

Ingenieurmethoden des Brandschutzes

Autor: Dr. Volker Schneider

Schnellübersicht	
Zielgruppe/Bedeutung¹	
(A) *	(FI) **
(SB) **	(FW) **
(B) *	
Zweck	
Das deutsche Baurecht gestattet Abweichungen von seinen materiellen Anforderungen, sofern dabei eine gleichwertige Sicherheit nachgewiesen werden kann. Dieser Nachweis kann unter Bezug auf quantitativ formulierbare Sicherheitskriterien durch Ingenieurmethoden erbracht werden.	
Anwendungsbereiche	
Erstellen von Brandschutzkonzepten, Bemessung brandschutztechnischer Maßnahmen, Beurteilung rechnerischer Nachweise	
Gesetzliche Grundlagen	
Musterbauordnung (MBO) – Fassung November 2002, zuletzt geändert im Oktober 2008	Bauordnungen und Landesbauordnungen der jeweiligen Bundesländer
Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL) – Fassung März 2000	DIN EN 1991-1-2 und DIN EN 1991-1-2/NA (Eurocode 1 und zugehöriger nationaler Anhang)
Muster-Versamlungsstätten – Fassung Juni 2005	

¹ Zur Erklärung der Symbole siehe Teil 1/2, Seite 1.

Ingenieurmethoden des Brandschutzes

Einleitung

Das deutsche Baurecht mit seinen Bauordnungen und Sonderbauvorschriften der Länder basiert primär auf deskriptiven (materiellen) Anforderungen, lässt aber auch Raum für Abweichungen. Diese können sich aus grundsätzlichen baulichen Besonderheiten, individuellen Gestaltungswünschen oder aus betrieblichen Gründen ergeben. Werden Abweichungen beantragt, können sie unter Auflage ausreichender Kompensationsmaßnahmen genehmigt werden. Dabei spielt der Nachweis einer gleichwertigen Sicherheit zwischen baurechtlicher Vorschrift und der Umsetzung der Abweichungen eine zentrale Rolle. Hier bieten Ingenieurmethoden die Möglichkeit, das Erfüllen qualitativer Anforderungen nachzuweisen, die sich aus den baurechtlichen Schutzzielen ergeben. Auch unabhängig vom bauordnungsrechtlichen Genehmigungsverfahren lassen sich Ingenieurmethoden bei der Planung und Bemessung brandschutztechnischer Maßnahmen einsetzen, um z.B. aus verschiedenen sicherheitstechnisch gleichwertigen Lösungen die kostengünstigste oder die für den laufenden Betrieb am besten geeignete Variante herauszufinden. Typische Anwendungsfälle für Ingenieurmethoden sind damit u.a. im Bereich von Versammlungsstätten, komplexen Verkaufsstätten, Verkehrsanlagen, großen Tiefgaragen, Beherbergungsstätten und Industriebauten zu finden.

Die Ingenieurmethoden im Bereich des Brandschutzes lassen sich zunächst in die beiden Gruppen der Brandsimulationsmodelle und der Entfluchtungsmodelle einteilen. Die Brandsimulationsmodelle lassen sich weiter unterteilen in Verfahren zur Bauteilbemessung sowie zur Rauch- und Wärmeausbreitung.

Dies stellt jedoch keine strikte Trennung dar, da insbesondere komplexere Simulationsmodelle beide Aspekte gemeinsam behandeln können. Entfluchtungsmodelle befassen sich mit der Bestimmung von Fluchtzeiten und der Analyse des Personenstroms, um mögliche Gefährdungssituationen (z.B. Staubbildung in unübersichtlichen Bereichen) aufzudecken.

Zu den Ingenieurmethoden im weiteren Sinne gehören auch die sog. physikalischen Modelle. Darunter versteht man Nachbauten des zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudeabschnitts im verkleinerten Maßstab, in denen mit geeignet skalierten Szenarien z.B. die Luft- und Rauchströmung sowie die Temperaturverteilung innerhalb des Modells bestimmt wird. Da in der Anwendungspraxis jedoch überwiegend rechnerische Nachweisverfahren zum Einsatz kommen, wird hinsichtlich der physikalischen Modelle hier auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen. Einen umfassenden Überblick über die unterschiedlichen Typen physikalischer Modelle mit ihren Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsgrenzen im Bereich des Brandschutzes findet man in [1].

Der Praktiker, der sich im Rahmen der Entwicklung oder Bewertung eines Brandschutzkonzepts mit dem Einsatz von Ingenieurmethoden zu befassen hat, sieht sich mit drei grundsätzlichen Fragestellungen konfrontiert:

- Welches Modell oder welcher Modelltyp ist für meinen speziellen Anwendungsfall geeignet?
- Welche Art von Eingangsdaten benötige ich und in welcher Genauigkeit?
- Wie verlässlich sind die Ergebnisse der Berechnungen?

Ingenieurmethoden des Brandschutzes

Die folgenden Ausführungen werden praxisnahe Antworten auf diese Fragen geben und dabei die eng miteinander verknüpften Themen Festlegung geeigneter Szenarien, Modelleigenschaften sowie Interpretation und Bewertung erzielter Resultate behandeln. Zu den Ingenieurmethoden im Brandschutz im Allgemeinen sowie zu speziellen Verfahren und Anwendungsfällen gibt es zahlreiche Fachliteratur. Einen detaillierten Überblick zu diesem Thema mit ausführlichen Literaturverweisen und reichhaltigem Datenmaterial bietet z.B. der vfdb-Leitfaden „Ingenieurmethoden im Brandschutz“ [1]. Im englischsprachigen Raum ist das SFPE-Handbook of Fire Protection Engineering [2] hervorzuheben, welches auch dem Praktiker sowohl notwendige Hintergrundinformationen als auch konkrete Lösungsansätze vermittelt.

Schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte

Während Brandmodelle schon seit einigen Jahrzehnten u.a. auch als Nachweisverfahren eingesetzt werden, spielen Entfluchtungsmodelle erst in jüngerer Zeit eine zunehmend bedeutsame Rolle in der Anwendungspraxis. Dies liegt daran, dass eine schutzzielorientierte Betrachtungsweise (im englischen wird der Begriff „performance-based fire engineering“ benutzt) immer mehr an Bedeutung gewinnt. Ein Kerngedanke dabei ist, dass unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten, der Nutzung und der brandschutztechnischen Maßnahmen durch eine Analyse bemessungsrelevanter Brandereignisse das Schutzziel der Personensicherheit nachgewiesen werden soll. Das heißt konkret, dass für alle betroffenen Personen sowohl die verfügbare als auch die erforderliche Fluchtzeit ermittelt werden müssen. Eine notwendige Mindestanforderung ist dann, dass die ver-

fügbare Fluchtzeit größer als die erforderliche Fluchtzeit sein muss. Die verfügbare Fluchtzeit wird durch die Rauch- und Wärmeausbreitung in dem betroffenen Gebäude oder Abschnitt begrenzt und lässt sich durch entsprechende Ingenieurmethoden bestimmen. Die erforderliche Fluchtzeit gibt an, innerhalb welcher Zeitspanne betroffene Personen einen sicheren Bereich erreichen können. Diese kann mithilfe von Entfluchtungsmodellen berechnet werden. Nachfolgend werden zuerst die Brandmodelle und anschließend die Entfluchtungsmodelle, jeweils mit Bezug auf die zugehörigen Szenarien, behandelt.

Festlegung von Bemessungsbrandszenarien

Am Beginn der Festlegung eines Brandszenariums steht die Frage, welche Schutzzielkriterien untersucht werden sollen. In der Praxis sind dies vor allem die folgenden Anforderungen:

- Freihaltung der Flucht- und Rettungswege von Wärme und Rauch (Selbstrettung)
- Kontrolle und Begrenzung der Rauch- und Wärmeausbreitung im Gebäude bzw. Abschnitt (Fremdrettung, Löschmaßnahmen)
- Begrenzung der thermischen Beanspruchung von Bauteilen (Standicherheit und Raumabschluss)
- Sachwertschutz (z.B. Betriebsunterbrechung als Folge von Rauchausbreitung in bestimmten Bereichen)
- Umweltschutz

Die für die Bemessung von brandschutztechnischen Maßnahmen relevanten Szenarien können für bestimmte Schutzzielkriterien unterschiedlich sein, und auch für ein bestimmtes Schutzzielkriterium müssen

Ingenieurmethoden des Brandschutzes

in der Regel mehrere Szenarien untersucht werden. Dabei müssen diese Bemessungsbrandszenarien einen Großteil von etwa 90–95 % [1] aller möglichen Szenarien auf der sicheren Seite liegend erfassen, jedoch nicht jedes einzelne vorstellbare Szenarium mit extrem unwahrscheinlichen Randbedingungen. Man spricht hier von „Worst-Credible“-Szenarien im Gegensatz zu „Worst-Case“-Szenarien.

In der Praxis empfiehlt sich die folgende Vorgehensweise bei der Festlegung von Bemessungsbrandszenarien: Zunächst verschafft man sich aus den Plänen der Architekten und Fachplaner – ggf. bei bereits vorhandenen Bauwerken auch durch Eindrücke vor Ort – einen Eindruck der baulichen Struktur des zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudeabschnitts, der Baumaterialien, der Lüftungssituation im Normal- sowie im Brandfall sowie der vorhandenen bzw. geplanten (zu bemessenden) Anlagentechnik.

Danach sind konkret die maßgeblichen Brandherde festzulegen und parametrisch zu beschreiben. Dazu gehören:

- Lage des Brandherds
- Brandheftigkeit
- Einfluss von Ventilation und Anlagentechnik auf den Brandverlauf

Lage des Brandherds

Die möglichen Brandausbruchsorte sind zum einen durch die tatsächliche bzw. geplante Verteilung der Brandlasten beschränkt. Hier sind jedoch unbedingt variable Brandlasten sowie eventuelle spätere Nutzungsänderungen zu berücksichtigen. Andernfalls können sich aus der Festlegung der Brandszenarien konkrete Einschränkungen für abweichende Nutzun-

gen ergeben, die dann auch entsprechend im Brandschutzkonzept aufgeführt werden müssen. So kommen z.B. für ein Atrium mit Eingangshalle, für welches eine Entrauchungssimulation durchzuführen ist, neben den fest vorhandenen Brandlasten im Bereich des Empfangs und der Sitzgruppen auch variable Ausstellungs- und Dekorationsflächen in Betracht.

Danach sollte durch die Wahl von ungünstigen (im Bezug auf das Schutzzielkriterium) Brandorten die Anzahl der maßgeblichen Brandszenarien weiter eingeschränkt werden. Für die Bewertung der Rauchausbreitung ungünstige Brandorte liegen z.B. im Bereich der Luftströmung einer Zuluftöffnung. Dabei können Verwirbelungen in der Rauchfahne (Plume) über der Brandquelle auftreten, welche die Bildung einer Rauchsicht behindern und Rauch auch in tieferliegende Bereiche transportieren. Entsprechendes gilt für Brandorte unterhalb von Galerien oder vergleichbaren baulichen Strukturen, welche den aufsteigenden Rauch zuerst ablenken und auch abkühlen, bevor er weiter nach oben aufsteigen kann. Möchte man dagegen die thermische Belastung einer Dachkonstruktion untersuchen, ist ein möglichst ungestört direkt unterhalb des Daches aufsteigender Plume bemessungsrelevant.

Bei der Festlegung eines Bemessungsbrandszenarios genügt es in der Regel, die Brandheftigkeit durch einen vorab festgelegten zeitabhängigen Brandverlauf zu beschreiben. Dieser muss für das zu erfüllende Schutzziel hinreichend konservativ sein. Eine wesentliche Kenngröße ist hier zunächst die Wärmefreisetzungsrates $\dot{Q}(t)$ (üblicherweise in den Einheiten kW oder MW angegeben), also die Wärmemenge, die bei der Verbrennung des Brandguts pro Zeiteinheit frei-

Brandheftigkeit

Ingenieurmethoden des Brandschutzes

gesetzt wird. Die Variable t beschreibt die Branddauer, wobei $t = 0$ den Beginn des Bemessungsbrands festlegt. Die Wärmefreisetzungsrate enthält einen Anteil \dot{Q}_r , welcher direkt an die Umgebung abgestrahlt wird, und einen konvektiven Anteil \dot{Q}_c . Letzterer ist die Energiequelle für die auftriebsbehaftete Konvektionsströmung, die durch den Brand in den betroffenen Gebäudeabschnitten hervorgerufen wird. Diese Aufteilung ist wichtig, da viele Modelle direkt \dot{Q}_c als Eingangsgröße benötigen.

Eine alternative Vorgehensweise wäre die Berechnung der Wärmefreisetzungsrate direkt aus einer durch vorhandene Masse, Brennstoffart und Lagerkonfiguration vorgegebenen Brandlast mithilfe eines Verbrennungsmodells. Dies ist jedoch zum einen zurzeit nur für sehr einfache Anordnungen möglich, zum anderen ist die genaue Anordnung des Brandguts in der Regel auch nicht ausreichend genau bekannt. Man wird in der Praxis also in aller Regel auf einen festgelegten Bemessungsbrand zurückgreifen.

Die Wärmefreisetzungsrate berechnet sich aus der üblicherweise für bestimmte Nutzungen bzw. Brandgutklassen konstant angenommenen flächenspezifischen Wärmefreisetzungsrate \dot{Q}'' und der zeitlich variablen Brandfläche $A(t)$,

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}'' \cdot A(t).$$

Die Brandfläche ist abhängig von der Brandausbreitungsgeschwindigkeit v_{aus} und den baulichen Randbedingungen. Sie bezieht sich in der Regel auf die horizontale Ausbreitung, in Sonderfällen (z.B. Regalbrände) auch auf eine vertikale Ausbreitung. Für den Fall einer unbehinderten gleichmäßigen horizon-

talent Brandausbreitung in alle Richtungen ergibt sich eine kreisförmige Brandfläche. Dies führt auf eine Wärmefreisetzungsrage, die quadratisch in der Zeit anwächst,

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}'' \cdot \pi \cdot v_{\text{aus}}^2 \cdot t^2.$$

Die flächenspezifische Brandleistung erhält man aus entsprechenden Tabellenwerken für häufig vorkommende Nutzungsarten oder besondere Brandlasten, zu finden etwa in [1, 2, 3]. Um die Brandausbreitungsgeschwindigkeit festlegen zu können, werden die nutzungsabhängigen Brandlasten in bestimmte Kategorien der Brandentwicklung eingeteilt. In der Praxis verwendet man die Kategorien „langsam“, „mittel“, „schnell“ und „sehr schnell“, die sich aus der Zeit $t_{1\text{MW}}$ definieren, nach welcher der Bemessungsbrand einen Referenzwert von 1 MW erreicht hat (Tabelle 1). Das heißt, die Brandausbreitungsgeschwindigkeit innerhalb der einzelnen Kategorien hängt von der jeweiligen flächenspezifischen Brandleistung ab. Weitere Vorgaben für klassifizierte Brandausbreitungsgeschwindigkeiten findet man z.B. in DIN 18232-2 oder in DIN EN 1991-1-2 (Eurocode 1). Tabelle 2 zeigt einige praxisrelevante Einordnungsbeispiele. Der Verlauf der Wärmefreisetzungsrage für diese vier Kategorien ist in Bild 1 dargestellt.

Tabelle 1: Kategorien der Brandentwicklung

Brandentwicklung	$t_{1\text{MW}}$	v_{aus} für 250 bzw. 500 kW/m ²
langsam	600 s	0,11 m/min bzw. 0,08 m/min
mittel	300 s	0,23 m/min bzw. 0,16 m/min
schnell	150 s	0,45 m/min bzw. 0,32 m/min
sehr schnell	75 s	0,90 m/min bzw. 0,64 m/min

Tabelle 2: Brandentwicklung für typische Nutzungen und Brandlasten (nach [1])

Brandentwicklung	Nutzungsart	Brandlast
langsam	Gemäldegalerie	dicht gepackte Holzwaren
mittel	Wohnung, Büro, Hotelzimmer, jegliche Nutzung ohne leicht brennbare Stoffe	Matratzen, massive Holzmöbel, Möbelstücke mit geringer Menge an Kunststoffen
schnell	Laden	hochgestapelte Holzpaletten, gefüllte Postsäcke, Kartonage auf Paletten, Polstermöbel, Kunststoff- schaum
sehr schnell	Lager, spezielle industrielle Nutzungen	Polstermöbel, hochgestapelte Kunststoffe, dünne Holzmöbel

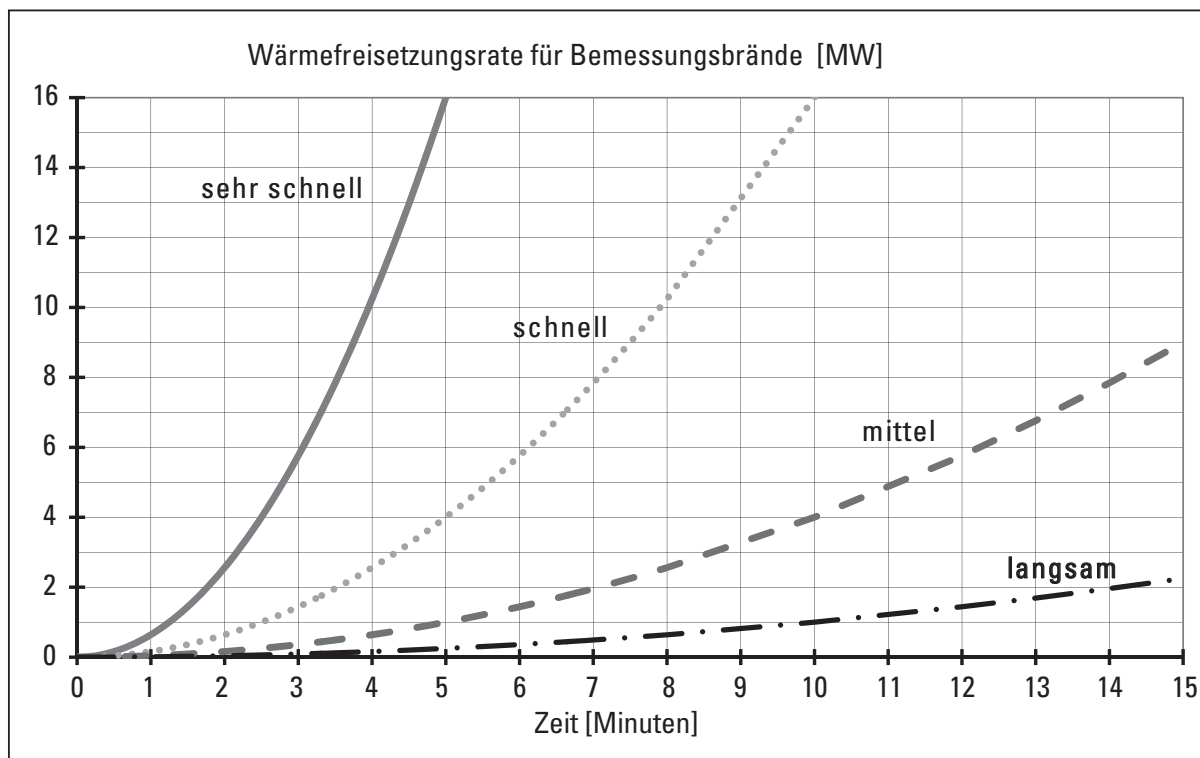


Bild 1: Wärmefreisetzungsraten für unterschiedliche Brandentwicklungen