



Bildnachweis: Institut Feuerverzinken

Dr.-Ing. Joachim Kretz

Brandschutz nach DIN EN 1993-1-2

Feuerwiderstandsdauer R30 durch Feuerverzinkung

Die Tragwerksbemessung für den Brandfall ist für Stahl- und Stahlverbundbauteile nach DIN EN 1993-1-2 bzw. DIN EN 1994-1-2 zu führen. Da beim Brand eine Erwärmung der Bauteile mit einer Reduktion der Festigkeit und der Steifigkeit verbunden ist, sind Stahlkonstruktionen zu schützen. In Abhängigkeit der Anforderungen an den baulichen Brandschutz können die Stahlbauteile ungeschützt oder durch Brandschutzmaterialien wärme- gedämmt ausgeführt werden.

In der Regel erfolgt der Brandschutz durch passive Brandschutzsysteme wie z.B. intumeszierende Anstriche oder Umhüllung mit Brandschutzplatten. Der Eurocode 3 bietet aber auch rechnerische Nachweisverfahren, um den Brandschutznachweis zu erfüllen. Hierzu ist die Bauteiltemperatur nach DIN EN 1993-1-2 [1] zu bestimmen und der Tragfähigkeitsnachweis unter Berücksichtigung der Abminderung der Materialkennwerte zu führen. In einem umfangreichen For-

schungsprojekt am Lehrstuhl für Metallbau der Universität München [6] wurde nachgewiesen, dass eine Feuerverzinkung der Stahlkonstruktion zu einer langsameren Erwärmung der Stahlbauteile führt, sodass die Feuerwiderstandsdauer R30 ungeschützt erreicht wird. R30-Anforderungen durch ungeschützte, feuerverzinkte Stahlkonstruktionen zu erreichen, bietet große wirtschaftliche Vorteile.

1 Bauaufsichtliche Bestimmungen

1.1 Grundlagen – Bauaufsichtliche Bestimmungen

Grundlage der Bauausführung sind die in den Landesbauordnungen (LBO) und den Sonderbauverordnungen festgelegten Anforderungen an den baulichen Brandschutz. Das notwendige Sicherheitsniveau einer baulichen Anlage ist unter anderem abhängig von der Gebäudeklasse, der Nutzung und der verwendeten Brandschutzmaßnahmen (wie z. B. Brandmeldeanlagen, Feuerlöschanlagen). Das einzuhaltende Sicherheitsniveau wird dabei durch eine Klassifizierung der Feuerwiderstandsdauer in R30, R60, R90 und höhere Klassen definiert.

1.2 Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Feuerwiderstandsklassen

Die Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen werden über bauaufsichtliche Benennung definiert. Unterschieden werden die Baustoffe in:

- nichtbrennbar (nb)
- schwerentflammbar (se)
- normalentflammbar (ne)

Neben den Angaben über die Brennbarkeit von Baustoffen werden Angaben über die Rauchentwicklung und über das brennbare Abtropfen beschrieben.

Je nach den Anforderungen an ihre Feuerwiderstandsdauer werden Bauteile unterschieden in:

bauaufsichtliche Anforderung	Abkürzung	Feuerwiderstandsdauer	Widerstand in min
feuerbeständig	fb	R90	90
hochfeuerhemmend	hfh	R60	60
feuerhemmend	fh	R30	30

Konkretisiert werden die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer tragender und aussteifender Bauteile anhand von technischen Baubestimmungen. Zur Klassifizierung von Bauteilen und Baustoffen ist die DIN EN 13501 zu verwenden. Für lastabtragende Bauteile sind im europäischen Klassifizierungssystem folgende drei Kriterien wesentlich:

- Tragfähigkeit
- Raumabschluss
- Wärmedämmung unter Brandeinwirkung

2 Temperaturabhängiges Materialverhalten von Stahl

Mit steigender Bauteiltemperatur verringert sich die Festigkeit (Absinken der Fließgrenze) sowie die Steifigkeit (Absinken des Elastizitätsmoduls) des Stahls. Das temperaturabhängige Materialverhalten des Stahls ist gemäß DIN EN 1993-1-2 [1], wie in Bild 1 dargestellt, definiert. Die Fließgrenze des Stahls wird ab ca. 500 °C stark reduziert.

Die Abminderungsfaktoren $k_{y,\theta}$ (effektive Fließgrenze) und $k_{p,\theta}$ (Proportionalitätsgrenze) sind dabei relativ zur Fließgrenze bei 20 °C definiert und $k_{E,\theta}$ (Steigung im elastischen Bereich) relativ zu der Steigung bei 20 °C.

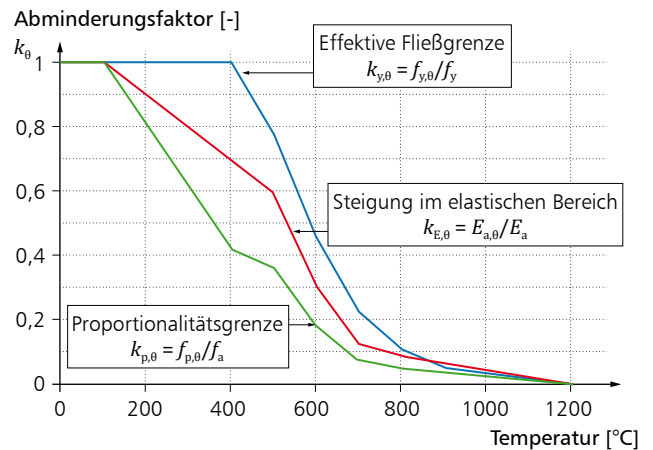


Bild 1 Temperaturabhängiges Materialverhalten von Stahl nach [1]

Das temperaturabhängige Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Stahls ist Bild 2 zu entnehmen.

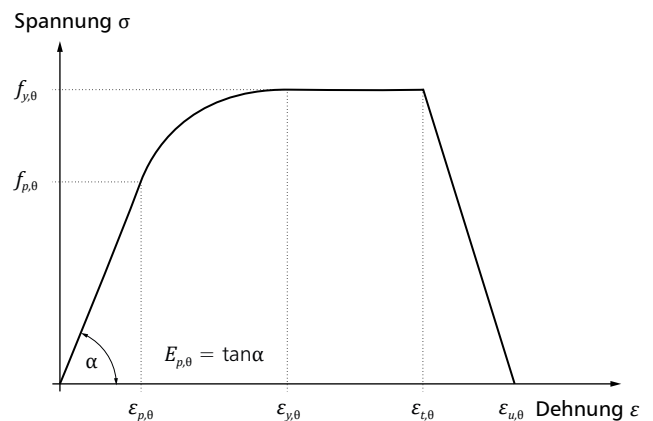


Bild 2. Temperaturabhängiges Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Stahl nach [1]

3 Brandschutznachweise nach DIN EN 1993-1-2

3.1 Allgemeines

Die Tragwerksbemessung im Brandfall ist in DIN EN 1993-1-2 im Kapitel 4 geregelt. Zur Nachweisführung werden für ungeschützte sowie wärmedämmte Stahlkonstruktionen drei Nachweisebenen unterschieden.

- Ebene 1 – Tabellarische Daten
- Ebene 2 – Vereinfachte Rechenverfahren
- Ebene 3 – Allgemeine Rechenverfahren / Erweiterte Berechnungsmodelle

Während tabellarische Lösungen der Ebene 1 nur für Brandschutznachweise von Einzelbauteilen nach der Einheitstemperaturkurve (ETK) anwendbar sind, ermöglichen die vereinfachten (Ebene 2) und die allgemeinen Rechenverfahren (Ebene 3) genauere und wirtschaftlichere Nachweise.

Grundlage der rechnerischen Brandschutznachweise der Eurocodes ist die Ermittlung der Erwärmung ΔT der Bauteile über die Zeit t . Mit der zum Zeitpunkt t vorherrschenden Bauteiltemperatur lässt sich die Resttragfähigkeit aufgrund der reduzierten Materialeigenschaften, wie der Steifigkeit und der Festigkeit, berechnen.

In diesem Artikel wird zum rechnerischen Nachweis einer ausreichenden Tragfähigkeit im Brandfall nachfolgend nur das vereinfachte Bemessungsverfahren der Ebene 2 betrachtet.

Die vereinfachten Bemessungsverfahren nach DIN EN 1993-1-2 basieren auf vereinfachten Annahmen, wie z. B. der Annahme einer konstanten Temperaturverteilung über den gesamten Querschnitt. Zur Nachweisführung im Brandfall stehen zwei Nachweisformate im Kapitel 4.2 „vereinfachte Bemessungsverfahren“ des Eurocode 3 zur Verfügung:

- Nachweis der Tragfähigkeit $E_{fi,d,t} < R_{fi,d,t}$
- Nachweis der kritischen Temperatur $\theta_{a,d} < R_{a,cr,d}$

Der Nachweis einer ausreichenden Tragfähigkeit im Brandfall gilt als erbracht, wenn die Tragfähigkeit (mechanische Beanspruchbarkeit $R_{fi,d,t}$) über die gesamte Branddauer größer als die mechanische Beanspruchung (Einwirkung) $E_{fi,d,t}$ ist (Bild 3) bzw. wenn die im Querschnitt vorhandene Temperatur über die gesamte Branddauer kleiner als die kritische Temperatur ist.

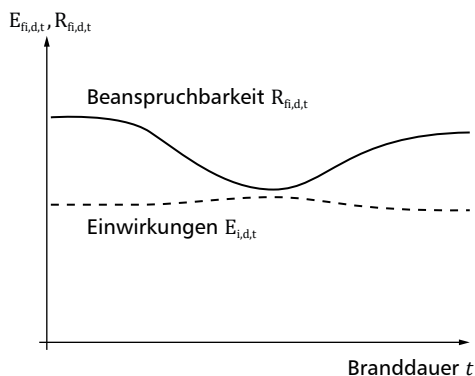


Bild 3. Tragverhalten unter Berücksichtigung der Brandeinwirkung

3.1 Nachweis der Tragfähigkeit $E_{fi,d,t} < R_{fi,d,t}$

Bei diesem Nachweisformat wird nachgewiesen, dass ein Bauteil seine lastabtragende Funktion zum Zeitpunkt t eines gegebenen Brandes erfüllt. Die Beanspruchung im Brandfall zum Zeitpunkt t darf die Beanspruchbarkeit des Stahlbauteils in der außergewöhnlichen Bemessungssituation nicht überschreiten. Die zu führenden Nachweise folgen dem üblichen Vorgehen der Eurocodes unter Normaltemperaturbeanspruchung. Bei Anwendung der vereinfachten Verfahren darf die Querschnittsklassifizierung wie unter Normaltemperatur, jedoch mit einem um 0,85 abgeminderten Wert für ϵ durchgeführt werden. Im Brandfall gilt:

$$\epsilon = 0,85 \cdot \sqrt{235/f_y}$$

Die zu führenden Nachweise der Tragfähigkeit sind im Kapitel 4.2 des EC 3 vollständig dokumentiert, sodass an dieser Stelle auf die DIN EN 1993-1-2 verwiesen wird.

3.2 Nachweis der kritischen Temperatur

Alternativ zum Nachweis der Tragfähigkeit nach Kap. 4.2.3 [1] darf der Nachweis der kritischen Temperatur nach Kapitel 4.2.4 [1] geführt werden.

Bei einer Nachweisführung der kritischen Temperatur wird nachgewiesen, dass die Querschnittstemperatur T zu einem Zeitpunkt t einen kritischen Wert nicht überschreitet. Die kritische Bauteiltemperatur T_{crit} ist dabei die Temperatur, bei der die Festigkeit oder Steifigkeit des Stahls unter die Festigkeit absinkt, bei der der Grenzzustand der Tragfähigkeit unterschritten wird.

3.3 Entwicklung der Stahltemperatur

Angaben zur Entwicklung der Stahltemperatur sind dem Kapitel 4.2.5 der DIN EN 1993-1-2 [1] zu entnehmen. Dabei ist zwischen ungeschützten innen liegenden Stahlkonstruktionen und innen liegenden Stahlkonstruktionen, geschützt durch Brandschutzmaterialien, zu unterscheiden.

3.3.1 Ungeschützte innen liegende Stahlkonstruktionen

Nach GL (4.25) aus [1] sollte bei gleichmäßiger Temperatur im Querschnitt der Temperaturanstieg $\Delta\theta_{a,t}$ in einem ungeschützten Stahlbauteil während eines Zeitintervalls Δt berechnet werden nach:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t \quad (4.25)$$

mit

k_{sh}	Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt
A_m/V	Profilfaktor des ungeschützten Stahlbauteils in [1/m]
A_m	die dem Brand ausgesetzte Oberfläche des Bauteils pro Längeneinheit [m ² /m]
V	Volumen des Bauteils pro Längeneinheit [m ³ /m]
c_a	spezifische Wärmekapazität von Stahl nach Abschnitt 3 [1] in [J/kg K]
$\dot{h}_{net,d}$	flächenbezogener Bemessungswert des Nettowärmestroms in [W/m ²]
Δt	Zeitintervall in [Sekunden]
ρ_a	Rohdichte von Stahl nach Abschnitt 3 [1] in [kg/m ³]

Unter nominaler Brandeinwirkung darf für I-Querschnitte der Abschattungseffekt nach GL (4.26a) bestimmt werden.

$$k_{sh} = 0,9 \cdot \frac{[A_m/V]_b}{[A_m/V]} \quad (4.26a)$$

mit

$[A_m/V]_b$	Profilfaktor für den das Profil umschließenden Kasten
-------------	---

In allen anderen Fällen sollte der Abschattungseffekt nach GL (4.26b) bestimmt werden.

$$k_{sh} = 1,0 \cdot \frac{[A_m/V]_b}{[A_m/V]} \quad (4.26b)$$

In Tabelle 4.2 der DIN EN 1993-1-2 ist der Profilfaktor A_m/V für ungeschützte Stahlbauteile angegeben.

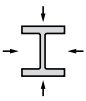
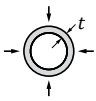
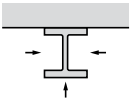
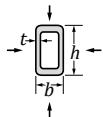
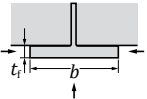
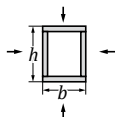
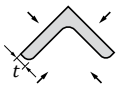
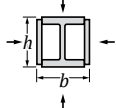
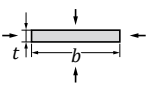
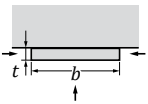
<p>Offener Querschnitt mit allseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{Umfang}}{\text{Querschnittsfläche}}$ 	<p>Rohr mit allseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$ 
<p>Offener Querschnitt mit dreiseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{brandbeanspruchte Oberfläche}}{\text{Querschnittsfläche}}$ 	<p>Hohlquerschnitt (oder geschweißter Kasten) mit allseitiger Brandeinwirkung:</p> <p>Wenn $t < b$: $\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t}$</p> 
<p>Flansch eines I-Querschnitts mit dreiseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{b + 2t_f}{bt_f}$ <p>Wenn $t < b$: $\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t_f}$</p> 	<p>Geschweißter Kastenquerschnitt mit allseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{Querschnittsfläche}}$ <p>Wenn $t < b$: $\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t}$</p> 
<p>Winkel mit allseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{b + 2t}{bt}$ 	<p>I-Querschnitt mit Kastenverstärkung und allseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{Querschnittsfläche}}$ 
<p>Flachstahl mit allseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + t)}{bt}$ <p>Wenn $t < b$: $\frac{A_m}{V} \approx \frac{2}{t}$</p> 	<p>Flachstahl mit allseitiger Brandeinwirkung:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{b + 2t}{bt}$ <p>Wenn $t < b$: $\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t}$</p> 

Tabelle 1. Profilfaktor A_m/V für ungeschützte Stahlbauteile (entspricht Tab. 4.2 aus [1])

In Gleichung 4.25 ist nach DIN EN 1993-1-2 die Größe des Nettowärmestromes nach DIN EN 1991-1-2 [3] unter Verwendung von $\epsilon_f = 1.0$ (Emissivität der Flamme) und $\epsilon_m = 0.7$ (Emissivität der Bauteiloberfläche) zu ermitteln. Die Emissivität ϵ ist dabei ein Maß, das angibt, wie stark ein Material Wärmestrahlung an seine Umgebung abgibt.

Die Werte der o. g. Emissionsgrade ϵ_f und ϵ_m sind gemäß DIN EN 1993-1-2 [1] in Verbindung mit DIN EN 1991-1-2 [2] vorgegeben. Im Rahmen eines umfangreichen Forschungsprojektes am Lehrstuhl für Metallbau der Universität München [6] konnte nachgewiesen werden, dass eine Feuerverzinkung zu einer langsameren Erwärmung von Stahlbauteilen beiträgt. Auf die Ergebnisse des Forschungsvorhabens wird im Abschnitt 4 dieses Artikels näher eingegangen.

3.3.2 Innen liegende Stahlkonstruktionen, geschützt durch Brandschutzmaterialien

Passive Brandschutzsysteme, wie Umhüllung mit Wärmedämmmaterialien, gewährleisten auch für höhere Feuerwiderstandsdauern die Standsicherheit für Stahltragwerke und Stahlbauteile im Brandfall.

Der Temperaturanstieg $\Delta\theta_{a,t}$ eines wärmegeprägten Stahlbauteils während des Zeitintervalls Δt berechnet sich nach Gleichung (4.27) [1] zu:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p/V (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a \rho_a (1 + \phi/3)} \Delta t (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (4.27)$$

Wobei gilt:

$$\Delta\theta_{a,t} \geq 0, \text{ wenn } \Delta\theta_{g,t} \geq 0$$


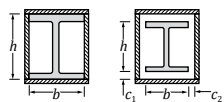
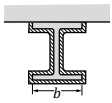
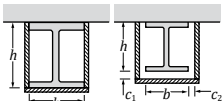
mit

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p/V$$

Dabei ist

- A_p/V Profilfaktor des wärmegeprägten Stahlbauteils in [1/m]
- A_p Fläche des Brandschutzmaterials, bezogen auf die Bauteillänge [m²/m]
- V Bauteilvolumen, bezogen auf die Bauteillänge [m³/m]
- c_a temperaturabhängige spezifische Wärmekapazität von Stahl nach Abschnitt 3 [J/kg K]
- c_p temperaturabhängige spezifische Wärmekapazität des Brandschutzmaterials [J/kg K]
- d_p Dicke des Brandschutzmaterials [m]
- Δt Zeitintervall [Sekunden]
- $\theta_{a,t}$ Stahltemperatur zum Zeitpunkt t [°C]
- $\theta_{g,t}$ Temperatur der umgebenden Luft zum Zeitpunkt t [°C]
- $\Delta\theta_{g,t}$ Anstieg der Umgebungstemperatur während des Zeitintervalls Δt [K]
- λ_p Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzsystems [W/mK]
- ρ_a Rohdichte von Stahl nach Abschnitt 3 [kg/m³]
- ρ_p Rohdichte des Brandschutzmaterials [kg/m³]

In Tabelle 2 werden einige Bemessungswerte für den Profilfaktor A_p/V für wärmegeprägten Stahlbauteile angegeben.

Skizze	Beschreibung	Profilfaktor (A_p/V)
	Profilfolgende Verkleidung konstanter Dicke	$\frac{\text{Stahlumfang}}{\text{Fläche des Stahlquerschnitts}}$
	Kastenverkleidung ¹⁾ konstanter Dicke	$\frac{2(b+h)}{\text{Fläche des Stahlquerschnitts}}$
	Profilfolgende Verkleidung konstanter Dicke mit dreiseitiger Brandbeanspruchung	$\frac{\text{Stahlumfang} = b}{\text{Fläche des Stahlquerschnitts}}$
	Kastenverkleidung ¹⁾ konstanter Dicke mit dreiseitiger Brandbeanspruchung	$\frac{2h+b}{\text{Fläche des Stahlquerschnitts}}$

¹⁾ Die Größe der Zwischenräume c_1 und c_2 sollte $h/4$ nicht überschreiten

Tabelle 2. Profilfaktor A_m/V von Stahlbauteilen, die durch Brandschutzmaterialien geschützt sind (entspricht Tab. 4.3 aus [1])

4 Feuerwiderstand verzinkter Stahlkonstruktionen – R30 ungeschützt

Im Rahmen des Forschungsprojektes IGF-Nr. 18887 N [6] wurde analysiert, ob für feuerverzinkte Stahlkonstruktionen Synergieeffekte im Brandschutz für Bauvorhaben mit einer R30-Klassifizierung generiert werden können. Im Folgenden werden in kurzer Form wesentliche Inhalte und Ergebnisse des Forschungsprojektes auszugsweise angegeben. Ausführliche Beschreibungen zum Forschungsprojekt sind aus den Dokumenten im Literaturverzeichnis zu entnehmen.

4.1 Allgemeines

Als Korrosionsschutzmaßnahme wird das Verzinken von Stahlbauteilen bereits seit Jahrzehnten erfolgreich angewandt. Im Bauwesen spielt insbesondere das Feuerverzinken nach DIN EN ISO 1461 [4] eine wesentliche Rolle. Beim Tauchvorgang des Feuerverzinkens bildet sich ein Überzug aus mehreren, verschiedenartig zusammengesetzten Eisen-Zink-Legierungsschichten. Faktoren wie Tauchdauer, Zinkbadtemperatur oder Bauteildicke haben Einfluss darauf, welche Legierungsschichten sich bilden. Einer der wichtigsten Parameter beim Feuerverzinken ist aber der Silizium- und Phosphorgehalt. Je nach chemischer Zusammensetzung des zu verzinkenden Bauteils lassen sich vier Kategorien gemäß DIN EN ISO 14713-2 [5] unterscheiden:

- Niedrigsilizium-Bereich (Kategorie A)
- Sebisty-Bereich (Kategorie B)
- Sandelin-Bereich (Kategorie C)
- Hochsilizium-Bereich (Kategorie D)

In Bild 4 sind die verschiedenen Kategorien der Verzinkung und deren Oberflächeneigenschaften dargestellt. Der Emissionsgrad ϵ_m der verschiedenen verzinkten Oberflächen wurde im Zuge des Forschungsvorhabens experimentell bestimmt.

Kat.	Bezeichnung	Oberflächeneigenschaften
A	Niedrigsilizium-Bereich: $\leq 0,04\%$ Si und $0,02\%$ P	Silbrig glänzend
B	Sebisty-Bereich: $> 0,14\%$ bis $0,25\%$ Si	Silbrig glänzend bis matt
C	Sandelin-Bereich: $> 0,04\%$ bis $0,14\%$ Si	Matt, teils grießig
C	Hochsilizium-Bereich: $> 0,25\%$ Si	matt, grau

Bild 4. Kategorien der Verzinkung gemäß DIN EN ISO 14713-2

Um den Einfluss der Emissivität auf die Feuerwiderstandsdauer zu verdeutlichen, wird im Folgenden die thermische Einwirkung im Brandfall näher erläutert.

4.2 Wärmetransport im Brandfall

Wie bereits im Abschnitt 3.2 angegeben, berechnet sich die Temperaturerhöhung $\Delta\theta_{a,t}$ in einem ungeschützten Stahlquerschnitt nach GL (4.25) zu:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t$$

Dabei ist einerseits das Erwärmungsverhalten des Querschnitts stark beeinflusst von seinen geometrischen Parametern, wie z. B. dem Profilfaktor, andererseits aber auch von dem Netto-Wärmestrom $\dot{h}_{net,d}$.

Die Darstellung des Wärmetransports im Brandfall ist nach [7] in Bild 5 prinzipiell dargestellt.

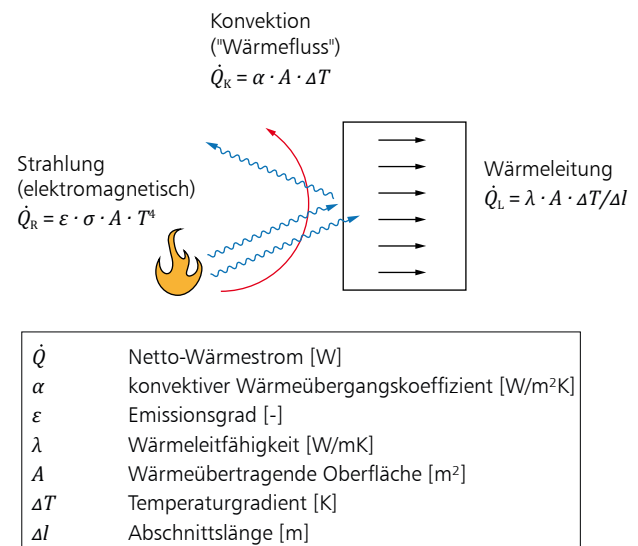


Bild 5. Wärmetransport im Brandfall nach [7]

Der Wärmetransport beruht auf dem Energieaustausch zwischen zwei Systemen, wobei der Transport immer vom höheren zum niedrigeren Energieniveau erfolgt. Dies kann durch Wärmeleitung, Konvektion und elektromagnetische Wellen erfolgen.

Nach DIN EN 1991-1-2 [2] setzt sich der Netto-Wärmestrom aus den Teilen Konvektion und Wärmestrahlung zusammen:

$$\dot{h}_{\text{net}} = \dot{h}_{\text{net,c}} + \dot{h}_{\text{net,r}}$$

mit dem konvektiven Anteil des Netto-Wärmestroms

$$\dot{h}_{\text{net,c}} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_a)$$

und dem Netto-Wärmestrom durch Strahlung

$$\dot{h}_{\text{net,r}} = \phi \cdot \epsilon_m \cdot \epsilon_f \cdot \sigma \left[(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4 \right]$$

Der Einfluss der Wärmestrahlung wird durch die 4. Potenz bestimmt. Damit ist der Einfluss der Wärmestrahlung im Bereich von großen Temperaturdifferenzen, d.h. zum Beginn eines Brandes, zwischen dem Bauteil und der Umgebung sehr groß. Wie weiterhin aus den vorstehenden Gleichungen zu erkennen ist, wird der Wärmestrom durch Strahlung von zwei Emissionswerten beeinflusst. Dies ist zum einen der Emissionsgrad des das Bauteil umgebenden Feuers ϵ_f , und zum anderen der Wert für den Emissionsgrad ϵ_m des Bauteils bzw. der Oberfläche des Bauteils. Je kleiner also der Emissionsgrad ist, umso langsamer schreitet die Erwärmung des Bauteils voran.

Im Bauwesen finden sich fast ausschließlich die Kategorien A, B und D (vgl. Bild 4). Für diese Kategorien wurde der Wärmetransport unter Brandbeanspruchung im Rahmen des genannten Forschungsprojektes durch ein umfangreiches Versuchsprogramm analysiert.

Als ein wesentliches Ergebnis des Forschungsprojektes konnten die temperaturabhängigen Emissionsgrad-Mittelwerte der Kategorien A, B und D, beispielhaft für eine bestimmte Versuchsreihe, entsprechend Bild 6 bestimmt werden.

Es zeigte sich, dass das Verhalten von feuerverzinkten Bauteilen für eine R30 Brandschutzanforderung immer günstiger war, als das Verhalten, das sich nach DIN EN 1993-1-2 ergibt.

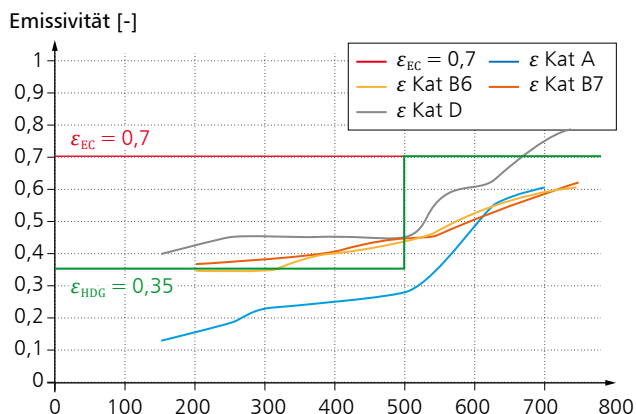


Bild 6. Temperaturabhängige Emissions-Mittelwerte nach [6]

Während in DIN EN 1993-1-2 [1] sowie in DIN EN 1994-1-2 [3] für Baustahl auf einen vereinfachten, von der Oberfläche unabhängigen, konstanten Emissionsgrad $\epsilon_m=0.7$ zurückgegriffen wird, zeigen feuerverzinkte Oberflächen eine deutlich von der Temperatur abhängige Emissivität.

Mensinger / Gaigl [6] leiteten auf der Grundlage des durchgeführten Forschungsvorhabens ein neues Konzept zur Berücksichtigung der Emissivität von Bauteilen im Brandfall ab, welches nur für die Kategorien A und B, inklusive einer äußeren Reinzinkschicht, anzuwenden ist.

Tabelle 3 zeigt die praxisgerechte Umsetzung der Forschungsergebnisse. Vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend wurde ein zweistufiges Emissionsgradkonzept entwickelt. Gerade bei massigeren Profilen oder im Verbundbau führen die kleineren Emissionsgrade dazu, dass eine R30 Brandschutzanforderung ohne zusätzliche Maßnahmen erreicht werden kann.

	$\epsilon_m \leq 500 \text{ °C}$	$\epsilon_m > 500 \text{ °C}$
Baustahl	0,70	
nichtrostender Stahl	0,40	
feuerverzinkter Baustahl ¹⁾	0,35	0,70

¹⁾ Feuerverzinkter Baustahl gemäß DIN EN ISO 1461 [3] und einer Stahlzusammensetzung gemäß Kategorien A und B nach DIN EN ISO 14713-2[6]

Tabelle 3. Emissivität in Abhängigkeit der Stahloberfläche nach [6]

Dieses zweistufige Emissionsgradkonzept ermöglicht auch eine einfache Implementierung in die Bemessungsmethoden der Eurocodes DIN EN 1993-1-2 und DIN EN 1994-1-2.

Gerade in der Anfangsphase eines Brandes führen verringerte Werte der Emissivität zu einer deutlich verzögerten Erwärmung der Bauteile.

Abschließend ist in Bild 7 der Bemessungsvorteil des neuen Konzeptes durch Feuerverzinkung für eine R30 Brandschutzanforderung im Vergleich zu einer Auslegung nach DIN EN 1993-1-2 mit einer temperaturunabhängigen konstanten Emissivität $\epsilon_m = 0.7$ nach ETK dargestellt. Die Temperatur in einem ungeschützten, feuerverzinkten Stahlquerschnitt ist nach dem neuen zweistufigen, temperaturabhängigen Konzept der Emissivität ϵ_m deutlich geringer als eine vereinfachte Berechnung nach DIN EN 1993-1-2.

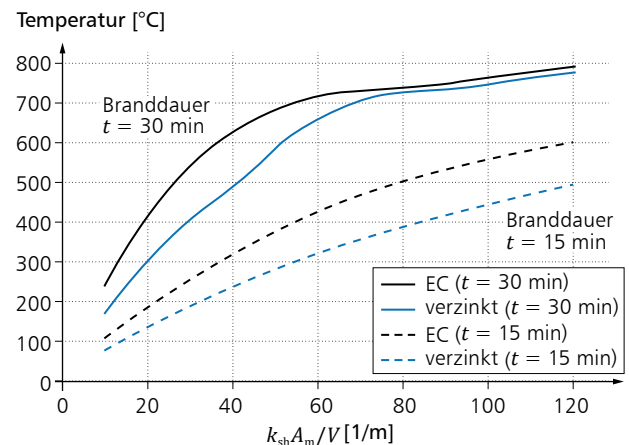


Bild 7. Bemessungsvorteil durch Feuerverzinken nach [7]

5 Zusammenfassung

Sowohl im Normaltemperaturbereich als auch im Brandfall muss sichergestellt werden, dass das Trag- und Verformungsverhalten den statischen Anforderungen entspricht. Die Erwärmung von Stahlbauteilen im Brandfall führt zu einer Reduktion der Festigkeit und der Steifigkeit. Damit die Anforderungen an den baulichen Brandschutz erfüllt werden, sind die Stahlbauteile im Brandfall zu schützen. Dies erfolgt im Allgemeinen über passive Brandschutzsysteme. Zum Nachweis des Brandschutzes bieten die Eurocodes neben vereinfachten Tabellen auch rechnerische Verfahren (vereinfachte und allgemeine Verfahren) an, mit denen die Bauteiltemperatur bestimmt und die erforderlichen Tragsicherheitsnachweise geführt werden können.

Die Feuerverzinkung ist eine seit Jahren ausgeführte, wirtschaftliche Methode, um Stahlkonstruktionen vor Korrosion zu schützen. In dem Forschungsprojekt IGF-Nr. 18887 N wurden mögliche Synergieeffekte für ungeschützte Stahlkonstruktionen untersucht. Mit den erzielten Forschungsergebnissen konnte ein realitätsnahes, verbessertes Konzept zur Beurteilung von feuerverzinkten Stahlkonstruktionen im Brandfall entwickelt werden.

Bei massigeren Profilen oder im Verbundbau führen die ermittelten kleineren Emissionsgrade dazu, dass Bauwerke mit einer R30 Brandschutzanforderung ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen auskommen. Dies führt zu einer wirtschaftlichen Auslegung von Stahlkonstruktionen mit R30 Brandschutzanforderungen.

Das Titelbild [10] zeigt „Das Cruise Center Baakenhöft“ in der Hamburger Hafen City. Mit diesem Gebäude wird in Deutschland ein erstes Gebäude mit R30 Brandschutz durch Feuerverzinken realisiert.

Dr.-Ing. Joachim Kretz
Ingenieurbüro Dr. Kretz
Fachlicher Beirat der mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Normen und Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-2:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Deutsche Fassung EN 1993-1-2:2005 + AC:2009
- [2] DIN EN 1991-1-2:2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009
- [3] DIN EN 1994-1-2:2010-12, Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1994-1-2:2005 + AC:2008
- [4] DIN EN ISO 1461:2009-10: Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge (Stückverzinken) – Anforderungen und Prüfungen. Berlin: Beuth Verlag Okt. 2009.
- [5] DIN EN 14713-2:2009-05 Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Teil 2: Feuerverzinken. Berlin: Beuth Verlag. Mai 2009
- [6] IFG-Vorhaben 18887N des GAV (Gemeinschaftsausschuss Verzinken e. V.) der FOSTA (Forschungsstelle Stahlanwendungen) und des DASt (Deutscher Ausschuss für Stahlbau).
- [7] Mensinger, M; Gaigl, Ch.; Pfennig, S: R30 ungeschützt – mit feuerverzinkten Stahlkonstruktionen, Deutscher Stahlbautag, Duisburg 11. Oktober 2018
- [8] Mensinger, M; Gaigl, C.: Feuerwiderstand verzinkter Stahlkonstruktionen, R30 – ungeschützt. In: Stahlbau 88 (2019), Heft 1.
- [9] Gaigl, C.: Dissertation, Fire resistance of hot-dip galvanized steel structures. Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, Lehrstuhl Metallbau, München 2019.
- [10] Institut Feuerverzinken: R30-Brandschutz durch Feuerverzinken, Internationale Fachzeitschrift, 49. Jahrgang, 01/2020.
- [11] Huckshold, M.; Thiele, M.: Korrosionsschutz – Feuerverzinken. Berlin: Beuth Verlag
- [12] bauforumstahl: Brandschutz Arbeitshilfen, Düsseldorf, 2020.