



**Brandsicherheit im Stahlbau -  
Ein Überblick über neue Bemessungsregeln**

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

**Symposium  
Höchstleistungen im Stahlbau -  
Schutz und Design mit System**

**Kunstschaft Zeche Zollverein Essen  
28. September 2000**



1	Einleitung .....	1
2	Die neue Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL) .....	2
2.1	Allgemeines .....	2
2.2	Vereinfachte Nachweismethode .....	3
2.3	Rechenverfahren nach DIN 18230-1 .....	4
2.4	Methoden des Brandschutzingenieurwesens .....	6
3	Nachweisverfahren der Eurocodes .....	7
3.1	Allgemeines .....	7
3.2	Einwirkungen im Brandfall.....	8
3.2.1	Thermische Einwirkungen .....	8
3.2.2	Mechanische Lasten im Brandfall .....	10
3.3	Temperaturabhängige Werkstoffkennwerte .....	11
3.4	Tragwerksbemessung im Brandfall für Stahlbauten .....	12
3.4.1	Allgemeines .....	12
3.4.2	Stahltemperaturen.....	14
3.4.3	Nachweis auf Temperaturebene ( $\theta_{cr}$ -Verfahren).....	16
3.4.4	Nachweis auf Tragfähigkeitsebene.....	17
4	Zusammenfassung und Ausblick .....	19
5	Literatur .....	20



## 1 Einleitung

Das Deutsche Institut für Normung (DIN) hat im Jahr 1997 die sogenannten „heißen Teile“ der Eurocodes als europäische Vornormen (ENV) im Blaudruck in deutscher Sprache veröffentlicht. Für Stahlbauten und -konstruktionen im Hoch- und Ingenieurbau sind die Einwirkungen in DIN V ENV 1991-2-2 [1] geregelt, während die Regeln zur brandschutztechnischen Tragwerksbemessung für Stahlbauten in DIN V ENV 1993-1-2 [2] bzw. für Verbundtragwerke aus Stahl und Beton in DIN V ENV 1994-1-2 [3] enthalten sind:

DIN V ENV 1991-2-2 (kurz: EC1-2-2)	Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke Teil 2-2: Einwirkungen auf Tragwerke -Einwirkungen im Brandfall
DIN V ENV 1993-1-2 (kurz: EC3-1-2)	Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
DIN V ENV 1994-1-2 (kurz: EC4-1-2)	Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall

Die zugehörigen Nationalen Anwendungsdokumente (NAD) [4], [5], [6] sind vom NABau-Arbeitsausschuss 00.32.00 Ende 1999 formal beschlossen und in diesem Jahr veröffentlicht worden. Die heißen Eurocodes können zusammen mit den NAD angewendet werden und stellen eine technisch gleichwertige Lösung im Sinne von §3 Abs. 3 MBO dar [7]. Als weiterer Schritt wird die Aufnahme in die Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen folgen.

Die grundlegenden Änderungen der Eurocodes gegenüber den bisherigen Regelungen sind zum einen das neue Sicherheitskonzept (Teilsicherheitsbeiwerte) und zum zweiten die Tatsache, dass brandschutztechnische Nachweise auf rechnerischem Wege geführt werden können. Das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte führt zu einer Reduzierung der mechanischen Lasten im Brandfall gegenüber den bisherigen Prüfbedingungen (s. dazu Kap. 3.2.2). Durch die Möglichkeit, Rechenverfahren anzuwenden, wird im Gegensatz zum bisherigen Klassifizierungssystem auf rein experimenteller Basis ein regelrechter Nachweis analog zu den Standsicherheitsnachweisen der statischen Berechnung möglich.

Die heißen Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau behandeln die passiven Brandschutzmaßnahmen im Hinblick auf die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken und Tragwerksteilen für eine angemessene Tragfähigkeit und falls erforderlich für die Begrenzung der Brandausbreitung. Die heißen Teile der Eurocodes befassen sich hauptsächlich - nicht ausschließlich - mit der Bemessung für den Feuerwiderstand unter Normbrandbedingungen.

In den Eurocodes selbst werden keine Anforderungen an die Bauteile, wie einzuhaltende Feuerwiderstandsklassen festgelegt. Hierbei muss, in Abhängigkeit von der Gebäudeart und dessen Nutzung sowie der Gebäudehöhe, auf die nationalen Regelungen (siehe dazu [18]) zurückgegriffen werden. Die Festlegung der brandschutztechnischen Anforderungen wird in Kapitel 2 am Beispiel des Industriebaus anhand der neuen Industriebaurichtlinie gezeigt.

Die Neufassung der Muster-Industriebaurichtlinie [8] wurde im März 2000 veröffentlicht. Die Einführung als technische Baubestimmung in den einzelnen Ländern steht bevor. In einigen Bundesländern (z. B. Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Bayern) kann die Industriebaurichtlinie auf Empfehlung der Obersten Bauaufsicht bereits angewendet werden.



## 2 Die neue Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL)

### 2.1 Allgemeines

In der Muster-Industriebaurichtlinie werden die Mindestanforderungen an den Brandschutz von Industriebauten festgelegt. Industriebauten, die diesen Anforderungen hinsichtlich

- der Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile und der Brennbarkeit der Baustoffe,
- der Größe der Brandabschnitte bzw. Brandbekämpfungsabschnitte,
- der Anordnung, Lage und Länge der Rettungswege

entsprechen, erfüllen die Schutzziele des § 17 Abs. 1 MBO.

Für den Nachweis der Brandsicherheit von Industriebauten werden nunmehr drei Verfahren bereitgestellt:

- Vereinfachtes Nachweisverfahren ohne Brandlastermittlung,
- Nachweisverfahren mit Ermittlung der Brandlast auf Grundlage von DIN 18230-1 (05.98) [10],
- Methoden des Brandschutzingenieurwesens.

Die Anwendung der Richtlinie setzt die Einhaltung allgemeiner Anforderungen voraus bezüglich des Löschwasserbedarfs, der Lage und Zugänglichkeit des Gebäudes, der Rettungswege sowie Treppen und Treppenträume, des Rauchabzugs, der Brandmelde- und Feuerlöschanlagen, der Dächer und Wände und der betrieblichen Maßnahmen zum Brandschutz und zur Gefahrenverhütung.

In der Richtlinie werden Sicherheitskategorien K1 bis K4 zur Berücksichtigung einer Werkfeuerwehr und der in einem Brand- oder Brandbekämpfungsabschnitt vorhandenen brandschutztechnischen Infrastruktur definiert:

- Sicherheitskategorie K1:  
Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte ohne besondere Maßnahmen für Brandmeldung und Brandbekämpfung
- Sicherheitskategorie K2:  
Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit automatischer Brandmeldeanlage
- Sicherheitskategorie K3:  
Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit automatischer Brandmeldeanlage in Industriebauten mit Werkfeuerwehr.  
Eine weitere Unterteilung in die Kategorien K3.1 bis K3.4 erfolgt in Abhängigkeit der Mannschaftsstärke der Werkfeuerwehr.
- Sicherheitskategorie K4:  
Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit selbsttätiger Feuerlöschanlage



Die Forderung nach einer automatischen Brandmeldeanlage kann durch eine ständige Personalbesetzung kompensiert werden, wenn eine sofortige Brandentdeckung und Meldung an die Feuerwehr gewährleistet sind.

Die Sicherheitskategorien stellen eine wesentliche Eingangsgröße für die im folgenden vorgestellten Nachweismethoden dar.

## 2.2 Vereinfachte Nachweismethode

Der Vereinfachte Nachweis nach Abschnitt 6 der Richtlinie basiert auf der Einhaltung zulässiger Größen der Brandabschnittsflächen in Abhängigkeit von der Sicherheitskategorie, der Anzahl der Geschosse des Gebäudes und der Feuerwiderstandsklasse der tragenden und aussteifenden Bauteile. Diese Angaben sind für erdgeschossige Industriebauten in Tab. 1 zusammengefasst. Für solche Industriebauten der Sicherheitskategorie K4 lässt sich laut Tab. 1 eine maximale Brandabschnittsfläche von 10.000 m<sup>2</sup> realisieren ohne Anforderungen bezüglich der Feuerwiderstandsklasse der tragenden und aussteifenden Bauteile.

<b>Feuerwiderstandsklasse der tragenden und aussteifenden Bauteile erdgeschossiger Industriebauten</b>			
<b>Sicherheitskategorie</b>		<b>ohne Anforderung</b>	<b>F 30</b>
<b>K 1</b>	ohne besondere Maßnahmen für Brandmeldung und Brandbekämpfung	1800 <sup>1)</sup>	3000
<b>K 2</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage	2700 <sup>1)</sup>	4500
<b>K 3.1</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr in mindestens Staffelstärke	3200 <sup>1)</sup>	5400
<b>K 3.2</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr in mindestens Gruppenstärke	3600 <sup>1)</sup>	6000
<b>K 3.3</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr mit mindestens zwei Staffeln	4200 <sup>1)</sup>	7000
<b>K 3.4</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr mit mindestens drei Staffeln	4500 <sup>1)</sup>	7500
<b>K 4</b>	mit selbsttätiger Löschanlage	10000	10000

<sup>1)</sup> Breite des Industriebaus ≤ 40 m und Wärmeabzugsfläche (nach DIN 18230-1) ≥ 5% der Brandabschnittsfläche

Tab. 1 Auszug aus Tab. 1 der Muster-Industriebaurichtlinie (03.2000), zulässige Größe der Brandabschnittsflächen für erdgeschossige Industriebauten in m<sup>2</sup>



## 2.3 Rechenverfahren nach DIN 18230-1

Für Industriebauten, die nicht nach dem vereinfachten Verfahren (siehe Tab. 1) beurteilt werden können, kann basierend auf einer Brandlastermittlung das Berechnungsverfahren der DIN 18230-1 (05.98) angewendet werden. Mit diesem Verfahren wird zunächst die äquivalente Branddauer  $t_a$  berechnet.

Mit der äquivalenten Branddauer  $t_a$  wird ein Zusammenhang zwischen der Brandwirkung eines Naturbrandes und der Einheits-Temperaturzeitkurve hergestellt wobei sich die Äquivalenz auf die maximale Bauteiltemperatur unter Naturbrand bezieht. Als äquivalente Branddauer ist diejenige Zeitdauer definiert nach der ein Bauteil unter ETK-Beflammung die Temperatur erreicht, die es in einem Naturbrandereignis maximal erreichen würde. Dieser Zusammenhang ist in Bild 1 dargestellt.

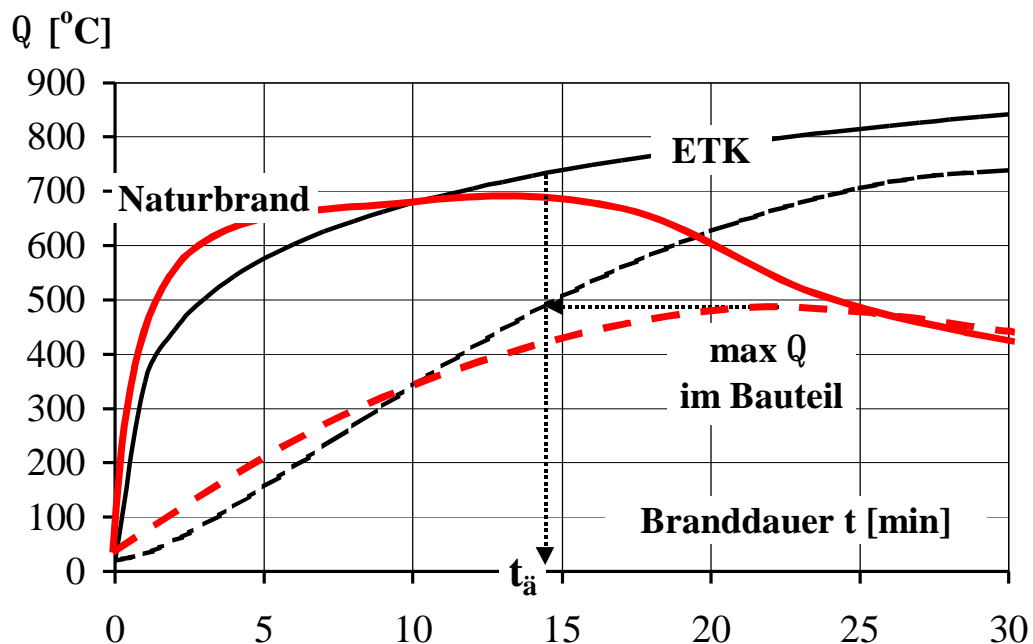


Bild 1 Ermittlung der äquivalenten Branddauer aus dem Vergleich der Bauteiltemperaturverläufe unter Naturbrand und unter ETK

Bei der Berechnung der äquivalenten Branddauer nach DIN 18230-1 werden die Höhe der Brandlast, die thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile sowie die Ventilationsverhältnisse berücksichtigt. Sie ergibt sich gemäß Gl. (1).

$$t_a = q_R \cdot c \cdot w \quad [\text{min}] \quad (1)$$

mit

$q_R$  [kWh / m<sup>2</sup>] rechnerische Brandbelastung

$c$  [min · m<sup>2</sup> / kWh] Umrechnungsfaktor zur Berücksichtigung der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile

$w$  [-] Wärmeabzugsfaktor zur Berücksichtigung der Ventilationsverhältnisse



Unter Berücksichtigung der so ermittelten äquivalenten Branddauer und der Sicherheitskategorie können aus Tab. 2 die zulässigen Größen von Brandbekämpfungsabschnitten entnommen werden, für die bei erdgeschossigen Industriebauten die tragenden und aussteifenden Bauteile ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit ausgeführt werden dürfen. Hierbei sind die erforderlichen Mindestgrößen der Wärmeabzugsflächen im Dach sowie die zulässigen Breiten des Industriebaus zu beachten.

Sicherheitskategorie		äquivalente Branddauer $t_{\text{ä}}$ in Minuten			
		< 15	< 30	< 60	< 90
<b>K 1</b>	ohne besondere Maßnahmen für Brandmeldung und Brandbekämpfung	9000	5500	2700	1800
<b>K 2</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage	13500	8000	4000	2700
<b>K 3.1</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und mit Werkfeuerwehr in mindestens Staffelstärke	16000	10000	5000	3200
<b>K 3.2</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr mit mindestens Gruppenstärke	18000	11000	5400	3600
<b>K 3.3</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr mit mindestens zwei Staffeln	20700	12500	6200	4200
<b>K 3.4</b>	mit automatischer Brandmeldeanlage und Werkfeuerwehr mit mindestens drei Staffeln	22500	13500	6800	4500
<b>K 4</b>	mit selbsttätiger Löschanlage	30000	20000	10000	10000
Mindestgröße der Wärmeabzugsflächen im Dach in % nach DIN 18230-1		1 <sup>1)</sup>	2 <sup>1)</sup>	3 <sup>1)</sup>	4 <sup>1)</sup>
Zulässige Breite des Industriebaus in m		80 <sup>2)</sup>	60 <sup>2)</sup>	50 <sup>2)</sup>	40 <sup>2)</sup>

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

<sup>1)</sup> Für Industriebauten der Sicherheitskategorie K 4 gilt die Mindest-Wärmeabzugsfläche von 0,5%.

<sup>2)</sup> Für Industriebauten der Sicherheitskategorie K 4 gibt es keine Begrenzung der zulässigen Breite.

*Tab. 2 Zulässige Größe der Flächen von Brandbekämpfungsabschnitten erdgeschossiger Industriebauten ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile in m<sup>2</sup>*

Gemäß Tab. 2 sind bei erdgeschossigen Industriebauten Brandbekämpfungsabschnitte mit einer Fläche von bis zu 30.000 m<sup>2</sup> ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile zulässig.

Wird zusätzlich zur äquivalenten Branddauer die erforderliche Feuerwiderstandsdauer  $t_{\text{F}}$  berechnet, können sich Flächen ergeben, die erheblich größer sind, als die in Tab. 2 angegebenen. Günstigstenfalls kann, bei Ausführung der tragenden und aussteifenden Bauteile in der erforderlichen Feuerwiderstandsklasse, eine zulässige Größe des Brandbekämpfungsabschnitts von bis zu 60.000 m<sup>2</sup> erreicht werden.



Die Berechnung von  $t_F$  aus  $t_{\ddot{a}}$  erfolgt nach Gl. (2) unter Berücksichtigung der Brandsicherheitsklasse, mit der die brandschutztechnische Bedeutung eines Bauteils erfasst wird und der vorhandenen brandschutztechnischen Infrastruktur.

$$\text{erf } t_F = t_{\ddot{a}} \cdot \gamma \cdot \alpha_L \quad [\text{min}] \quad (2)$$

mit

$\gamma$  [-] ( $\gamma > 1$ ) Sicherheitsbeiwert für die Brandsicherheitsklasse  $SK_b3$ , wird für  $SK_b2$  und  $SK_b1$  ersetzt durch  $\delta$

$\alpha_L$  [-] ( $\alpha < 1$ ) Zusatzbeiwert zur Berücksichtigung des günstigen Einflusses der brandschutztechnischen Infrastruktur

Der rechnerisch erforderlichen Feuerwiderstandsdauer  $\text{erf } t_F$  ist dann die für die Bauteile einzuhalten- de Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102-2 (09.77) wie folgt zuzuordnen:

0 min <  $\text{erf } t_F \leq 15$  min → keine Feuerwiderstandsklasse

15 min <  $\text{erf } t_F \leq 30$  min → F 30

30 min <  $\text{erf } t_F \leq 60$  min → F 60

60 min <  $\text{erf } t_F$  → F 90

Das vorgestellte Berechnungsverfahren darf nicht angewendet werden, wenn sich für die Brandsicherheitsklasse  $SK_b3$  eine höhere rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer als 90 Minuten ergibt.

Die zulässigen Flächen der Brandbekämpfungsabschnitte werden nach Gl. (3) berechnet:

$$\text{zul } A_{G,BBA} = 3000 \text{ m}^2 \cdot F1 \cdot F2 \cdot F3 \cdot F4 \cdot F5 \quad [\text{m}^2] \quad (3)$$

In den Faktoren F1 bis F5 werden dabei folgende Einflussgrößen berücksichtigt:

1. äquivalente Branddauer aus dem globalen Nachweis nach DIN 18230-1
2. brandschutztechnische Infrastruktur
3. Höhenlage des Fußbodens des untersten Geschosses von oberirdischen Brandbekämpfungsabschnitten
4. Anzahl der Geschosse des Brandbekämpfungsabschnitts
5. Ausführung der Öffnungen in den Geschossdecken mehrgeschossiger Brandbekämpfungsabschnitte

Die Summe der so ermittelten Geschossflächen darf nicht mehr als 60.000 m<sup>2</sup> betragen. Durch Einhaltung zusätzlicher Randbedingungen sind bei erdgeschossigen Industriebauten jedoch Flächengrößen bis maximal 120.000 m<sup>2</sup> zulässig.

## 2.4 Methoden des Brandschutzingenieurwesens

Der Nachweis zur Einhaltung der Schutzziele der Musterbauordnung (MBO) [11] darf alternativ zu den in Kap. 2.2 und 2.3 vorgestellten Verfahren mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens erbracht werden. Zu deren Anwendung sind im normativen Anhang A der Muster-Industriebaurichtlinie die Grundsätze und Voraussetzungen für die Nachweisführung sowie deren Dokumentation geregelt.





### 3 Nachweisverfahren der Eurocodes

#### 3.1 Allgemeines

Von tragenden Bauteilen wird gefordert, dass ihre Tragfähigkeit im Brandfall unter den Bemessungslasten (s. dazu Kap. 3.2.2) für eine anforderungsgemäße Branddauer aufrechterhalten bleibt. Dieses Traglast-Kriterium wird in den heißen Eurocodes entsprechend der Feuerwiderstandsdauer unter Normbrandbedingungen durch die Klassen R 30, R 60, R 90, R 120, R 180 und R 240 ausgedrückt.

Bei Decken werden wegen ihrer raumabschließenden Funktion zusätzliche Anforderungen an ihre Wärmedämmung und Integrität gestellt. Um das Wärmedämmungskriterium zu erfüllen, darf die Temperaturerhöhung auf der dem Brand abgewandten Seite örtlich 180°C und im Mittel 140°C nicht überschreiten. Die Integrität ist die Forderung nach Dichtheit der Konstruktion gegen den Durchgang von Flammen und heißen Gasen in Rissen.

Allgemein stehen für den Nachweis des Feuerwiderstands tragender Bauteile neben dem Brandversuch folgende Nachweisebenen zur Verfügung (Tab. 3):

Tab. 3 Nachweisebenen der brandschutztechnischen Bemessung nach Eurocodes

Ebene	Bemessungsaufgabe	Nachweis
1. Tabellen	Überprüfung maßgebender Parameter	Klassifizierung ja/nein
2. Vereinfachte Berechnungsverfahren	Berechnung der Traglasten im Brandfall	$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d}$
3. Allgemeine Berechnungsverfahren	Numerische Simulation unter Brandbeanspruchung	$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ}$

- Ebene 1  
Klassifizierung der Bauteile mit Hilfe von Tabellen  
(entspricht dem Verfahren nach DIN 4102-4 [13])
- 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 Gesamtstrukturen angewendet werden.



Das Konzept der drei Nachweisstufen ist so angelegt, dass das Bemessungsergebnis umso konservativer ausfällt, je einfacher das gewählte Nachweisverfahren ist, ggfs. auch um den Preis geringerer Wirtschaftlichkeit.

Berechnungsbeispiele für Stahl- und Stahlverbundbauteile auf der Nachweisebene 2 finden sich in [14 bis 16].

Für allgemeine Berechnungsverfahren (Ebene 3) werden im EC3-1-2 und EC4-1-2 die Grundlagen für rechnerische Simulationsverfahren definiert. Die Simulationsverfahren beziehen sich auf die Berechnung der zeitabhängigen Temperaturfelder im Bauteil einerseits und das mechanische Tragverhalten andererseits. Im NAD wird geregelt, dass die Anwendung allgemeiner Berechnungsverfahren (Ebene 3) nur in Abstimmung mit der Bauaufsichtsbehörde erfolgen darf. Für diese Verfahren sind geeignete Computerprogramme erforderlich, deren Anwendung z.Zt. praktisch auf einige spezialisierte Hochschulinstitute oder Ingenieurbüros begrenzt ist. Daher werden in diesem Beitrag schwerpunktmäßig die Nachweise auf der Ebene 2 angesprochen.

### 3.2 Einwirkungen im Brandfall

#### 3.2.1 Thermische Einwirkungen

Die thermischen Einwirkungen auf Bauteile während eines Brandes werden gemäß EC1-2-2 durch Brandgastemperatur-Zeitkurven definiert. Diese werden entweder als nominelle Temperaturzeitkurven, wie z. B. die aus den Brandversuchen nach DIN 4102-2 [12] bekannte Einheits-Temperaturzeitkurve (s. Bild 2), angenommen oder aus den projektspezifischen physikalischen Parametern des Gebäudes - wie Brandbelastung, Ventilationsbedingungen und Wärmedämmung der Umfassungsbauteile - berechnet. Letztere Temperaturverläufe, sogenannte Naturbrandkurven, entsprechen eher den Verhältnissen bei realen Bränden. Gemäß NAD [4] sind sie jedoch grundsätzlich nicht zur Anwendung freigegeben.

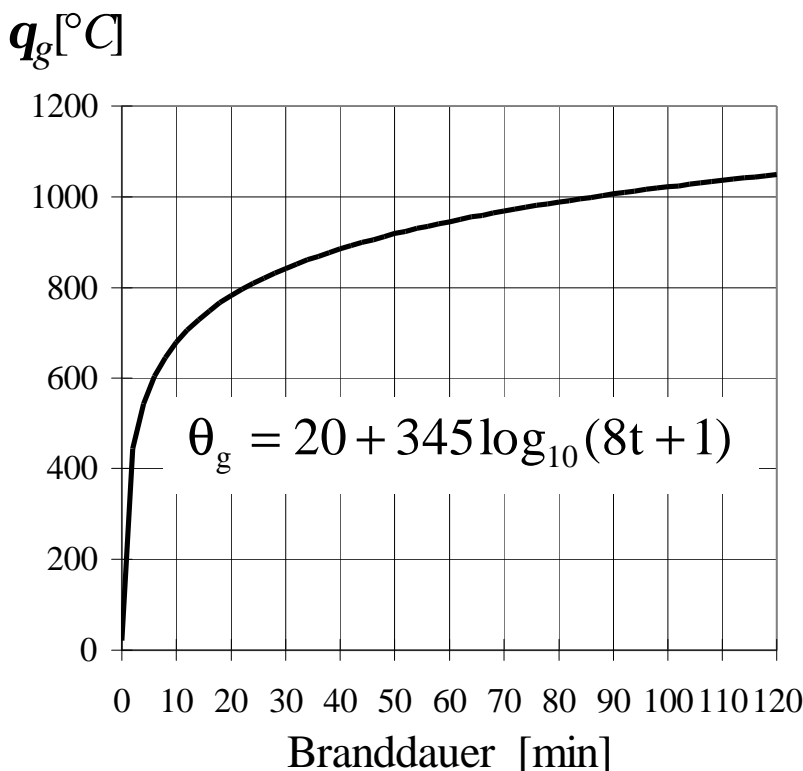


Bild 2 Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK)

t [min]	$\theta_g$ [°C]
5	576
10	678
20	781
30	841
60	945
90	1005
120	1050
180	1110



$Q_g$  [°C]

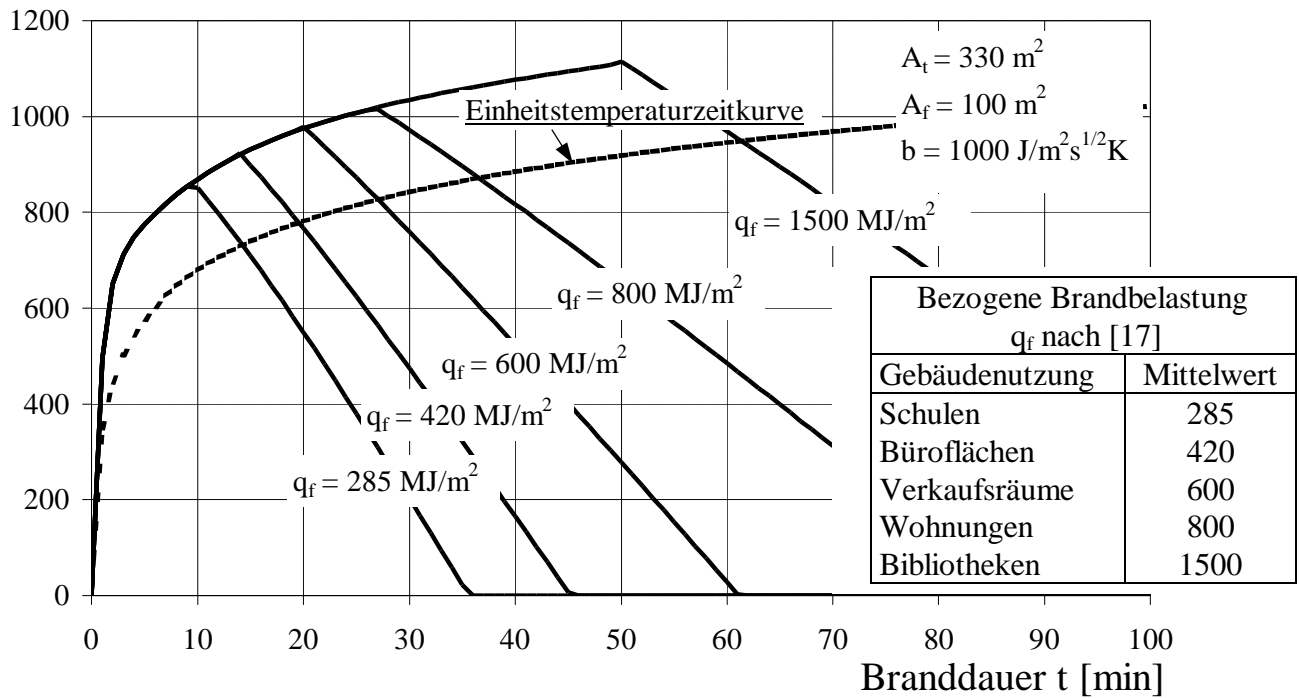


Bild 3 Parametrische Gastemperatur-Zeitkurven gemäß EC1-2-2 Anhang B

In EC1-2-2 Anhang B sind recht einfach anwendbare Berechnungsformeln zur Ermittlung parametrischer Brandgastemperatur-Zeitkurven angegeben. Sie gelten jedoch lediglich für einen sehr eingeschränkten Parameterbereich hinsichtlich der Raumgeometrie des Brandabschnittes, nämlich für maximale Grundflächen bis  $100 \text{ m}^2$  und maximale Raumhöhen bis 4 m. Immerhin lässt sich der Einfluss wesentlicher Parameter, wie beispielsweise die Brandbelastung, verdeutlichen (s. Bild 3). Für größere Brandabschnitte mit ggfs. lokal begrenzten Bränden sind diese einfachen Berechnungsformeln ungeeignet. In solchen Fällen ist die Anwendung aufwendigerer Berechnungsverfahren für die Simulation von Naturbränden erforderlich.

Eine weitere Methode, die thermische Einwirkung zu beschreiben, ist die Ermittlung einer äquivalenten Branddauer (siehe dazu auch Kapitel 2). Mit Hilfe der äquivalenten Branddauer kann die thermische Wirkung eines Naturbrandes durch die Einheits-Temperaturzeitkurve 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 des in jüngerer Zeit propagierten „globalen Brandschutzkonzeptes“ [17].



### 3.2.2 Mechanische Lasten im Brandfall

Im Brandfall gelten die Kombinationsregeln für außergewöhnliche Einwirkungen gemäß EC1-2-2

$$S_{dA} = S \left[ \sum \gamma_{GA} \cdot G_k + A_d + \psi_{1,i} \cdot Q_{k,i} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \right] \quad (3)$$

Dabei ist für den Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen in der außergewöhnlichen Situation  $\gamma_{GA} = 1,0$  zu setzen. Die Kombinationsbeiwerte  $\psi_1$  und  $\psi_2$  für die veränderlichen Lasten ergeben sich aus Tabelle 4.

Tab. 4 Kombinationsbeiwerte gemäß NAD zu Eurocode 1 [4]

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

Der Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall  $E_{fi,d,t}$  darf vereinfachend aus dem entsprechenden Wert aus der Bemessung bei Normaltemperatur ermittelt werden:

$$E_{fi,d,t} = h_{fi} \cdot E_d \quad (4)$$

mit

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

$E_d$  Bemessungswert der Einwirkungen bei Normaltemperatur

$h_{fi}$  Reduktionsfaktor in Abhängigkeit vom Verhältnis Verkehrslast zu ständiger Last (siehe Bild 4)

Für hochbauübliche Lastzusammensetzungen darf nach den NAD pauschal im Stahlbau  $\eta_{fi} = 0,65$  bzw. im Verbundbau  $\eta_{fi} = 0,70$  angesetzt werden, wenn die Einwirkungen nicht genauer ermittelt werden.

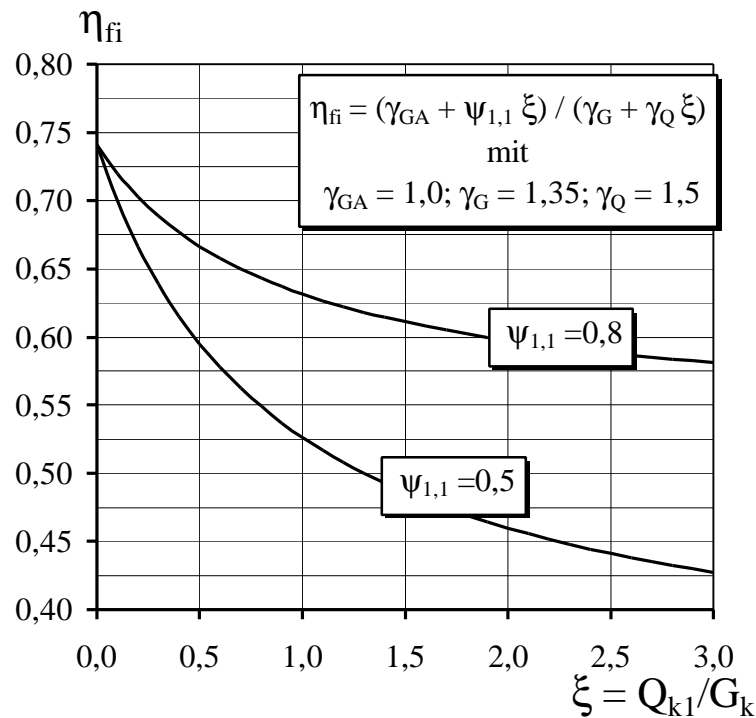


Bild 4 Reduktionsfaktor  $\eta_{fi}$  in Abhängigkeit vom Verhältnis Verkehrslast zu ständiger Last

### 3.3 Temperaturabhängige Werkstoffkennwerte

Wichtige Grundlage für die Berechnungsverfahren ist, dass in EC3-1-2 bzw. EC4-1-2 die Berechnungsansätze für die Temperaturabhängigkeit der Werkstoffkennwerte festgelegt wurden. Dabei sind mechanische Kennwerte wie Spannungs-Dehnungsbeziehungen ( $\sigma$ - $\epsilon$ -Linien) und thermische Dehnungen  $\epsilon_{th}$  als auch thermischen Kennwerte wie Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ , spez. Wärmekapazität  $c$  und Dichte  $\rho$  erfasst. Diese Werkstoffkennwerte werden als Rechenwertfunktionen für die Baustoffe Beton, Baustahl und Bewehrungsstahl angegeben.

Die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Baustahl gelten in gleicher Weise für den Bewehrungsstahl. In Bild 5 wird der Einfluss der erhöhten Stahltemperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Baustahl dargestellt.

Der Werkstoff-Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{m,fi}$  darf im Brandfall bei der Berechnung der Beanspruchbarkeiten für alle Werkstoffe zu 1,0 angenommen werden.

Brandschutzmaßnahmen werden im Stahlbau regelmäßig durch Bekleidungen und Beschichtungen nachträglich appliziert. Sie unterliegen traditionell Zulassungen durch Prüfung in autorisierten Prüfanstalten. Die Angaben der Hersteller sind daher exklusiv für ihr Produkt und beziehen sich meist auf Mindestdicken zugeordnet zu den Feuerwiderstandsklassen gemäß Normbrandversuch. Daher ist auch verständlich, dass im EC3-1-2 keine Materialkennwerte für Bekleidungen oder Beschichtungen geregelt werden. Die Folge davon ist, dass für die Berechnung der Erwärmung geschützter Stahlbauteile wesentliche Parameter fehlen. Die deutsche Bauaufsicht hat diesen Mangel erkannt und hat, wenigstens für die bisher nach DIN 4102-4 geregelten Brandschutzmaterialien, entsprechende Anga-



ben im NAD [5] niedergelegt. Auf die Hersteller kommt die Aufgabe zu, solche Materialkennwerte aus ihren vorhandenen oder neuen Prüfergebnissen zu ermitteln und bereitzustellen.

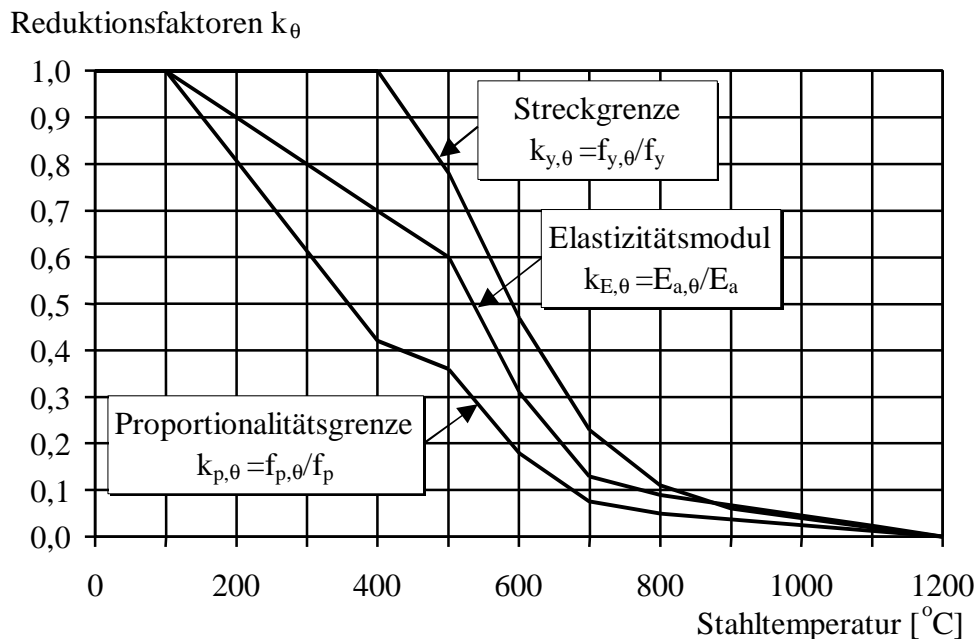


Bild 5 Abhängigkeit der Streckgrenze, der Proportionalitätsgrenze und des Elastizitätsmoduls von der Temperatur

### 3.4 Tragwerksbemessung im Brandfall für Stahlbauten

#### 3.4.1 Allgemeines

Wenn laut Bauordnungen oder Sonderbauordnungen Anforderungen an den Feuerwiderstand von Stahlbauteilen gestellt werden (s. dazu [18]), so 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 klassifiziert oder sie bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses oder einer Zustimmung im Einzelfall.

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 zur 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 DM pro t Stahlkonstruktion.

Die bisherige Praxis trennt die Dimensionierung von Stahlbauteilen auf der Basis der statischen Berechnung unter normalen Temperaturbedingungen weitgehend von der brandschutztechnischen Auslegung. Das übliche Verfahren ist, die Brandschutzmaßnahmen erst dann zu planen, wenn die Konstruktion festgelegt ist. Ziel dieser Planungsaufgabe ist es, die Art der Brandschutzmaßnahme (DSB, Platten oder Putz) und deren erforderliche Mindestdicke festzulegen. Dabei gehen neben der Funktion des Bauteils, ob Träger oder Stütze, als wesentliche Eingangsgrößen die erforderliche Feuerwiderstandsklasse sowie der Profilmfaktor ein (s. z.B. Bild 6).

	Feuerwiderstandsklasse-Benennung			
	F 30-A	F 60-A	F 90-A	F 120-A
	12,5	12,5 + 9,5	2 × 15	2 × 15 + 9,5 <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> Die raumseitige, 9,5 mm dicke Bekleidungschale darf auch aus Gipskarton-Bauplatten (GKB) nach DIN 18 180 bestehen.				

Bild 6 Tab. 90 der DIN4102-4

Mindestdickendicken  $d$  in mm von Stahlträgern mit  $U/A \leq 300 \text{ m}^{-1}$  mit einer Bekleidung aus Gipskarton-Feuerschutzplatten (GKF) nach DIN 18180 mit geschlossener Fläche

Der Profilmfaktor  $A_m/V$  ist nach EC3-1-2 als Verhältnis von brandbeanspruchter Oberfläche  $A_m$  zum Volumen  $V$  des Stahlbauteiles definiert. Für Bauteile mit über die Länge gleichbleibendem Querschnitt ist der Profilmfaktor identisch mit dem Wert  $U/A$  nach DIN 4102-4. Beispiele für die Ermittlung des Profilmfaktors bei I-Profilen zeigt Tabelle 5.

Tab. 5 Ermittlung des Profilmfaktors

Brandbeanspruchung	dreiseitig		allseitig	
Art der Bekleidung	profilfolgend	kastenförmig	profilfolgend	kastenförmig
Profilmfaktor $A_m/V =$	$\frac{\text{Mantelfläche} - b}{A}$	$\frac{2h + b}{A}$	$\frac{\text{Mantelfläche}}{A}$	$\frac{2h + 2b}{A}$

Das bisherige Vorgehen sieht vor, dass die erforderliche Mindestdicke für das jeweils gewählte Brandschutzmaterial nach der Ermittlung des Profilmfaktors lediglich noch von der gewünschten Feuerwiderstandsklasse abhängig ist. Die Materialdicken sind entweder wie in Bild 6 in der



DIN 4102-4 oder in den Herstellerprospekten angegeben. Basis dieser Werte ist der Normbrandversuch nach DIN 4102-2. Dazu gehört bei Stützen ab der Feuerwiderstandsklasse F 90 auch der sogenannte Löschwasserversuch, der in den zukünftigen europäischen Prüfnormen entfallen wird. Damit ist zukünftig mit Erleichterungen bei Brandschutzbekleidungen für Stützen zu rechnen.

In EC3-1-2 stehen für den Nachweis des Feuerwiderstands tragender Stahlbauteile (Träger und Stützen) allgemein Nachweise auf der Ebene 2, das heißt mit vereinfachten Berechnungsverfahren zur Verfügung. Bemessungstabellen für bestimmte Brandschutzbekleidungen sind aufgrund der Produktvielfalt nicht enthalten.

Die Nachweise mit vereinfachten Berechnungsverfahren können auf

- Temperaturebene oder auf
  - Tragfähigkeitsebene
- erfolgen.

Beim Nachweis auf Temperaturebene, dem  $\theta_{cr}$ -Verfahren, wird gezeigt, dass die höchste im Brandfall auftretende Stahltemperatur  $\theta_{a,max}$  unterhalb der kritischen Stahltemperatur  $\theta_{cr}$  bleibt. Die kritische Stahltemperatur  $\theta_{cr}$  ist die Temperatur, bei der der Bauteilwiderstand gerade noch so groß ist wie die Beanspruchung infolge mechanischer Lasten.

$$\theta_{a,max} \leq \theta_{cr} \quad (5)$$

Beim Nachweis auf Tragfähigkeitsebene wird, dem neuen Bemessungskonzept der Eurocodes folgend, im Brandfall der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt:

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t} \quad (6)$$

mit

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

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

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

### 3.4.2 Stahltemperaturen

Mit den Brandgastemperatur-Zeitkurven nach Kap. 3.2.1 lässt sich die Erwärmung ungeschützter und geschützter Stahlbauteile durch numerische Lösung der *Fourier*-Differentialgleichung für die Wärmeleitung in festen Stoffen bestimmen. Die dazu benötigten Werkstoffkennwerte für Baustahl sowie die Berechnungsformeln sind in EC3-1-2 angegeben. 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 EC1-2-2 geregelt sind. Die genannten Angaben basieren im wesentlichen aus den Erfahrungen aus Bauteilversuchen unter Normbrandbedingungen.

Bei Stahlbauteilen vereinfacht sich der numerische Aufwand für die Lösung der *Fourier*gleichung 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 7 als eine Bauteiltemperatur-Zeitkurve darstellen. Bild 7 zeigt, dass unter der Einheitstemperatur-Zeitkurve lediglich massige, ungeschützte Stahlbauteile so langsam erwärmt werden, dass die Stahltemperaturen bis zu 30 Minuten Branddauer unterhalb der Versagenstemperaturen bleiben.





Für ungeschützte Stahlbauteile hat der Verfasser in [19] Näherungsformeln angegeben, mit denen die Temperaturen in Abhängigkeit von der Branddauer und dem Profilfaktor unter Einheitstemperatur-Zeitkurve schnell errechnet werden können. Diese Kurven sind insbesondere für geringe Brandbelastungen mit äquivalenten Branddauern bis 30 min nützlich.

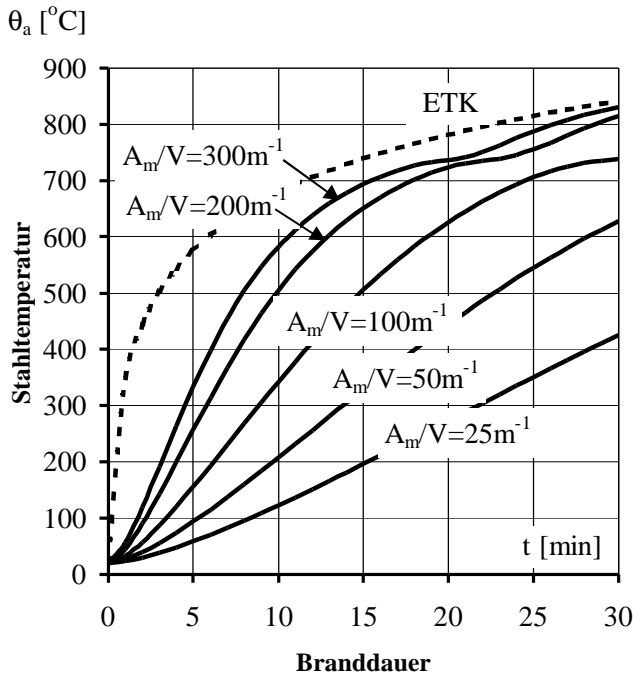


Bild 7

Erwärmungskurven ungeschützter Stahlquerschnitte unter Einheits-Temperaturzeitkurve; Kurvenparameter: Profilfaktor  $A_m/V$  [m<sup>-1</sup>]

Für bekleidete Stahlbauteile ergeben sich beispielsweise mit den Materialkennwerten nach [5] Erwärmungskurven nach Bild 8. Dabei wird deutlich, dass die Erwärmung durch größere Plattendicken verzögert wird.

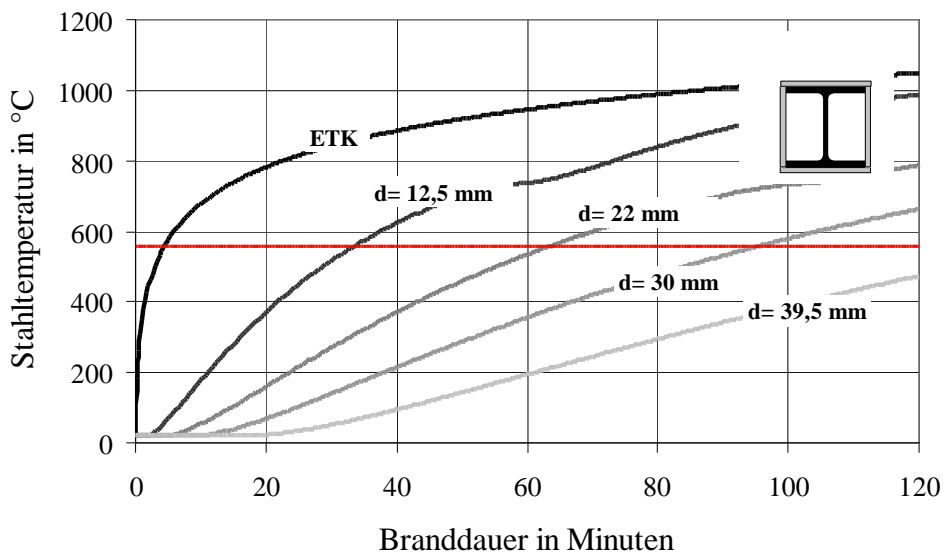


Bild 8 Rechnerisch ermittelte Erwärmungskurven für Stahlbauteile mit GKF-Platten und Profilfaktor  $A_m/V = 300 \text{ m}^{-1}$  in Abhängigkeit von der Plattendicke  $d$



### 3.4.3 Nachweis auf Temperaturebene ( $\theta_{cr}$ -Verfahren)

Beim  $\theta_{cr}$ -Verfahren wird nachgewiesen, dass die unter Kap. 3.4.2 errechneten Stahltemperaturen, die für eine geforderte Feuerwiderstandsdauer (R-Klasse) oder für eine äquivalente Branddauer ermittelt wurden, unterhalb der kritischen Stahltemperaturen bleiben. Letztere können in Abhängigkeit vom Ausnutzungsgrad nach Bild 9 einfach bestimmt werden. Der Ausnutzungsgrad ergibt sich aus dem Verhältnis von Einwirkungen und Tragwiderstand zu Beginn der Brandbelastung ( $t=0$ ):

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}} = \frac{\eta_{fi}}{\gamma_{M,20^\circ C}} = \frac{\eta_{fi}}{1,1} \quad (7)$$

Auf der sicheren Seite liegend darf dieser Ausnutzungsgrad mit  $\eta_{fi}=0,65$  (s. Kap. 3.2.2) zu  $\mu_0=0,59$  angesetzt werden. Dabei ergibt sich eine kritische Stahltemperatur von  $557^\circ C$ .

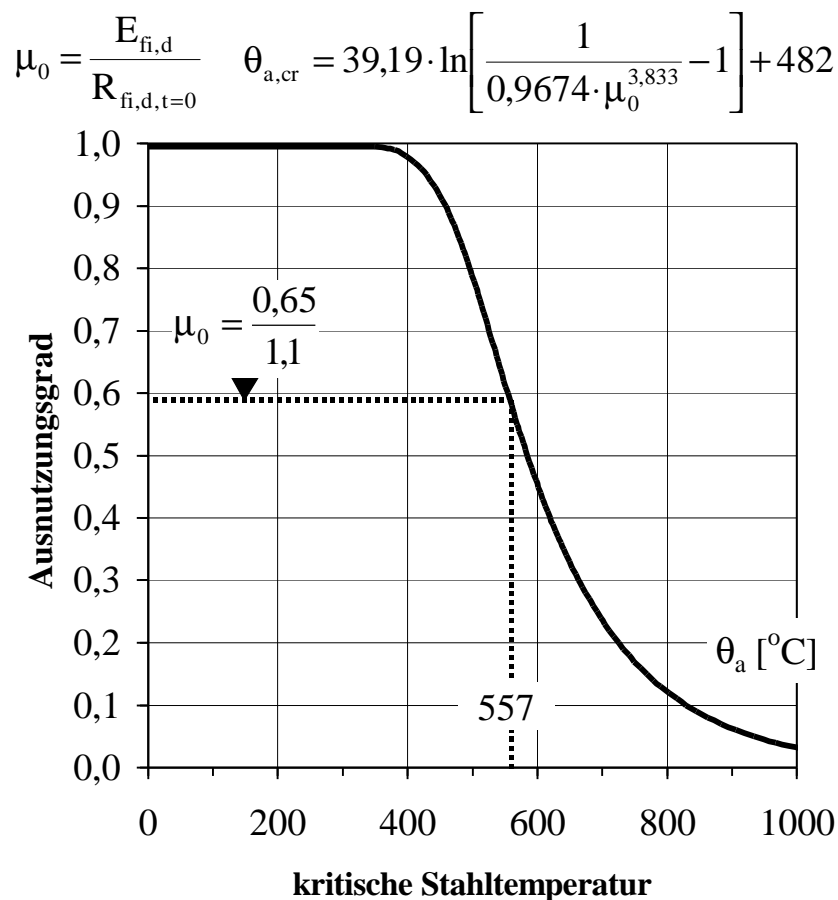


Bild 9 Kritische Stahltemperaturen in Abhängigkeit vom Ausnutzungsgrad  $\mu_0$



### 3.4.4 Nachweis auf Tragfähigkeitsebene

Der Nachweis auf Tragfähigkeitsebene erfolgt analog den Nachweisverfahren bei Raumtemperatur. Es wird jedoch berücksichtigt, dass sich Streckgrenze und Elastizitätsmodul infolge der erhöhten Temperaturen verringert haben. Maßgeblich ist wie beim  $\theta_{cr}$ -Verfahren die Bemessungs-Stahltemperatur nach Kap. 3.4.2, die homogen über den Querschnitt und über die Stablängsachse angenommen wird. Diese Annahme liegt in bestimmten Fällen, z. B. beim Träger mit aufliegender Betonplatte, auf der sicheren Seite. Vereinfachend darf hier die Tragfähigkeit im Brandfall unter Berücksichtigung eines Anpassungsfaktors  $\kappa$  (s. Tab. 6) ermittelt werden.

Im Folgenden wird am Beispiel des Nachweises für zentrisch gedrückte Stützen die Tragfähigkeit unter der Bemessungs-Stahltemperatur  $\theta_{a,max}$  angegeben:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi}}{\kappa(=1,2)} \cdot N_{pl,\theta_{a,max},Rd} = \frac{\chi_{fi}}{1,2} \cdot \frac{A \cdot f_{ay,20^{\circ}C} \cdot k_{y,\theta_{a,max}}}{\gamma_{M,fi}(=1,0)} \quad (8)$$

Tab. 6 Anpassungsfaktoren  $\kappa$  nach EC3-1-2

Bauteil	Statisches System	Beflammung	Anpassungsfaktor $\kappa$
Träger	Einfeldträger (statisch bestimmt)	allseitig	1,0
		dreiseitig mit Beton- oder Verbunddeckenplatte	1,0 *)
	statisch unbestimmte Träger	allseitig	0,8
		dreiseitig mit Beton- oder Verbunddeckenplatte	0,8 *)
Stützen	alle Lagerungsbedingungen	allseitig	1,2
Zugglieder	-	allseitig	1,0

\*) durch NAD gegenüber EC 3-1-2 geändert

Wie bei Raumtemperatur ergibt sich die Tragfähigkeit unter zentrischem Druck aus dem Produkt der vollplastischen Normalkraft und einem Abminderungsfaktor  $\chi$ . Bei der vollplastischen Normalkraft ist die Verringerung der Streckgrenze mit dem Reduktionsfaktor  $k_y$  (s. Bild 5) zu berücksichtigen. Der Abminderungsfaktor  $\chi$  wird aus dem bezogenen Schlankheitsgrad mit der Knickspannungskurve  $c$  bestimmt (s. Bild 10). Im Brandfall ist immer die Knickspannungskurve  $c$  anzusetzen. Bei dem Schlankheitsgrad ist die temperaturbedingte Verminderung von Streckgrenze und E-Modul anzusetzen. Günstig darf ggfs. eine kleinere Knicklänge im Brandfall nach Bild 11 angesetzt werden. Schlussendlich wird in Gl. (8) noch der Anpassungsfaktor  $\kappa=1,2$  nach Tab. 6 berücksichtigt.

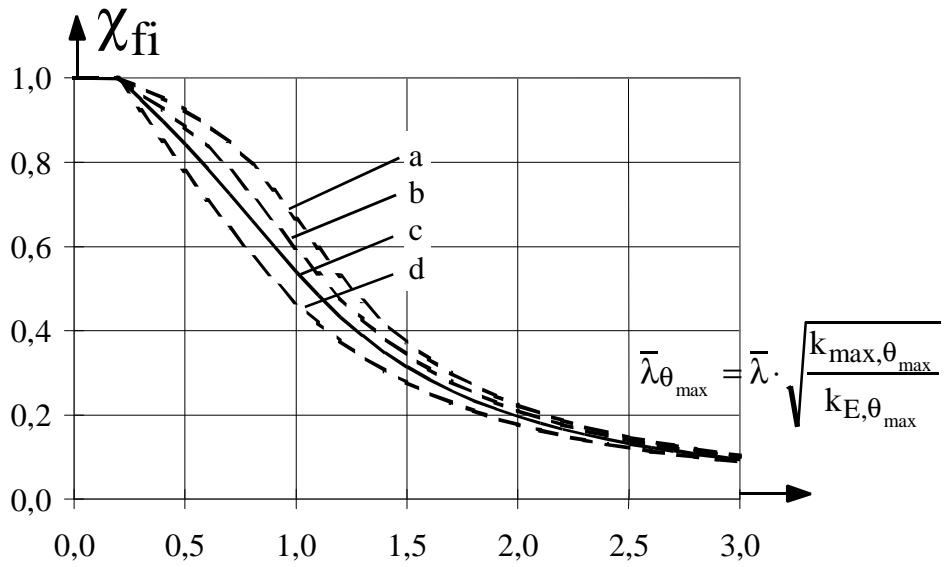


Bild 10 Knickspannungslinie im Brandfall (Kurve c)

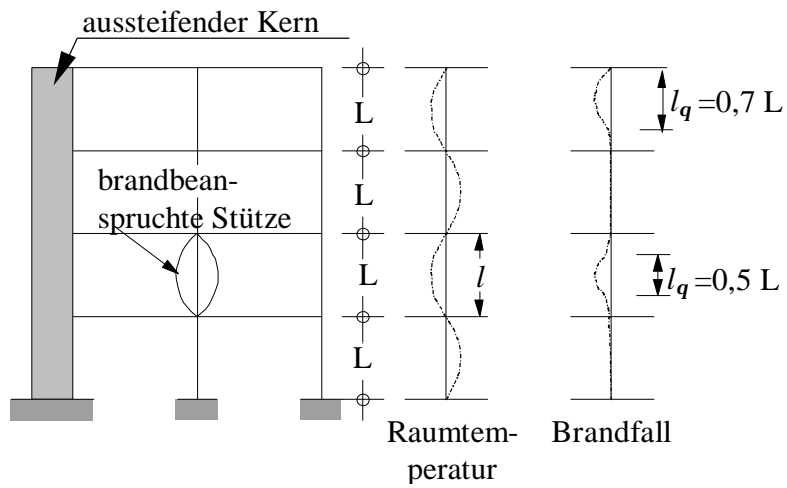


Bild 11 Knicklängen im Brandfall in ausgesteiften Rahmentragwerken



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die brandschutztechnischen Nachweise im Stahlbau erfahren durch den Eurocode EC3-1-2 gegenüber der DIN 4102 eine wesentliche Erweiterung. Damit wird der langgehegte Wunsch, die Brandbeanspruchung von Bauteilen als „Lastfall Brand“ berechenbar zu machen, erfüllt. Die Ingenieurtaetigkeit verändert sich von der passiven Eingliederung der Bauteile in ein Klassifizierungssystem zu einer Entwurfs- und Bemessungsaufgabe. Die für den Brandschutz erforderlichen Maßnahmen lassen sich auf dieser Grundlage besser an die vorliegenden Verhältnisse anpassen, was der Wirtschaftlichkeit dient und sich als Erleichterung für den Stahlbau erweisen kann.

Die vorliegenden Brandschutzteile der Eurocodes sind als Europäische Vornormen parallel zu den nationalen Vorschriften gültig. Die „heißen Eurocodes“ dürfen im Einzelfall angewendet werden und stellen eine technisch gleichwertige Lösung im Sinne von § 3 Abs. 3 MBO dar. Bereits in etwa zwei bis drei Jahren sollen sie ihren Vornormencharakter verlieren und in überarbeiteter Fassung als Europäische Norm veröffentlicht werden. Möglicherweise entfallen dann auch die Einschränkungen, die z.Zt. durch die Nationalen Anwendungsdokumente hinsichtlich der Berücksichtigung von Naturbränden auf der Seite der Einwirkungen und der allgemeinen Berechnungsverfahren auf der Seite der Beanspruchbarkeiten formuliert werden.

Wegen des erheblichen Kostenanteils muss der Stahlbau das Ziel verfolgen, die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen durch maßgerechte Anforderungen und Ausnutzung aller Tragreserven im Brandfall zu reduzieren. Dabei sind passive Brandschutzmaßnahmen wie Bekleidungen durch Anrechnung aktiver Maßnahmen (Brandmeldeanlagen, Sprinkler) zu kompensieren.

Mit Veröffentlichung der neuen Muster-Industriebaurichtlinie (M IndBauRL) hat die Berücksichtigung von Naturbränden – hier in Form des Konzeptes der äquivalenten Branddauer – im Industriebau bereits Einzug in die nationalen Regelwerke gefunden. Ebenso ist die Anwendung von Methoden des Brandschutzingenieurwesens erlaubt.

Derzeit befindet sich eine neue DASt-Richtlinie mit dem Titel „Brandsicherheit von Stahl- und Stahlverbundbauten“ in Vorbereitung. Die Umsetzung wesentlicher Bestandteile der Eurocodes in Form von vereinfachten Berechnungsmethoden (Nachweisebene 2) und die Aufbereitung für den „alltäglichen Gebrauch“ auch in nicht auf den Brandschutz spezialisierten Ingenieurbüros ist geplant.

Weitere Erleichterungen für den Stahlbau sind mit der Überarbeitung der Musterbauordnung von 1996 hinsichtlich des baulichen Brandschutzes zu erwarten. In [20] wird der Entwurf des neuen Brandschutzkonzeptes erstmalig vorgestellt. Der Entwurf sieht zwischen den Feuerwiderstandsklassen F 30 (feuerhemmend) für Gebäude geringer Höhe und F 90 (feuerbeständig) für sonstige Gebäude eine Zwischenstufe der Feuerwiderstandsklasse F 60 AB („hochfeuerhemmend“) vor. Diese Brandschutzanforderung soll für Gebäude mittlerer Höhe gelten, deren höchstgelegene Aufenthaltsräume maximal 13 m (gemessen bis zur Oberkante des Fußbodens) über Gelände liegen und deren Nutzungseinheiten in einem Geschoss 400 m<sup>2</sup> Grundfläche nicht überschreiten.



## 5 Literatur

- [1] 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
- [2] DIN V ENV 1993-1-2 Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Deutsche Fassung ENV 1993-1-2 : 1995, Mai 1997, Beuth Verlag, Berlin
- [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] Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1991-2-2:1997-05 Eurocode 1, DIN-Fachbericht 91, Beuth Verlag, Berlin, 2000
- [5] Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1993-1-2: 1997-05– Eurocode 3, DIN-Fachbericht 93, Beuth Verlag, Berlin 2000
- [6] Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1994-1-2:1997-06 Eurocode 4, DIN-Fachbericht 94, Beuth Verlag, Berlin, 2000
- [7] Wathling, K.-D.: Anwendung der Eurocodes im Bauaufsichtlichen Verfahren, in: Brandschutz in Europa – Bemessung nach Eurocodes – Erläuterungen und Anwendungen zu den Brand-schutzteilen der Eurocodes 1 bis 6, Beuth Verlag, 2000
- [8] Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU: Muster-Richtlinie über den baulichen Brand-schutz im Industriebau (Muster-Industriebaurichtlinie – M IndBauRL), Fassung März 2000, veröffentlicht im Tagungsband zur VdS-Fachtagung, Neue Industriebaurichtlinie, VdS Schadensverhütung im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. GDV, Köln, 2000
- [9] Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU: Erläuterungen zur Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Erl M IndBauRL), Fassung März 2000, veröffentlicht im Tagungsblatt zur VdS-Fachtagung, Neue Industriebaurichtlinie, VdS Schadensverhütung im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. GDV, Köln, 2000
- [10] DIN 18230-1, Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Beuth Verlag, Berlin, 05.1998
- [11] Böckenförde, Temme, Krebs: MBO – Musterbauordnung für die Länder der Bundesrepublik Deutschland, Fassung Juni 1996
- [12] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe 09.77
- [13] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Ausgabe 03.94



- [14] Schaumann, P.: Brandschutzbemessung im Stahlbau – DIN V ENV 1993-1-2 - Eurocode 3 Teil 1-2, in: Brandschutz in Europa – Bemessung nach Eurocodes – Erläuterungen und Anwendungen zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 1 bis 6, Beuth Verlag, 2000
- [15] Schaumann, P.; Upmeyer, J.: Tragwerksbemessung von Stahlbauten für den Brandfall - Beispiele, Brandschutz - Fachseminar und Workshop, Bauen mit Stahl e.V., Fachhochschule München, München, April 2000
- [16] Schaumann, P.; Upmeyer, J.: Tragwerksbemessung von Verbundbauten für den Brandfall - Beispiele, Brandschutz - Fachseminar und Workshop, Bauen mit Stahl e.V., Fachhochschule München, München, April 2000
- [17] Schleich, J.-B.: Globales Brandsicherheitskonzept, Stahlbau 67, Heft 2, S. 81 bis 96, 1998
- [18] Halfkann, K.-H.; Heinemeyer, C.; Schaumann, P.; Stöber, W.; Upmeyer, J.: Brandschutz im Stahlbau nach Musterbauordnung, Empfehlungen des DSTV-Arbeitsausschusses Brandschutz, Deutscher Stahlbau-Verband, Düsseldorf, 1.Auflage, Oktober 1999  
[www.stahlbau.uni-hannover.de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen.htm](http://www.stahlbau.uni-hannover.de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen.htm)
- [19] Schaumann, P.: Brandschutznachweise für ungeschützte Stahlkonstruktionen - Näherungsformeln für die Erwärmung nach ETK, BundesBauBlatt, Heft 7, S. 69 bis 71, 1999
- [20] Jäde, H.: Strukturelle Probleme des Bauordnungsrechts am Beispiel des neuen Brandschutzkonzepts der Musterbauordnung (MBO), Tagungsband, Braunschweiger Brandschutz-Tage, IBMB, TU Braunschweig, 1999

zu [15;16] siehe: [www.stahlbau.uni-hannover.de/veroeffentlichungen/Veroeff\\_Brand.htm](http://www.stahlbau.uni-hannover.de/veroeffentlichungen/Veroeff_Brand.htm)