



**Entwicklung der Bemessungsregeln  
für den Brandschutz im Stahlbau**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann  
Institut für Stahlbau  
Universität Hannover**

**Brandschutz  
Fachseminar und Workshop  
FH München – Bauen mit Stahl e.V.**

**München  
13./14. April 2000**



## 1 Einleitung

In Deutschland ergeben sich die Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile aus den Bauordnungen der Länder und ggfs. aus Sonderbauordnungen. Lediglich in wenigen Fällen werden keine Anforderungen gestellt, so dass Stahlbauteile dort ohne besondere Brandschutzmaßnahmen zum Einsatz kommen können. Dazu gehören :

- freistehende Einfamilienhäuser bis zu zwei Geschossen,
- andere freistehende Gebäude ähnlicher Größe und freistehende landwirtschaftliche Betriebsgebäude,
- oberste Geschosse von Dachräumen,
- offene, oberirdische Parkgaragen und
- Industriebauten unter besonderen Bedingungen.

Ansonsten werden je nach Anzahl der Geschosse und nach Gebäudenutzung mehr oder weniger hohe Anforderungen an den Feuerwiderstand gestellt, die durch die Feuerwiderstandsklassen F 30, F 60, F 90 oder noch höher entsprechend DIN 4102-2 [1] ausgedrückt werden. Stahlbauteile haben im Vergleich zu Massivbauteilen von sich aus geringere Widerstandsfähigkeit gegen Feuer. Die Ursache hierfür sind zum einen die hohe Wärmeleitfähigkeit von Baustahl und zum zweiten die vergleichsweise geringe Massigkeit der Bauteile. Diese beiden technologischen Eigenschaften führen im Brandfall beim ungeschützten Stahlbauteil zu einer schnellen Erwärmung und entsprechend reduzierter Tragfähigkeit.

Bei Stahlbauteilen wird der Feuerwiderstand durch direkt am Bauteil angebrachte Brandschutzmaßnahmen oder durch Abschirmung, z.B. bei Trägern in Form von Unterdecken, erreicht. Diese Produkte sind entweder nach DIN 4102-4 [2] klassifiziert oder sie bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses oder einer Zustimmung im Einzelfall. Darüber hinaus besteht die verbreitete Möglichkeit, den Brandschutzanforderungen durch Anwendung der Verbundbauweise zu entsprechen (s. dazu [3]).

Zu den direkt am Stahlbauteil wirkenden Brandschutzmaßnahmen gehören

- dämmschichtbildende Anstriche (DSB),
- plattenförmige Bekleidungen und
- Putze.

Während dämmschichtbildende Anstriche lediglich bei geringeren Anforderungen bis etwa F 60 zu Anwendung kommen, können mit plattenförmigen Bekleidungen und Putzen leicht Feuerwiderstandsklassen bis F 120 erreicht werden. In Deutschland liegen die Kosten für diese Brandschutzmaßnahmen für übliche Hochbaukonstruktionen leider in der Größenordnung der Kosten für den



Baustahl. Dabei ist der Grad der Anforderung, ob F 30 oder F 90, im Hinblick auf die Kosten nicht ausschlaggebend. Bereits die niedrigste Feuerwiderstandsklasse erfordert Aufwendungen von etwa 1000 DEM pro t Stahlkonstruktion (s. Bild 1).

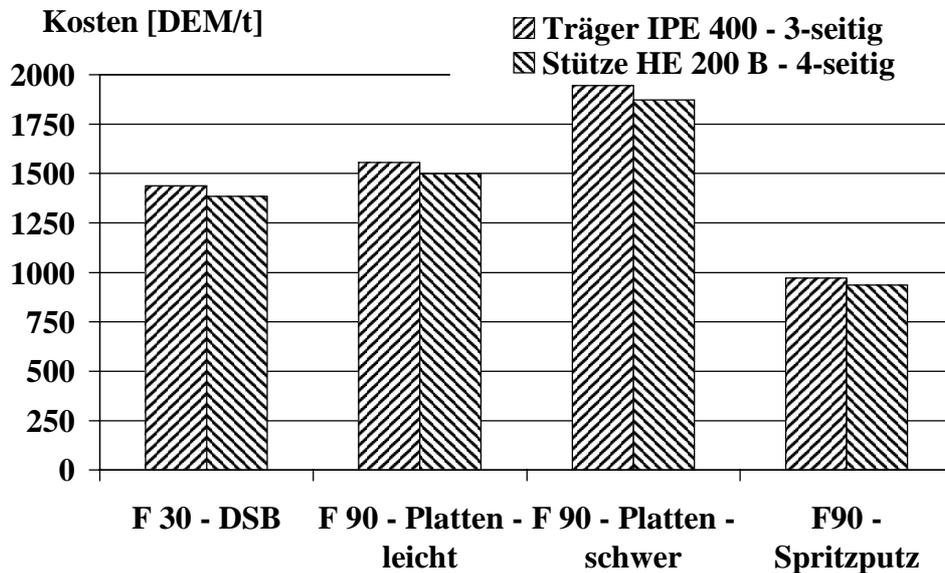


Bild 1: Ungefähre Kosten von Brandschutzmaßnahmen für Stahlbauteile in DEM pro t Stahlkonstruktion nach [4]

Vor diesem Hintergrund ist nach den wesentlichen Einflussgrößen zu fragen, die das Verhalten von Stahlbauteilen im Brandfall bestimmen und damit den Grad der Anforderungen und die daraus abzuleitenden Schutzmaßnahmen festlegen.

Ferner wird in diesem Beitrag beschrieben, welche Auswirkungen auf den Brandschutz im Stahlbau die Entwicklung sogenannter Ingenieurmethoden des vorbeugenden baulichen Brandschutzes erwarten lassen.

## 2 Tragverhalten im Brandfall

Die Sicherheitsanforderungen im Bauwesen laut Bauproduktenrichtlinie 89/106/EEC verlangen, „... dass im Fall der Entstehung eines Brandes die Tragfähigkeit der Konstruktion für eine definierte Dauer vorausgesetzt werden kann ...“. Wird die erforderliche Widerstandsdauer mit  $t_{\text{requ}}$  und die Zeit bis zum Versagen der Konstruktion mit  $t_u$  bezeichnet, so lässt sich diese Forderung vereinfacht in folgender Bedingungsgleichung ausdrücken:

$$t_u \geq t_{\text{requ}} \quad (1)$$



So einfach diese Bedingungsgleichung zunächst erscheint, so komplex wird sie bei näherem Hinsehen.

Schon bei der Frage nach der erforderlichen Dauer  $t_{\text{requ}}$  wird die Kompliziertheit deutlich. Die „definierte Dauer“, von der in der Bauproduktenrichtlinie gesprochen wird, entspricht nicht etwa den 30 oder 90 Minuten des Normbrandversuches. Es hat sich fälschlicherweise eingebürgert, an dieser Stelle sofort den Zusammenhang zu den Feuerwiderstandsklassen des Normbrandversuches herzustellen. Die Dauer  $t_{\text{requ}}$  ist im Gegenteil in keiner gesetzlichen Vorschrift, DIN-Norm oder Richtlinie quantitativ festgelegt. Sie orientiert sich an den primären Schutzziele des Brandschutzes, die dem Personenschutz gewidmet sein müssen. Zum Beispiel daran, wie viel Zeit für Flucht oder Rettung im Gebäude befindlicher Personen oder für die Durchführung von Brandbekämpfungsmaßnahmen notwendig ist. Hier spielen zahlreiche Parameter wie z.B. die Höhe der Brandbelastung und die Art und Nutzung des Gebäudes eine Rolle. In der Bau- und insbesondere in der Genehmigungspraxis muss das Fehlen objektiver Kriterien zur Festlegung dieser erforderlichen Dauer  $t_{\text{requ}}$  immer wieder zu differierenden Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile führen, wenn im Einzelfall mit erheblichen Ermessensspielräumen agiert wird.

Einen Ausweg im Hinblick auf realistische, objektspezifische Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile bietet ein über die „definierte Dauer“ hinausgehender Ansatz. Dabei wird nicht nach der oben angesprochenen „definierten Dauer“  $t_{\text{requ}}$  gefragt, sondern danach, welche thermische Belastung der Bauteile bei einem Brand maximal möglich ist. Die thermische Belastung drückt sich meist in Brandgastemperatur-Zeitkurven, sogenannten Naturbrandkurven, aus. Die Bedingungsgleichung (1) geht dann über in einen Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$E_{\text{fi,d,t}} \leq R_{\text{fi,d,t}} \quad (2)$$

mit

$E_{\text{fi,d,t}}$  Bemessungswert der mechanischen Einwirkungen im Brandfall

$R_{\text{fi,d,t}}$  Bemessungswert der Beanspruchbarkeit im Brandfall

(Indizes: fi für fire; d für design; t für time)

Der Index t stellt über die Branddauer t einen Zusammenhang zu dem im Brandverlauf zur Zeit t herrschenden Temperaturfeldern her.



Die Erfüllung der Gleichung (2) stellt sicher, dass das Versagen der Konstruktion während eines Brandes nicht eintritt (s. Bild 2).

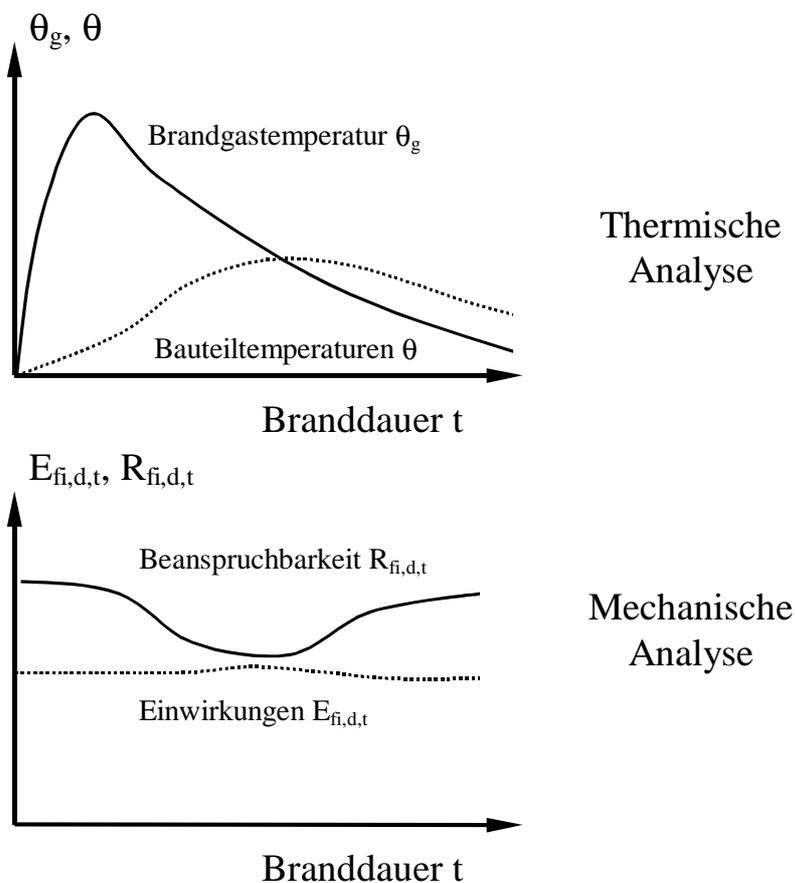


Bild 2 Tragverhalten im Brandfall

Für die Anwendung von Berechnungsverfahren lassen sich aus Bild 2 direkt die verschiedenen Teilaufgaben ablesen:

- Berechnung der Brandgastemperatur-Zeitkurven
- Berechnung der Bauteiltemperaturen
- Ermittlung der mechanischen Lasten im Brandfall
- Berechnung der temperaturabhängigen Beanspruchbarkeit der Tragkonstruktion

Dabei umfasst die zeitabhängige thermische Analyse die ersten beiden Teilaufgaben, während die letzten beiden Teilaufgaben der temperaturabhängigen mechanischen Analyse zuzuordnen sind. Die numerische Behandlung des Tragverhaltens im Brandfall gehört in dieser allgemeinen Formulierung zu den Simulationsverfahren, die zweifellos zu den anspruchsvollen Ingenieurmethoden im bauli-



chen Brandschutz zu rechnen sind. Sie haben sich als Bemessungs- und Nachweismethoden für die große Anzahl der alltäglichen Bauaufgaben bisher nicht etabliert.

Beispiele für den praktischen Nutzen dieser Simulationsverfahren sind die Ableitung des Rechenverfahrens der DIN 18230 Brandschutz im Industriebau [5, 6] mit Hilfe von Wärmebilanzrechnungen. Immerhin wird diese Norm im Zusammenhang mit der Industriebaurichtlinie [7] in einem vereinfachten Nachweis ohne Ermittlung der Brandbelastung Brandabschnitte bis  $10000 \text{ m}^2$  in ungeschützter Stahlbauweise ermöglichen, wenn bestimmte Anforderungen an die brandschutztechnische Infrastruktur (Sicherheitskategorie K 4  $\rightarrow$  Sprinkleranlage) eingehalten werden.

Darüber hinaus ist die Ableitung der Tabellen in DIN 4102-4 bzw. der vereinfachten Berechnungsverfahren für Verbundbauteile [8, 9, 10] mit Hilfe von allgemeinen Rechenverfahren zur Simulation des Tragverhaltens von Bauteilen unter Normbrandbedingungen zu nennen.

### 3 Brandversuche in Cardington



In Cardington (England) wurde 1993 ein achtgeschossiges Testgebäude mit einer Gesamthöhe von 33m in Stahl- bzw. Verbundbauweise im Inneren eines ausgedienten Flugzeughangars errichtet. Auf einer Grundfläche von  $21\text{m} \times 45\text{m} = 945 \text{ m}^2$  wurde ein Rahmentragwerk mit fünf Feldern in Längs- und drei Feldern (6m–9m–6m) in Querrichtung erstellt. Die Decken wurden als Verbunddecken bestehend aus profiliertem Trapezblech mit Leichtbeton C35 ( $1,9 \text{ t/m}^3$ ) gefertigt. Das Gebäude wurde für die Durchführung von Großbrandversuchen konzipiert; siehe dazu [11]

*Bild 3*

*Vollentwickelter Brand im ersten Obergeschoss  
- Demonstration Test –  
(Foto: British Steel)*



Aus dem bisherigen Testprogramm soll hier lediglich auf den sogenannten „Demonstration Test“ eingegangen werden. Dieser Test stellt einen Vollbrand im ersten Obergeschoss eines Büro- oder Verwaltungsgebäudes dar (s. Bild 3). Dabei wurde ein Abschnitt von 136m<sup>2</sup> mit einer hohen, realen Brandlast von 46 kgHolz/m<sup>2</sup> oder 850 MJ/m<sup>2</sup> in Brand gesetzt. Bild 4 zeigt die im wesentlichen aus der Büroeinrichtung bestehende Brandlast. Die Fensterfläche betrug etwa 20% der Grundfläche. Ebenfalls erkennbar in Bild 4 (rechts) ist die mit Platten bekleidete Stahlstütze; Verbundträger und Verbunddecken sind ungeschützt.



*Bild 4 Brandabschnitt mit realen Brandlasten vor der Zündung (Foto: British Steel)*



*Bild 5 Brandabschnitt nach dem Brand (Foto: British Steel)*



Nach dem Brand blieb die Stütze erwartungsgemäß unversehrt. Träger und Decken wurden stark plastisch verformt, sie haben jedoch nicht versagt. Der Brandversuch hat eindrucksvoll belegt, dass der Versagenszustand sowohl von Trägern als auch von Stützen sich signifikant von dem Versagenszustand im Normbrandversuch unterscheidet. Bei dem Zusammenwirken in der räumlichen Struktur kommt dem Tragverhalten der Decken besondere Bedeutung zu. In der räumlichen Interaktion trat trotz Bauteiltemperaturen in den unbekleideten Stahlträgern von über  $1000^{\circ}\text{C}$  (s. Bild 6) kein Systemversagen auf. *Robinson* leitete in San Sebastian auf der Welt-Stahl-Konferenz 1998 daraus die kühne These ab, dass „moderne Stahlrahmenkonstruktionen so konstruiert werden können, dass sie einem Feuer mit ungeschützten Trägern standhalten können“ [12].

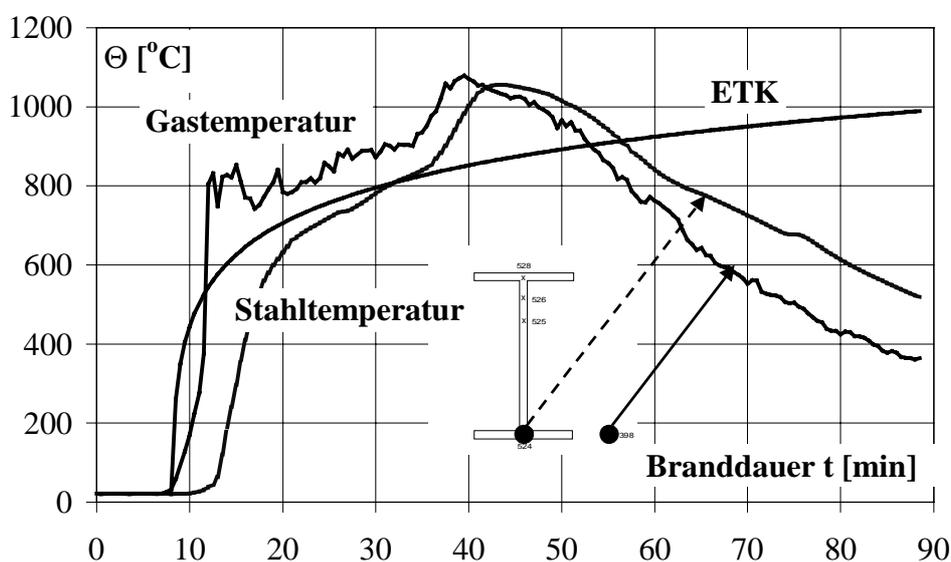


Bild 6 Verlauf der Gastemperatur und der Stahltemperatur im Untergurt des Verbundträgers in Abhängigkeit von der Branddauer im Vergleich mit der Einheits-Temperaturzeitskurve

Aus den umfangreichen Analysen der Cardington-Versuche lassen sich zwei wesentliche Schlussfolgerungen für mehrgeschossige Rahmentragwerke aus Stahl ziehen.

Erstens zum Brandverlauf (s. dazu Bild 6):

Die Gastemperaturen steigen nach der Schwelbrandphase rasch an und erreichen Temperaturen, die bei der vorliegenden hohen Brandlast von  $850 \text{ MJ/m}^2$  durchaus höher als die ETK sein können. Nach etwa 30 min sinken die Gastemperaturen wieder ab, weil die Brandlast verbrannt ist. Im Vergleich zur ETK zeigt sich, dass die Gastemperaturen etwa 50 min nach Beginn der Vollbrandphase unter das Niveau der ETK sinken.



Zweitens zum Tragverhalten:

Obwohl die Stahltemperaturen zeitweise höher als 1000°C lagen haben die ungeschützten Verbundträger nicht versagt. Offenbar wirken im räumlichen Tragsystem zusammen mit den Decken Mechanismen, die die Tragfähigkeit im Brandfall gegenüber den Versuchsbedingungen im Normbrandversuch deutlich erhöhen.

## 4 Übersicht über die ingenieurmäßigen Verfahren im Brandschutz

### 4.1 Brandgastemperatur-Zeitkurven

Gemäß Eurocode 1 Teil 2-2 [13] dürfen die Brandgastemperatur-Zeitkurven entweder als nominelle Temperaturzeitkurven, wie z.B. die aus den Brandversuchen bekannte Einheits-Temperaturzeitkurve, angenommen oder aus den projektspezifischen physikalischen Parametern berechnet werden. Im Eurocode 1 Teil 2-2 Anhang B sind recht einfach anwendbare Berechnungsformeln zur Ermittlung parametrischer Brandgastemperatur-Zeitkurven angegeben. Für größere Brandabschnitte mit ggfs. lokal begrenzten Bränden sind diese einfachen Berechnungsformeln ungeeignet. Für die Simulation von Naturbränden sind Programme entwickelt worden, die heute meist sogenannte Mehrraum-Mehrzonen-Modelle verwenden [14, 15]. Dabei wird der zu untersuchende Brandabschnitt in mehrere Teilräume unterteilt, die wiederum mehrere Zonen aufweisen. In den einzelnen Zonen können Temperaturen, Rauch- und Gaskonzentrationen und Druckverteilungen berechnet und damit alle wesentlichen Größen, die das Brandgeschehen beschreiben, ermittelt werden. Für die Berechnungen sind eine Fülle von Eingangsparametern erforderlich. Diese lassen sich grob in Bauwerks- und Brandparameter gliedern. Zu den Bauwerksparametern gehören im wesentlichen die Gebäudegeometrie mit Zu- und Abluftöffnungen und die wärmephysikalischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile (Wände, Decken und Böden). Mit den Brandparametern werden Art, Menge und Verteilung der Brandlasten sowie Abbrandmodelle beschrieben. Hinzu kommt ggfs. die Berücksichtigung von speziellen betrieblichen Einrichtungen wie Rauch- und Wärmeabzugsanlagen und Sprinklern.

Wegen der großen Anzahl der festzulegenden Parameter ist die Berechnung eines für die Bemessung maßgebenden Schadenfeuers außerordentlich schwierig, wenn nicht unmöglich. Für die Brandsimulationsrechnungen ist die Festlegung des Brandszenarios von grundlegender Bedeutung. In den Eurocodes werden keine „Bemessungsbrandszenarien“ festgelegt. Die Anwendung von Brandsimulationsrechnungen im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren setzt daher die Verein-



barung solcher Brandszenarien im Einzelfall voraus. Dass hier erhebliche Ermessensspielräume existieren, liegt auf der Hand.

Die gelungene Definition solcher Brandszenarien im Zusammenhang mit der Norm „Brandschutz im Industriebau“ (DIN 18230 [5]) sollte jedoch ermutigen, derartige Festlegungen zukünftig auch für andere Bereiche, z.B. Büro- und Verwaltungsgebäude, zu treffen.

Eine weitere Methode, die thermische Einwirkung zu beschreiben, ist die Ermittlung einer äquivalenten Branddauer. Die äquivalente Branddauer ist als diejenige Branddauer bei einem Brand nach Einheits-Temperaturzeitkurve definiert, bei der die gleiche Maximaltemperatur im Bauteilquerschnitt erreicht wird wie unter Naturbrandbedingungen (s. Bild 7). Mit Hilfe der äquivalenten Branddauer kann so die thermische Wirkung eines Naturbrandes durch die Einheitstemperaturzeitkurve ausgedrückt werden. Im Gegensatz zu Verbundbauteilen ist die Anwendung der äquivalenten Branddauer bei Stahlbauteilen gut geeignet, da die Stahltemperaturen in den Bauteilen während des Brandes einigermaßen homogen sind. Dieses Verfahren ist Grundlage der DIN 18230 Brandschutz im Industriebau [5] und kann auch im Zusammenhang mit dem „globalen Brandschutzkonzept“ [16] angewendet werden..

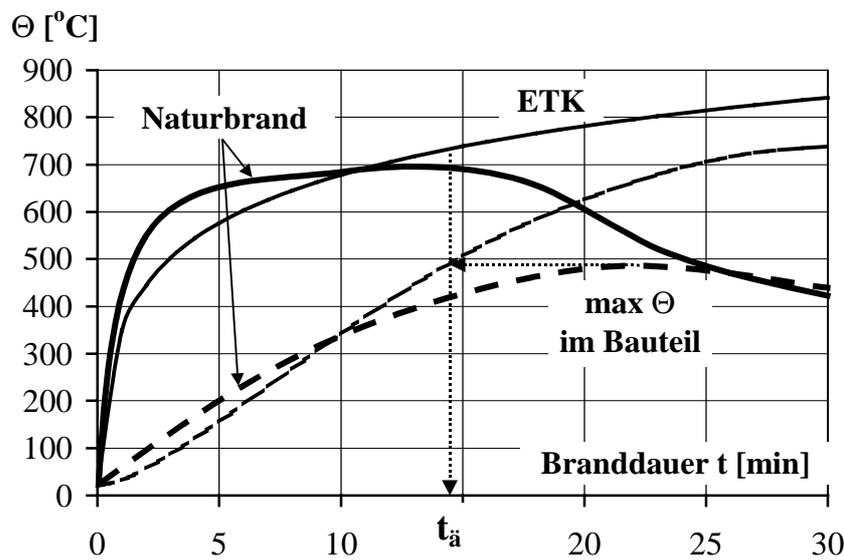


Bild 7 Äquivalente Branddauer



## 4.2 Bauteiltemperaturen

Mit den Brandgastemperatur-Zeitkurven wird die Erwärmung der Bauteile meist durch numerische Lösung der *Fourier*-Differentialgleichung für die Wärmeleitung in festen Stoffen bestimmt.

$$\frac{\delta}{\delta x} \left( \lambda(\theta) \frac{\delta \theta}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( \lambda(\theta) \frac{\delta \theta}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left( \lambda(\theta) \frac{\delta \theta}{\delta z} \right) + Q = \rho c(\theta) \frac{d\theta}{dt} \quad (3)$$

In den Eurocodes werden die dazu benötigten Werkstoffkennwerte für Baustahl und im Hinblick auf Stahlverbundbauteile auch für Normal- und Leichtbeton angegeben. Es handelt sich dabei speziell um die Annahmen bezüglich des spezifischen Gewichtes  $\rho$  und den temperaturabhängigen Größen Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und spezifische Wärmekapazität  $c$ . Transportvorgänge von verdampfendem Wasser in Verbundbauteilen werden durch modifizierte Materialkennwerte näherungsweise erfasst. Wärmequelle für das Bauteil sind die umgebenden Brandgase. Der Wärmestrom in das Bauteil setzt sich aus dem konvektiven und dem radiativen Wärmeübergang (Strahlung) zusammen, die in Eurocode 1 Teil 2-2 geregelt sind. Die genannten Angaben basieren im wesentlichen auf den Erfahrungen an Bauteilbrandversuchen. Es wird vermutet, dass sich der Wärmeübergang unter Naturbrandbedingungen günstiger verhält.

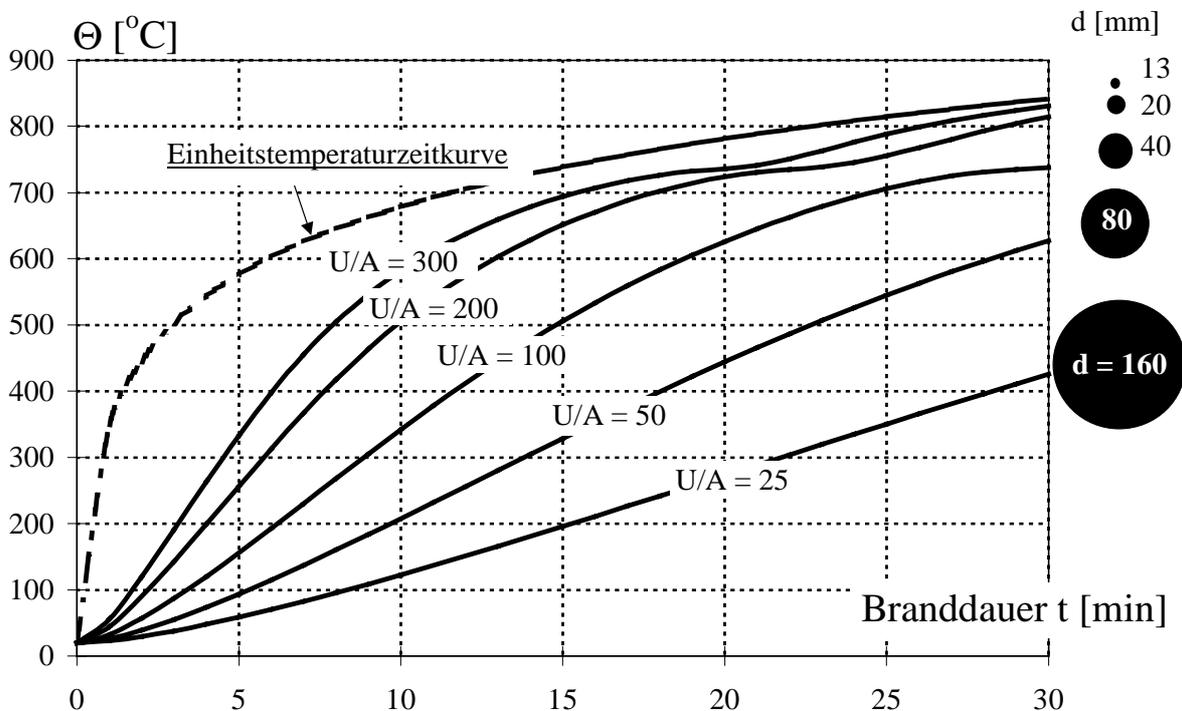


Bild 8 Erwärmungskurven ungeschützter Stahlquerschnitte unter Einheitstemperaturzeitkurve; Kurvenparameter: Profilmfaktor  $U/A$  [1/m]



Bei Stahlbauteilen vereinfacht sich der numerische Aufwand für die Lösung der *Fouriergleichung* durch die Annahme einer über den Stahlquerschnitt gleichmäßigen Temperatur. Infolge der hohen Wärmeleitfähigkeit ist diese Annahme häufig gerechtfertigt. Die Erwärmung als Funktion der Branddauer lässt sich dann wie in Bild 8 als eine Bauteiltemperatur-Zeitkurve darstellen. Bild 8 zeigt, dass unter der Einheits-Temperaturzeitkurve lediglich massive, ungeschützte Stahlbauteile so langsam erwärmt werden, dass die Stahltemperaturen bis zu 30 Minuten Branddauer unterhalb der Versagenstemperaturen bleiben.

### 4.3 Mechanische Lasten im Brandfall

Für den Brandfall gelten die Kombinationsregeln für außergewöhnliche Einwirkungen gemäß Eurocode 1 [13]

$$S_{dA} = S \left[ \sum \gamma_{GA} \cdot G_k + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \right] \quad (4)$$

Dabei ist für den Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen in der außergewöhnlichen Situation  $\gamma_{GA} = 1,0$  zu setzen. Die Kombinationsbeiwerte  $\psi_1$  (häufige Lastkombination) und  $\psi_2$  (ständige Lasten) für die veränderlichen Lasten ergeben sich aus Tabelle 1.

Einwirkung	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Verkehrslast auf Decken			
- Wohnräume; Büroräume; Verkaufsräume bis 50m <sup>2</sup> ; Flure, Balkone und Räume in Krankenhäusern	0,7	0,5	0,3
- Versammlungsräume, Garagen und Parkhäuser; Tribünen; Flure in Lehrgebäuden; Büchereien; Archive	0,8	0,8	0,5
- Ausstellungs- und Verkaufsräume; Geschäfts- und Warenhäuser	0,8	0,8	0,8
Windlasten	0,6	0,5	0,0
Schneelasten	0,7	0,2	0,0
alle anderen Einwirkungen	0,8	0,7	0,5

Tab.1 Kombinationsbeiwerte gemäß DAST-Ri 104[17]

### 4.4 Beanspruchbarkeit der Tragkonstruktion

Von tragenden Bauteilen wird gefordert, dass ihre Tragfähigkeit im Brandfall unter Gebrauchslasten für eine anforderungsgemäße Branddauer aufrechterhalten bleibt. Dieses Traglast-Kriterium wird in den Eurocode-Teilen 1-2 entsprechend der Feuerwiderstandsdauer unter Normbrandbedingungen durch die Klassen R 30, R 60, R 90, R 120, R 180 und R 240 ausgedrückt. Die Werkstoff-



Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{m,fi}$  dürfen im Brandfall bei der Berechnung der Beanspruchbarkeiten einheitlich für die Werkstoffe Bau-, Betonstahl und Beton zu 1,0 angenommen werden.

Allgemein stehen für den Nachweis des Feuerwiderstands tragender Bauteile neben dem Brandversuch folgende Nachweisebenen zur Verfügung:

- Ebene 1 Klassifizierung der Bauteile mit Hilfe von Tabellen
- Ebene 2 Nachweis mit vereinfachten Berechnungsverfahren  
Diese Nachweisform der brandschutztechnischen Bemessung geht von geeigneten vereinfachten und vereinfachenden Annahmen - meist in Form einer temperaturbedingten Reduzierung der Querschnitte - aus. Bemessungswert ist meist eine Traglast des Bauteils zugehörig zu der geforderten Feuerwiderstandsdauer.
- Ebene 3 Nachweis mit allgemeinen Berechnungsverfahren  
Dieser Nachweis beinhaltet die vollständige thermische und mechanische Analyse in einem numerischen Simulationsmodell. Diese Nachweismethode darf nach den Eurocodes auf Bauteile, Tragwerksteile und Gesamtkonstruktionen angewendet werden.

Für den Stahlbau werden im Eurocode Nachweisverfahren auf der Ebene 2 für den Verbundbau auf der Ebene 1 und 2 angegeben. Eine Übersicht dazu ist in [18] enthalten.

Als wertvolle Berechnungsgrundlage für Nachweise auf der Ebene 3 werden in den Eurocodes die Rechenwertannahmen für die temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungsbeziehungen von Bau- und Bewehrungsstahl sowie Normal- und Leichtbeton festgelegt. Damit wird eine wichtige Basis für die Berechnung des Trag- und Verformungsverhaltens einzelner Bauteile bis hin zu Gesamtkonstruktionen im Brandfall gegeben.

Exemplarisch werden hier die berechneten positiven Biegemomententragfähigkeiten zweier Verbundträger unter einer Brandbeanspruchung gemäß Einheits-Temperaturzeitkurve vorgestellt (s. Bild 9). Die Trägerquerschnitte unterscheiden sich dadurch, dass als Brandschutzmaßnahme das Stahlprofil in einem Fall mit Kammerbeton versehen ist, im anderen Fall ist eine kastenförmige Bekleidung mit Gipskartonplatten vorgesehen. Der Kammerbeton enthält hier keine zusätzliche Betonstahlbewehrung. Mit zunehmender Branddauer  $t$  wird die Querschnittstragfähigkeit geringer. Die Tragfähigkeiten sind als bezogene Werte dargestellt, wobei der Ausgangswert der Momententragfähigkeit zum Zeitpunkt  $t=0$  entspricht, bei dem die Tragfähigkeiten beider Träger gleich sind.



Mit zunehmender Branddauer verhalten sich die beiden Träger ganz unterschiedlich. Der ungeschützte Untergurt des kammerbetonierten Stahlprofils verliert schnell einen Großteil seiner Festigkeit. Die Kurve zeigt einen rapiden Abfall der Tragfähigkeit im Bereich zwischen 20 und 30 min Branddauer. Danach nimmt die Tragfähigkeit wesentlich langsamer ab. Die Tragfähigkeit des Trägers mit der kastenförmigen Bekleidung bleibt bis etwa 70 min voll erhalten und nimmt dann rasch ab.

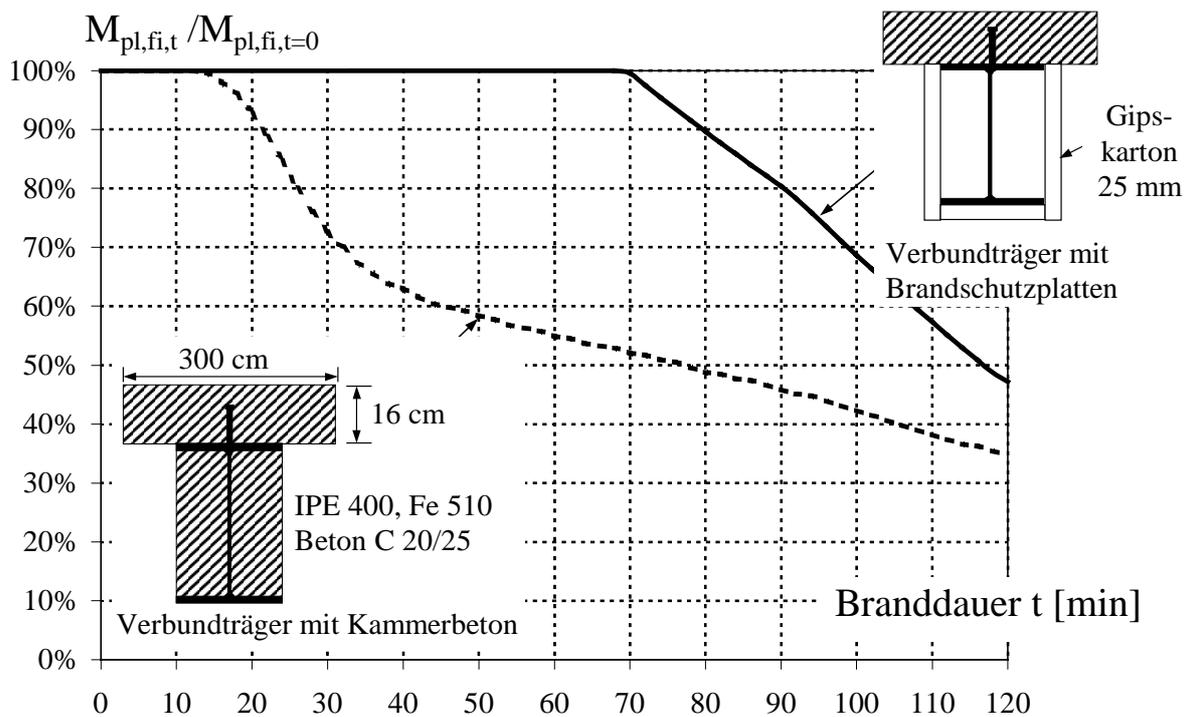


Bild 9 Momentenragfähigkeit von Verbundträgern in Abhängigkeit von der Branddauer

Die Neigung der Kurven im Bereich von etwa 60% der Kalttragfähigkeit ( $M_{pl,fi,t} / M_{pl,fi,t=0} = 60\%$ ) ist sehr unterschiedlich. Daraus folgt, dass beim kammerbetonierten Verbundträger in diesem Lastausnutzungsbereich eine geringe Abminderung der Beanspruchungen mit einer vergleichsweise großen Erhöhung der Feuerwiderstandsdauer verbunden ist, während sich eine solche Lastreduzierung beim Stahlquerschnitt mit kastenförmiger Bekleidung lediglich geringfügig auswirkt.

Das Beispiel belegt, dass rechnerische Simulationsverfahren den Kenntnisstand in einem Maße vertiefen, wie er selbst durch eine große Zahl von Brandversuchen nicht erreicht werden könnte. Damit werden Grundlagen für ein unter Brandschutzaspekten optimiertes Design verfügbar.



## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Wettbewerb mit anderen Bauweisen gewinnt der bauliche Brandschutz für den Stahlbau in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Gleichzeitig schreitet die Entwicklung von numerischen Nachweisverfahren im Brandschutz weiter fort. Der Beitrag beschreibt den aktuellen Stand der Ingenieurmethoden im Rahmen der neuen europäischen Normung und deren mögliche Auswirkungen auf die Entwicklungsmöglichkeiten im Stahlbau.

Wegen der Eingangs gezeigten wirtschaftlichen Nachteile muss der Stahlbau das Ziel verfolgen, die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen durch maßgerechte Anforderungen und Ausnutzung aller Tragreserven im Brandfall zu reduzieren.

Die vom Stahlbau initiierte Forschung und Entwicklung der letzten 20 Jahre hat mit der Anwendung brandschutztechnischer Ingenieurmethoden vorzeigbare Erfolge erreicht. Neben der Entwicklung des Verbundbaus sind die Anpassung der Anforderungen für offene Parkhäuser (GarVO) und für den Industriebau (IndBauR) richtungsweisend. Das jüngste Forschungsergebnis ist das „globale Brandschutzkonzept“, das auf europäischer Ebene erarbeitet wurde.

Im Rahmen einer von Bauen mit Stahl e.V. geleiteten Brandschutz-Initiative werden Maßnahmen ergriffen, die neben einer Informationskampagne über gezielte Aktivitäten zu einer weiteren Verbesserung der gegenwärtigen Situation für den Stahlbau führen werden. Zu diesen Maßnahmen zählt auch die Erarbeitung einer Bemessungsrichtlinie für den Brandschutz im Stahlbau unter der Leitung des Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DAST).

## 6 Literatur

- [1] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe 09.77
- [2] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Ausgabe 03.94
- [3] DIN V ENV 1994-1-2 Eurocode 4 - Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Deutsche Fassung ENV 1994-1-2 : 1994, Juni 1997, Beuth Verlag, Berlin
- [4] EKS N°82 Fire Design Information Sheets, EKS, Brüssel
- [5] DIN 18230-1, Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Beuth Verlag, Berlin , 05.1998



- [6] Becker, W.; Hagen, H.; Halfkann, K.; Max, U.; Mehl, F.; Schaub, W.; Schneider, U.: Baulicher Brandschutz im Industriebau, Kommentar zur DIN 18230, 2. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, 1999
- [7] Temme, H.-G.: Neue Muster-Industriebaurichtlinie, in Tagungsband Brandschutz bei Sonderbauten, IBMB, TU Braunschweig, April 2000
- [8] Dorn, T., Hosser, D., Muess, J., Schaumann, P.: Ein rechnerisches Verfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von kammerbetonierten Verbundträgern, Teil 1: Einfeldträger, Stahlbau 59 (1990), Heft 12
- [9] Dorn, T., Hosser, D., El-Nesr, O.: Ein rechnerisches Verfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von kammerbetonierten Verbundträgern, Teil 2: Durchlaufträger, Stahlbau 63 (1994), Heft 8
- [10] Dorn, T., Hosser, D., El-Nesr, O.: Vereinfachtes Rechenverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Verbundstützen aus kammerbetonierten Stahlprofilen, Stahlbau 63 (1994), Heft 3 und 4
- [11] The Behaviour of Multi-Storey Steel Framed Buildings in Fire, British Steel plc, Swinden Technology Centre, 1998
- [12] Robinson, J. : Fire – A technical Challenge and a Market Opportunity, Journal of Constructional Steel Research, 1998, 46:1-3, Paper No. 179
- [13] DIN V ENV 1991-2-2 Eurocode 1 - Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 2-2: Einwirkungen auf Tragwerke - Einwirkungen im Brandfall, Deutsche Fassung ENV 1991-2-2 : 1995, Mai 1997, Beuth Verlag, Berlin
- [14] Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit: Referenzhandbuch für MRFC (Multi Room Fire Code), Version 2.5, Bruchsal/Wien, Dezember 1997
- [15] Peacock, R.D.; Forney, G.P.; Reneke, P.A. ; Portier, R.M.; Jones, W.W.: CFAST, the Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, NIST Technical Note 1299, Gaithersburg, February 1993 (<http://fast.nist.gov/cfasthom.html>)
- [16] Schleich, J.-B.: Globales Brandsicherheitskonzept, Stahlbau 67, Heft 2, S. 81 bis 96, 1998
- [17] DASt-Richtlinie 104 - Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1994 Teil 1-1, Deutscher Ausschuss für Stahlbau, 1994
- [18] Schaumann, P.: Überblick über die Möglichkeiten der heißen Eurocodes, in Brandschutz - Fachseminar und Workshop, FH München – Bauen mit Stahl e.V., München 13./14. April 2000

Univ.-Prof. Dr.-Ing. P. Schaumann

Institut für Stahlbau

Universität Hannover

Appelstraße 9A

30167 Hannover

Tel.: +49-511-7623781

Fax.: +49-511-7622991

E-Mail: [schaumann@mbox.stahl.uni-hannover.de](mailto:schaumann@mbox.stahl.uni-hannover.de)

Homepage [www.stahlbau.uni-hannover.de](http://www.stahlbau.uni-hannover.de)