten Einsatz von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, die in der Regel brennbar sind, werden auch immer häufiger hochfeste und ultrahochfeste Baustoffe eingesetzt, mit denen bei geringerem Materialeinsatz und Flächenverbrauch Vorteile hinsichtlich der Nachhaltigkeit erzielt werden können. Das Trag- und Verformungsverhalten dieser Baustoffe ist für hohe Temperaturen jedoch bisher wenig untersucht worden. Ein weiterer Punkt ist der vermehrte Einsatz von Bauteilen mit großen Abmessungen, die aufgrund der begrenzten Größe der Brandversuchsöfen nicht mehr experimentell untersucht werden können.

Als Folge der Energiewende erhöht sich die technische Ausrüstung der Gebäude. Dies gilt auch für Standard-Wohngebäude, bei denen heutzutage eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sowie Photovoltaikanlagen Standard sind. Durch diese Anlagen kann das Brandrisiko infolge erhöhter Brandlasten und Verletzung des Abschottungsprinzips erhöht werden. Weiterhin werden die Brandfallsteuerungen der Anlagen wesentlich komplexer. Dies ist auch eine Folge des demografischen Wandels, durch den ebenfalls die technische Ausrüstung der Gebäude z. B. durch Aufzüge, Fahrtreppen u. ä. erhöht wird. Die erhöhte technische Ausrüstung der Gebäude eröffnet aber auch Chancen für den Brandschutz, z. B. durch intelligente Alarmierungssysteme u. ä.

Aktuelle Trends in der Architektur verlangen ein hohes Maß an Transparenz und offene Strukturen, die insbesondere in Arbeitsstätten eine möglichst optimale Kommunikation der Nutzer ermöglichen. Diese offenen Strukturen laufen dem Grundprinzip des Brandschutzes – abzuschotten und abzutrennen – entgegen.

5 Wie wird der Brandschutz der Zukunft aussehen?

5.1 Allgemeines

Die konsequente Verfolgung der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz für Baustoffe und Bauweisen sowie der Barrierefreiheit können zu einer Erhöhung des Brandrisikos führen. Eine Absenkung des vorhandenen Sicherheitsniveaus im Brandschutz ist gesellschaftlich nicht akzeptabel, wie auch die aktuelle Diskussion um die neu zu errichtenden

Flüchtlingsheime zeigt. Die Bauministerkonferenz hat auf ihrer Sitzung am 29./30.10.2015 in Dresden einstimmig beschlossen, dass Standardabsenkungen im Brandschutz und bei der Standsicherheit nicht akzeptabel sind.

5.2 Vertiefte Erforschung der Materialeigenschaften und Weiterentwicklung von Modellen

Aufgrund dieser bereits abzusehenden Entwicklungen muss sich auch der Brandschutz neuen Herausforderungen stellen. Mit den bisher vorhandenen und praktizierten Brandschutz-Bemessungsregeln und brandschutztechnischen Anforderungen, die häufig pauschalisierend sind, kann der Brandschutz mit den Entwicklungen nicht Schritt halten.

Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts lagen Kenntnisse bzgl. der Ausbreitung von Raumbränden, deren Wirkung auf Bauteile und Baustoffe sowie das Verhalten von Bauteilen und Baustoffen bei Einwirkung hoher Temperaturen vor. Durch den von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereich 148 wurde in den 1970er und 1980er Jahren am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig das Brandverhalten von Bauteilen und Baustoffen systematisch untersucht. Hierbei standen im Wesentlichen die Konstruktionswerkstoffe Stahl und Beton im Vordergrund.

Künftig werden vielmehr innovative Ansätze und leistungsorientierte Brandschutznachweise und leistungsfähige Bauprodukte erforderlich werden, bei denen sowohl die Einwirkungsseite als auch die Reaktion der Baustoffe, Bauteile und der Gebäude insgesamt auf diese Einwirkungen wesentlich detaillierter bestimmt werden müssen. Hierfür sind geeignete Modelle zu entwickeln bzw. die vorhandenen Modelle weiterzuentwickeln. Als Beispiel sei hier das Materialverhalten in der Abkühlphase genannt. Für die Aufheizphase ist das Materialverhalten der vorwiegend verwendeten Konstruktionsbaustoffe Beton und Stahl im normalfesten Bereich gut erforscht. Dies ist für die Beschreibung des Trag- und Verformungsverhaltens von Bauteilen unter Beanspruchung nach der Einheits-Temperaturzeitkurve, die stetig ansteigt (s. Bild 2) ausreichend. Künftig werden Brandverläufe aber realistischer betrachtet werden, die Brandsimulationsmodelle sind dazu bereits in der Lage. Jedoch ist über das Materialverhalten von Stahl und insbesondere Beton in der Abkühlphase wenig bekannt. Es ist jedoch evident, dass das Materialverhalten von Beton nicht reversibel ist, was alleine schon an der Tatsache festgemacht werden kann, dass das im Zuge des Aufheizprozesses verdampfte Wasser nicht wieder in den Beton eindringt.

Aus Gründen der Nachhaltigkeit müssen wir die Baustoffe höher auslasten, also hochfeste Baustoffe einsetzen. Können wir die Materialkennwerte normalfester Baustoffe 1:1 auf die

hochfesten und ultrahochfesten Baustoffe übertragen? Das Materialverhalten hochfester und ultrahochfester Betone kann nicht durch Extrapolation der Materialkennwerte normalfester Baustoffe bestimmt werden.

Dies soll am Beispiel des ultrahochfesten Betons erläutert werden:

In am iBMB durchgeführten Versuchen unter Hochtemperaturbeanspruchung wurde festgestellt, dass die Druckfestigkeit von ultrahochfestem Beton im Vergleich zu Normalbeton langsamer abfällt und insgesamt ein duktileres Verhalten vorliegt. Allerdings ist die Abplatzneigung des hochfesten und noch mehr des ultrahochfesten Betons aufgrund des dichten Gefüges und der geringeren Permeabilität sehr viel größer als beim normalfesten Beton (s. Bild 3).

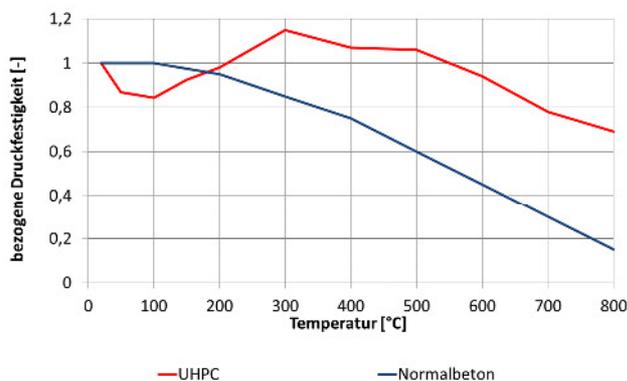


Bild 3 Abfall der Druckfestigkeit von Normalbeton und ultrahochfestem Beton (UHPC) bei hohen Temperaturbeanspruchungen (links) und Stütze aus UHPC mit Abplatzungen (rechts)

Der Brandschutz wird „berechenbarer“ werden müssen. Die Verbrennungsmodelle sind weiterzuentwickeln, so dass das reale Abbrandverhalten und die Wärme- und Stofffreisetzung berücksichtigt werden kann. Die Modelle sind jedoch nur so gut wie Ihre Input-Daten. Es liegen immer noch vergleichsweise wenige, nachvollziehbar validierte und gut dokumentierte Daten vor.

Das Abbrandverhalten von Baustoffen aus nachwachsenden Baustoffen muss stärker erforscht werden. Das Entzündungsverhalten von Holz ist bereits umfangreich untersucht worden. Die Zersetzung von Baustoffen durch Hitze (Pyrolyse) und das Glimmen sind noch nicht vollständig verstanden.

Für den Raumabschluss, die Integrität von Bauteilen wie z. B. leichte Trennwände oder Abschottungen existieren noch keine bzw. sehr vereinfachte Modelle. Diese sind jedoch gerade bei Naturbrandverfahren von großer Bedeutung.

Ein wichtiges Ziel ist die Schaffung von umfangreichen Datenbanken und Bibliotheken mit den Ergebnissen aus Brandversuchen, Realbränden und Simulationen.

Diese Daten können zum einen als Eingabedaten und zum anderen für die Validierung von Berechnungen verwendet werden. Brände sind ein äußerst dynamischer Prozess und unterliegen einer Vielzahl an veränderlichen Parametern, so dass Experimente auch weiterhin eine wichtige Basis für Rechenmodelle sein müssen.

Hier sind sowohl experimentelle Untersuchungen im Kleinmaßstab, mittleren Maßstab aber auch im Großmaßstab erforderlich. Brandversuche zeigen immer wieder, dass eine Extrapolation von Ergebnissen im Kleinmaßstab auf den Großmaßstab nicht einfach möglich ist. Daher ist die Entwicklung hier besonders voran zu treiben.

5.3 Brandsichere Systeme entwickeln

Auch bei Verwendung von Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen ist das vorhandene Sicherheitsniveau beizubehalten. Die Entwicklung von „brandsicheren Systemen“ muss vorangetrieben werden. Erste Ansätze gibt es bereits: Kapselung, Sperren, Verbundsysteme, anlagentechnische Maßnahmen, die dazu führen, dass das Risiko des Einsatzes der nachwachsenden Baustoffe gesellschaftlich vertretbar bleibt. Auch sind neue Prüfverfahren zu entwickeln, die den Veränderungen Rechnung tragen.

5.4 Leichte Bauweisen

Ähnlich wie bei den nachwachsenden Baustoffen gilt es „Brandschutzkonzepte“ für die Anwendung von leichten Bauweisen zu entwickeln. Leichte Bauweisen, z. B. Stahl-Holz-Verbundkonstruktionen gelten als nachhaltig. Aufgrund ihrer geringen Massigkeit erwärmen sie sich im Brandfall jedoch schnell und können versagen. Hier sind geeignete Schutzmaßnahmen weiterzuentwickeln wie z. B. reaktive Brandschutzsysteme, die im Brandfall aufschäumen. In Bild 4 (rechts) ist die Aufschäumung dargestellt (Trockenschichtdicke ca. 1 mm, Aufschäumzahl ca. 30-40) Es sind intelligente Systeme zu konstruieren, bei denen im Brandfall Teilsysteme ausfallen können (Sollbruchstellen), hierfür sind die Verbindungen auszulegen (Sollbruchstellen, Verformbarkeit).

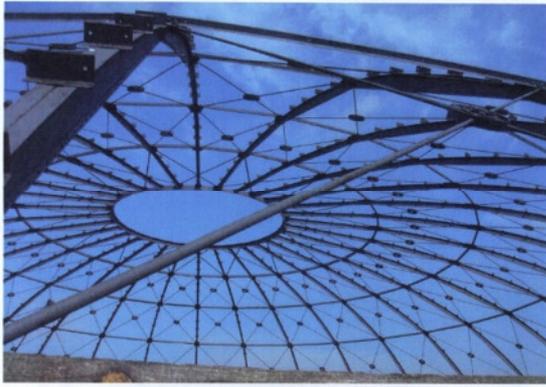


Bild 4 Leichte Bauweisen (links) und Brandschutz durch reaktive Systeme (rechts)

5.5 Intelligente Assistenzsysteme

Aufgrund der künftig stärkeren Auslastung von Hilfskräften in Pflegeheimen und Krankenhäusern, zur Kompensation der im ländlichen Bereich zu erwartenden sinkenden Leistungsfähigkeit von Feuerwehren aufgrund von Personalmangel und Überalterung sowie der komplexer werdenden Gebäude in Ballungsgebieten sind in Zukunft Unterstützungssysteme für die Helfer und die Nutzer von Gebäuden erforderlich. Mit der Entwicklung intelligenter Assistenzsysteme kann es gelingen, trotz der Herausforderungen des demografischen Wandels das bestehende Sicherheitsniveau beizubehalten oder sogar noch zu steigern. Basis ist hierbei die anwendungsorientierte Erfassung von realen Bränden durch umfangreiche Sensorik. Auf der Grundlage von im Gebäude integrierten Sensoren sollen Einsatz- und Hilfskräften relevante Informationen zum aktuellen Brandverlauf sowie rechnerische Prognosen (z. B. Art und Intensität des Brandes, bisherige und wahrscheinlich folgende Ausbreitung etc.) übermittelt werden, um die Lageerkundung zu unterstützen und über die Auswirkungen des Brandes belastbare Informationen zu erhalten, damit zielgerecht Rettungs- und Brandbekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden können, ohne viel Personal zu binden (s. Bild 5). Hier sind auch aktive bzw. alternative Steuerungen von Brandschutzeinrichtungen mit Vorkühlungen denkbar.

Im Hinblick auf eine möglicherweise notwendige Fremdrettung durch die Feuerwehr – speziell in Einrichtungen mit einer hohen Anzahl an mobilitätseingeschränkten Personen – können die Sensoren noch im Gebäude befindliche Personen und deren Aufenthaltsorte identifizieren.

Zusätzlich können die durch die Gebäudesensorik erfassten Informationen zur Steuerung eines voll-dynamischen Fluchtwegleitsystems zur Unterstützung von Pflegepersonal in Pflegeheimen und Krankenhäusern für die Gewährleistung einer effektiven Räumung im Brandfall verwendet werden.

Die Verwendung von intelligenten Assistenzsystemen erfordert eine hohe Robustheit der Systeme und ein hohes Maß an Zuverlässigkeit.

Durch eine Rückkopplung der im realen Brandfall gewonnenen Informationen an Datenbanken, können die Modelle weiterentwickelt werden.

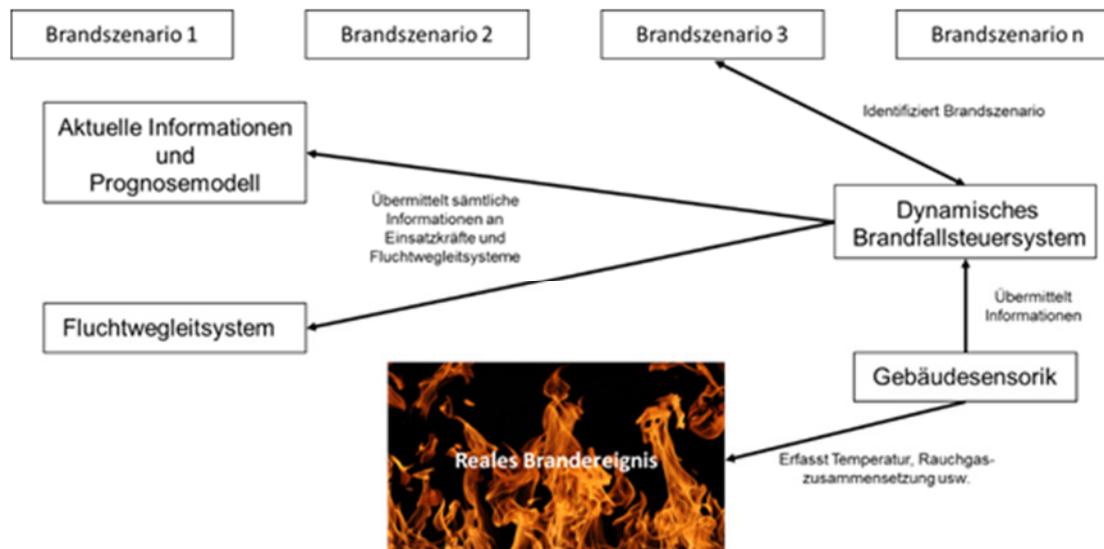


Bild 5 Intelligentes Assistenzsystem mit Unterstützung von Gebäudesensoren

6 Zusammenfassung

An den Brandschutz werden künftig Herausforderungen aufgrund der gesellschaftlichen Mega-Trends wie Nachhaltigkeit, Energiewende und demografischer Wandel gestellt werden. Die bisherigen Brandschutzregeln und -vorschriften werden flexibler werden müssen und sich den Gegebenheiten anpassen müssen.

Dies erfordert eine vertiefte Erforschung des Materialverhaltens bei unterschiedlicher Brandbeanspruchung und eine wesentliche Weiterentwicklung der numerischen Modelle um leistungsorientierte Brandschutzkonzepte zu erstellen.

Gleichzeitig erfordert die Gewährleistung der Sicherheit von Personen und Löschkräften im Brandfall intelligente Assistenzsysteme, damit das hohe Sicherheitsniveau im Brandschutz auch künftig gegeben ist bzw. sogar erhöht werden kann.